

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.424.1-82:629.482

Б. Є. БОДНАР¹, М. І. КАПЦА², О. Б. ОЧКАСОВ^{3*}, Р. О. КОРЕНЮК^{4*}

¹Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 01, ел. пошта bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{3*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ ГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВОЗІВ В УМОВАХ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДУ

Мета. В складних економічних умовах скорочення витрат електроенергії, що споживається на потреби виробництва, є актуальним завданням для промислових підприємств країни. Технічними умовами підприємствам, що ремонтують гідравлічні передачі тепловозів, рекомендується проведення певного обсягу оціночних та регульовальних випробувань із метою контролю їх післяремонтного стану. Як показує практика, значна частина дефектів гідравлічних передач виявляється під час стендових випробувань. До переваг стендових випробувань можна також віднести: можливість виявлення післяремонтних дефектів, зручність обслуговування гідравлічної передачі та відносно невелика трудомісткість усунення дефектів. Від якості проведення цих випробувань залежить ресурс передачі та її коефіцієнт корисної дії. Робота спрямована на удосконалення технології заводських післяремонтних випробувань гідропередач із метою зменшення витрат електричної енергії, що споживається на проведення випробувань. **Методика.** Проведено аналіз можливих варіантів удосконалення стенду випробувань гідравлічних передач. Запропонована методика підвищення енергоефективності випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах локомотиворемонтного заводу. Це досягається шляхом встановлення додаткового привідного електродвигуна, який отримує живлення від навантажувального генератора. **Результати.** На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення заводських стендових випробувань гідравлічних передач. Розглянуто варіанти модернізації стенду. Проведено аналіз модернізації випробувального стенду. **Наукова новизна.** Авторами теоретично обґрунтована можливість використання електричної енергії навантажувального генератора для живлення привідного електродвигуна стенду або додаткового привідного електродвигуна. **Практична значимість.** За результатами досліджень запропоновано варіант конструкції стенду випробувань гідравлічної передачі, який базується на методи взаємного навантаження. Використання цього методу підвищує діапазон навантажень гідравлічної передачі, а споживання електричної енергії стендом залишається без змін. Додатковий привідний електродвигун сприятиме підвищенню частоти обертання вхідного валу, що, в свою чергу, дозволить проводити випробування в умовах, більш наближених до реальних внаслідок збільшення навантаження на гідравлічну

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

передачу. Збільшення навантаження на гідравлічну передачу сприятиме виявленню можливих дефектів, що, в свою чергу, підвищить якість ремонту передачі.

Ключові слова: гідравлічна передача; випробування гідропередач; випробувальний стенд; приводний двигун; навантажувальний генератор; додатковий двигун

Вступ

Більшість локомотивів з гідравлічною передачею потужності, які використовуються на території України, потребують капітального або капітально-відновлюваного ремонту. При виконанні капітального ремонту одним із складних і відповідальних вузлів тепловоза є гідравлічна передача. Після капітальних ремонтів гідравлічних передач тепловозів виконуються випробування без навантаження з метою припрацювання деталей та випробування під навантаженням з метою перевірки основних параметрів. Технічними умовами підприємств, що ремонтують гідравлічні передачі, рекомендується виконання певного обсягу оціночних і регульовальних випробувань з метою контролю їх після ремонтного стану. Від якості виконання цих випробувань залежить ресурс передачі та її коефіцієнт корисної дії.

Постановка проблеми. При виконанні капітальних ремонтів тепловозів на Дніпропетровському заводі по ремонту тепловозів «Промтепловоз» одним з найбільш енерговитратним є стенд випробувань гідравлічних передач тепловозів. Виконання випробування гідравлічних передач в широкому діапазоні потужностей обмежено технічними можливостями обладнання та існуючими лімітами споживання електричної енергії. В зв'язку з цим актуальним є розробка методу енергоефективних випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах локомотиворемонтного заводу.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням удосконалення випробувань тепловозів з гідравлічною передачею тепловозів присвячені дослідження розглянуті в роботах [6, 7, 9]. Результати досліджень частково можуть використовувати і при стендових випробуваннях гідродинамічних передач в умовах заводу.

ГНДЛ «Технічне утримання та діагностика локомотивів» ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна виконує роботи з удосконалення випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах тепловозоремонтного заводу [5, 8, 11, 12].

В [3, 4] автором розглянуто системи взаємного навантаження тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму, що дає можливість використовувати гідравлічні передачі з електричним приводом та навантаженням і при виконанні стендових випробувань.

Мета

Удосконалення технології заводських після-ремонтних випробувань гідропередач з метою зменшення витрати електричної енергії, що споживається на виконання випробувань.

Методика

Запропонована методика підвищення енергоефективності випробування гідравлічних передач тепловозів в умовах локомотиворемонтного заводу.

Основний матеріал. На підприємстві для виконання випробувань використовують типовий стенд. Він складається з рами, на яку встановлюється гідравлічна передача, приводний електродвигун постійного струму генератор постійного струму для відбору потужності, пульт керування. Для навантаження генератора використовується водяний реостат.

Структурна схема стенда наведена на рис. 1.

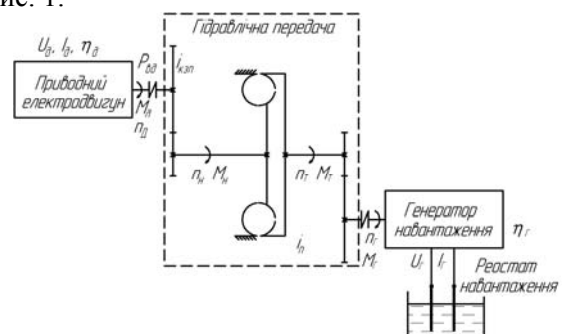


Рис. 1. Структурна схема стенда обкатки та випробування гідравлічних передач тепловозів

Вхідними параметрами стенда є напруга U_d та струм якоря I_d , напруга обмотки збудження $U_{зб_дв}$ приводного електродвигуна. Для гідрав-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

лічної передачі вхідними параметрами є частота обертання n_d та момент M_d на валу приводного електродвигуна, що відповідає частоті обертання n_r та моменту M_r насосного колеса. Як вихідні параметри гідравлічної передачі виступають частота обертання n_n та моменту M_n насосного колеса, що відповідає частоті обертання n_r та моменту M_r якоря генератора навантаження. Для створення моменту опору при випробуваннях гідравлічної передачі використовується водяний реостат навантаження, потужність, споживана реостатом, визначається як $P_r = I_r U_r$.

За допомогою стенда контролюють такі параметри:

- частоту обертання приводного електродвигуна n_d і навантажувального генератора n_r ;
- струм I_d та напругу U_d якоря та обмотки збудження $U_{зб_дв}$ приводного електродвигуна та навантажувального генератора $U_{зб_г}$;
- температуру мастила на вході та виході з гідропередачі;
- тиск в системі змащування;
- тиск живильного насосу гідравлічної передачі.

Гідравлічна передача типу УГП 750-1200 розрахована на сумісну роботу з дизелем, який розвиває потужність від 550–880 кВт. Перевірити роботи гідравлічної передачі в повному діапазоні навантажень на існуючому стенді неможливо, оскільки паспортна потужність приводного електродвигуна стенда складає 270 кВт. Крім того, моменти характеристики електродвигуна не співпадають з характеристиками гідропередачі, що не дозволяє використовувати всю потужність електродвигуна. Тому стендові випробування гідравлічної передачі після капітального ремонту виконуються в обмеженому діапазоні навантажень.

Для розширення можливостей випробувального стенда гідравлічних передач можливі такі варіанти модернізації [5, 11].

Заміна приводного електродвигуна тепловим дизелем. Встановлення дизеля значно ускладнює конструкцію і габаритні розміри стенда. Необхідно також враховувати, що при розміщенні стенда з дизелем на території цеху

шум та вихлопи відпрацьованих газів, які виникають в процесі роботи дизельного двигуна, будуть негативно впливати на робітників підприємства. Враховуючи високу вартість дизельного палива та інші перелічені недоліки, цей спосіб є нерациональним.

Встановлення приводного електродвигуна, що має номінальну потужність, відповідну дизелю, призведе до необхідності зміни на більш потужну систему управління електродвигуном. Разом з вартістю електродвигуна цей варіант вимагатиме значних капітальних вкладень.

Одним з варіантів модернізації є встановлення на стенді додаткового електродвигуна для збільшення потужності на привід вхідного вала гідравлічної передачі. Цей варіант має свої переваги в тому випадку, якщо для живлення додаткового електродвигуна використати навантажувальний генератор стенда.

З точки зору економії електроенергії, що витрачається на живлення приводного електродвигуна, раціональним є варіант (рис. 2) повернення електроенергії від генератора до приводного двигуна. Для цього замість водяного реостата включається перетворювач потужності з метою регулювання вихідної напруги генератора відповідно до режиму роботи приводного електродвигуна.

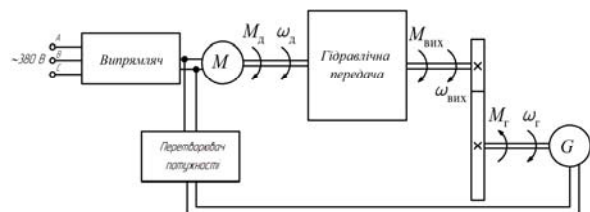


Рис. 2. Варіант модернізації з встановленням додаткового перетворювача потужності

Оскільки потужність навантажувального генератора залежить від режиму випробувань, то необхідно використовувати складну систему перетворення енергії, яка забезпечить можливість живлення додаткового електродвигуна.

Розглянемо більш детально варіант встановлення додаткового електродвигуна для збільшення потужності на вхідному валу гідравлічної передачі.

Структурна схема модернізованого стенда для випробування гідравлічної передачі наведена на рис. 3. Двигун M і генератор G – електромашини, призначені для навантаження гід-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

равлічної передачі. Двигун M з'єднаний з вхідним валом гідравлічної передачі і безпосередньо, а генератор G – з вихідним валом гідравлічної передачі через редуктор з коефіцієнтом передачі кутової швидкості k_2 .

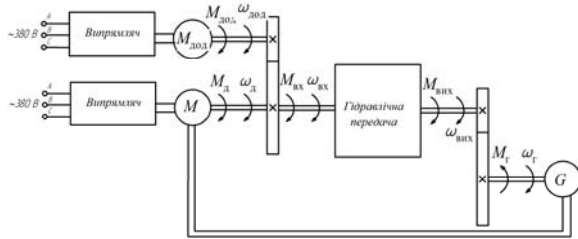


Рис. 3. Варіант модернізації з встановленням додаткового приводного електродвигуна

Додатковий приводний двигун $M_{\text{дод}}$, призначений для покриття всіх втрат в стэнді взаємного навантаження, з'єднаний з вхідним валом гідравлічної передачі через редуктор з коефіцієнтом передачі кутової швидкості k_1 .

Електрична схема випробувального стэнда наведена на рис. 4. Якорі електродвигуна M та генератора G з'єднані електрично, утворюючи замкнутий контур. Обмотки збудження двигуна M та генератора G живляться від окремих джерел напруги ДН1 та ДН2 відповідно.

Якір додаткового приводного двигуна $M_{\text{дод}}$ підключено до джерела живлення ДН3, а його обмотка збудження – до джерела напруги ДН4.

Частота обертання вхідного вала гідравлічної передачі регулюється шляхом зміни напруги на якорі і струму збудження додаткового приводного двигуна $M_{\text{дод}}$ (ДН3, ДН4).

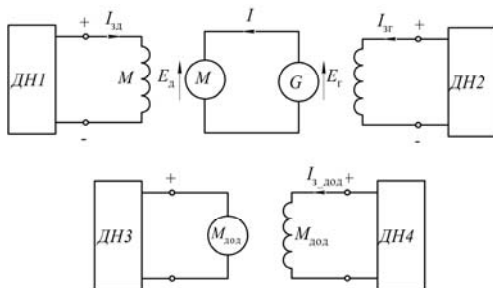


Рис. 4. Електрична схема стэнда

Регулювання моменту навантаження гідравлічної передачі виконується шляхом зміни струму I в контурі двигуна M і генератора G .

Стабілізація напруги на якорі $M_{\text{дод}}$ забезпечує стабілізацію кутової швидкості $\omega_{\text{вх}}$ вхідного вала гідравлічної передачі. Будемо вважати, що однією з умов випробування гідравлічної передачі є

$$\omega_{\text{вх}} = \text{const.} \quad (1)$$

Другою умовою, що забезпечує відносну стабільність моменту навантаження гідравлічної передачі, є постійність струму якоря M та G

$$I = \text{const.} \quad (2)$$

Баланс напруги [4] в основному електричному контурі ($M - G$) має вигляд

$$E_{\text{г}} - E_{\text{д}} = I \cdot \sum R, \quad (3)$$

де $E_{\text{г}}$, $E_{\text{д}}$ – е.р.с. генератора і двигуна відповідно; $\sum R$ – сумарний активний опір основного електричного контуру.

$$E_{\text{г}} = c \cdot \Phi_{\text{г}} \cdot \omega_{\text{г}}; \quad (4)$$

$$E_{\text{д}} = c \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot \omega_{\text{д}}, \quad (5)$$

де c – постійна складова, яка залежить від конструкції однотипних електродвигуна M та генератора G ; $\Phi_{\text{г}}$, $\Phi_{\text{д}}$ – магнітні потоки генератора та двигуна відповідно; $\omega_{\text{г}}$, $\omega_{\text{д}}$ – кутові швидкості генератора та двигуна відповідно.

Кутові швидкості $\omega_{\text{г}}$, $\omega_{\text{д}}$ пов'язані між собою виразом

$$\omega_{\text{г}} = k_{\text{гп}} \cdot K_2 \cdot \omega_{\text{д}}, \quad (6)$$

де $k_{\text{гп}}$ і K_2 – коефіцієнти передачі кутової швидкості гідравлічної передачі і редуктора відповідно.

Для нормального взаємного навантаження однотипних електромашин M і G бажано забезпечення умови

$$k_{\text{гп}} = 1/k_{\text{гп ср}}, \quad (7)$$

де $k_{\text{гп ср}}$ – середнє значення регулюємого коефіцієнта передачі $k_{\text{гп}}$.

Баланс механічних моментів може бути наведений у вигляді

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$M_d + \frac{1}{k_1} \cdot M_{\text{дод}} = M_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 + \Delta M_{\text{гп}}, \quad (8)$$

де M_d , M_r – момент на валах двигуна і генератора; $\Delta M_{\text{гп}}$ – втрати моменту в гідравлічній передачі, приведені до вхідного вала.

Момент на валу додаткового двигуна, необхідний для компенсації всіх втрат у випробувальному стенді

$$M_{\text{дод}} = k_1 [M_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 + \Delta M_{\text{гп}} - M_d]. \quad (9)$$

$$M_r = c \cdot \Phi_r \cdot I + \Delta M_r; \quad (10)$$

$$M_d = c \cdot \Phi_d \cdot I - \Delta M_d, \quad (11)$$

де ΔM_r і ΔM_d – втрати моменту, зумовлені втратами холостого ходу в генераторі і двигуні відповідно.

Тоді вираз для $M_{\text{дод}}$ набуде вигляду

$$M_{\text{дод}} = k_1 [c \cdot I (\Phi_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 - \Phi_d) + \Delta M_{\text{гп}} + \Delta M_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 + \Delta M_d]. \quad (12)$$

Струм в основному контурі

$$I = \frac{c [\Phi_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 - \Phi_d] \omega_d}{\sum R}. \quad (13)$$

Регулювання струму і, відповідно, моменту навантаження гідравлічної передачі, що випробовується, може здійснюватися шляхом зміни магнітних потоків двигуна M і генератора G . Для заданого значення струму I і кутової швидкості ω_d співвідношення магнітних потоків

$$\Phi_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 - \Phi_d = \frac{I \cdot \sum R}{c \cdot \omega_d}. \quad (14)$$

Тоді вираз для $M_{\text{дод}}$ матиме вигляд

$$M_{\text{дод}} = k_1 \left[\frac{I^2 \cdot \sum R}{\omega_d} + \Delta M_{\text{гп}} + \Delta M_r \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 + \Delta M_d \right]. \quad (15)$$

Помноживши обидві частини цього виразу на ω_d/k_1 , одержимо рівняння балансу потужності у вигляді

$$P_{\text{дод}} = \sum \Delta P_e + \Delta P_{\text{гп}} + \Delta P_{\text{ххг}} \cdot k_{\text{гп}} \cdot k_2 + \Delta P_{\text{ххд}}, \quad (14)$$

де $P_{\text{дод}}$ – потужність додаткового двигуна; $\sum \Delta P_e$ – сумарні електричні втрати в двигуні і генераторі; $\Delta P_{\text{гп}}$ – втрати потужності в гідравлічній передачі; $\Delta P_{\text{ххг}}$, $\Delta P_{\text{ххд}}$ – втрати холостого ходу в генераторі і двигуні відповідно.

Таким чином, додатковий двигун $M_{\text{дод}}$ покриває всі втрати у випробувальному стенді.

Втрати потужності в гідравлічній передачі

$$\Delta P_{\text{гп}} = \Delta M_{\text{гп}} \cdot \omega_{\text{вх}} = M_{\text{вх}} \cdot \omega_d (1 - \eta_{\text{гп}}), \quad (17)$$

де $M_{\text{вх}}$ і $\omega_{\text{вх}}$ – момент і кутова швидкість на вході гідравлічної передачі; $\eta_{\text{гп}}$ – к.к.д. гідравлічної передачі.

$$M_{\text{вх}} = M_d + \frac{1}{k_1} \cdot M_{\text{дод}}. \quad (18)$$

Результати

На підставі виконаного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення заводських стендових випробовувань гідравлічних передач. Розглянуті варіанти модернізації стенда. Виконано аналіз модернізації випробувального стенда.

Наукова новизна та практична значимість

Теоретично обґрунтована можливість використання електричної енергії навантажувального генератора для живлення приводного електродвигуна стенда. Запропоновано варіант конструкції стенда випробування гідравлічної передачі, який базується на методі взаємного навантаження.

Висновки

Теоретично обґрунтована і практично доопрацьована схема включення електричних машин випробувальної станції, вдосконалено технологію виконання випробувань, що дає можливість здійснювати повноцінні випробування гідравлічної передачі при мінімальних втратах електричної потужності та існуючих обмеженнях на неї.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Афанасов, А. М. Визначення раціональних режимів взаємного навантаження тягових двигунів електрорухомого складу магістрального та промислового транспорту / А. М. Афанасов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – 4 (52). – С. 67–74. doi: 10.15802/stp2014/27322.
- Афанасов, А. М. Регулювання небалансного електромагнітного моменту в системах взаємного навантаження електричних машин тягового та моторвагонного рухомого складу магістрального та промислового транспорту / А. М. Афанасов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 6 (54). – С. 70–77. doi: 10.15802/stp2014/32965.
- Афанасов, А. М. Розвиток наукових основ вдосконалення енергоефективних методів випробування тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.09, 05.22.12 / Афанасов Андрій Михайлович ; Дніпропетр. нац. ун-т. заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – 36 с.
- Афанасов, А. М. Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока : монография / А. М. Афанасов. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 248с.
- Боднар, Б. Є. Підвищення енергоефективності випробування гідравлічних передач тепловозів / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк // Науково-технічний прогрес на транспорті : тези Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, магістрантів та студентів : секція «Механіка» / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 60–61.
- Боднар, Б. Е. Теоретические основы, опыт создания систем испытания и диагностирования тепловозов с гидродинамической передачей : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / Боднар Борис Евгеньевич ; Днепропетр. гос. техн. ун-т ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 1996. – 375 с.
- Исследования движения валов гидропередачи при свободном вращении / Б. Е. Боднар, М. И. Капица, Т. Ф. Кузнецов, В. М. Ляшук // Пути повышения надежности и экономичности тепловозов : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск, 1987. – Вып. 256/10. – С. 56–61.
- Капица, М. И. Определение величины тепловых потерь при испытании тепловозной гидродинамической передачи в режиме «выбега» / М. И. Капица, В. П. Минчук, Р. А. Коренюк // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2013. – Вип. 18. – С. 13–16.
- Ляшук, В. М. Информационно – диагностическая система испытаний тепловозов с гидродинамической передачей на базе микро–ЭВМ / В. М. Ляшук // Пути повышения надежности и экономичности тепловозов : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Днепропетровск, 1987. – Вып. 256/10. – С. 44–52.
- Овчинников, В. М. Гидравлические передачи тепловозов : учеб. пособие / В. М. Овчинников, В. А. Халиманчик, В. В. Невзоров. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 155 с.
- Очкасов, О. Б. Удосконалення випробування гідравлічних передач тепловозів / О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк, О. С. Парфьонов // Науково-технічний прогрес на транспорті : тези Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, магістрантів та студентів : секція «Механіка» / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 74–75.
- Удосконалення стенду випробування гідравлічних передач тепловозів / Б. Є. Боднар, В. П. Мінчук, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези 75 Міжнар. наук.-практ. конф. : секція «Експлуатація та ремонт локомотивів» / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 23–24.
- Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez, B. Castillo-Toledo // IEEE Transactions. Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – Iss. 2. – P. 1194–1207. doi: 10.1109/tie.2011.2161246.
- Hayek, J. El. Experiences with a traction drive laboratory model / J. El Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // Electromotion. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.
- Liu, Y. Developments in Switching Mode Supply Technologies / Y. Liu, W. Eberle // IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall. – 2009. – № 61. – P. 9–14.

Б. Е. БОДНАР¹, М. И. КАПИЦА², А. Б. ОЧКАСОВ^{3*}, Р. А. КОРЕНЮК^{4*}

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, tel. +38 (056) 793 19 01, эл. почта bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{3*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта Koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВЗОВ В УСЛОВИЯХ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА

Цель. В сложных экономических условиях сокращение расходов электроэнергии, потребляемой на нужды производства, является актуальной задачей для промышленных предприятий страны. Техническими условиями предприятия, которые ремонтируют гидравлические передачи тепловозов, рекомендуется проведение определенного объема оценочных и регулирующих испытаний с целью контроля их послеремонтного состояния. Как показывает практика, значительная часть дефектов гидравлических передач выявляется при стендовых испытаниях. К преимуществам стендовых испытаний можно отнести: возможность обнаружения послеремонтных дефектов, удобство обслуживания гидравлической передачи и относительно небольшая трудоемкость устранения дефектов. От качества проведения этих испытаний зависит ресурс передачи и ее коэффициент полезного действия. Цель работы – усовершенствование технологии заводских послеремонтных испытаний гидропередач с целью уменьшения расхода электрической энергии, потребляемой на проведение испытаний. **Методика.** Проведен анализ возможных вариантов усовершенствования стенда испытаний гидравлических передач. Предложена методика повышения энергоэффективности испытаний гидравлических передач тепловозов в условиях локомотиворемонтного завода. Это достигается путем установки дополнительного приводного электродвигателя, который получает питание от нагрузочного генератора. **Результаты.** На основании проведенного анализа обоснована необходимость совершенствования заводских стендовых испытаний гидравлических передач. Рассмотрены варианты модернизации стенда. Проведен анализ модернизации испытательного стенда. **Научная новизна.** Авторами теоретически обоснована возможность использования электрической энергии нагрузочного генератора для питания приводного электродвигателя стенда или дополнительного приводного электродвигателя. **Практическая значимость.** По результатам исследований предложен вариант конструкции стенда испытаний гидравлической передачи, основанный на методе взаимной нагрузки. Использование этого метода повышает диапазон нагрузок гидравлической передачи, а потребление электроэнергии стендом остается без изменений. Дополнительный приводной электродвигатель будет способствовать повышению частоты вращения входного вала, что в свою очередь, позволит проводить испытания в условиях, более приближенных к реальным вследствие увеличения нагрузки на гидравлическую передачу. Увеличение нагрузки на гидравлическую передачу будет способствовать выявлению возможных дефектов, что, в свою очередь, повысит качество ремонта передачи.

Ключевые слова: гидравлическая передача; испытания гидропередач; испытательный стенд; приводной двигатель; нагрузочный генератор; дополнительный двигатель

В. YE. BODNAR¹, M. I. KAPITSA², O. B. OCHKASOV^{3*}, R. O. KORENYUK^{4*}

¹Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 01, e-mail bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{3*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ENERGY EFFICIENCY OF DIESEL LOCOMOTIVE HYDRAULIC TRANSMISSION TESTS AT LOCOMOTIVE REPAIR PLANT

Purpose. In difficult economic conditions, cost reduction of electricity consumption for the needs of production is an urgent task for the country's industrial enterprises. Technical specifications of enterprises, which repair diesel locomotive hydraulic transmission, recommend conducting a certain amount of evaluation and regulatory tests to monitor their condition after repair. Experience shows that a significant portion of hydraulic transmission defects is revealed by bench tests. The advantages of bench tests include the ability to detect defects after repair, ease of maintenance of the hydraulic transmission and relatively low labour intensity for eliminating defects. The quality of these tests results in the transmission resource and its efficiency. Improvement of the technology of plant post-repairs hydraulic tests in order to reduce electricity consumption while testing. **Methodology.** The possible options for hydraulic transmission test bench improvement were analysed. There was proposed an energy efficiency method for diesel locomotive hydraulic transmission testing in locomotive repair plant environment. This is achieved by installing additional drive motor which receives power from the load generator. **Findings.** Based on the conducted analysis the necessity of improving the plant stand testing of hydraulic transmission was proved. The variants of the stand modernization were examined. The test stand modernization analysis was conducted. **Originality.** The possibility of using electric power load generator to power the stand electric drive motor or the additional drive motor was theoretically substantiated. **Practical value.** A variant of hydraulic transmission test stand based on the mutual load method was proposed. Using this method increases the hydraulic transmission load range and power consumption by stand remains unchanged. The additional drive motor will increase the speed of the input shaft that in its turn will allow testing in closer to real conditions as a result of increased load on the hydraulic transmission. Increased load on the hydraulic transmission will help to detect possible defects and hence will improve the quality of transmission repairs.

Keywords: hydraulic transmission; hydraulic testing; test stand; drive motor; load generator; additional motor

REFERENCES

1. Afanasov A.M. Vyznachennia ratsionalnykh rezhymiv vzaiemnoho navantazhennia tiahovykh dvyhuniv elektrukhomoho skladu mahistralnoho ta promyslovoho transportu [Rational modes determination of traction motors loading-back for electric rolling stock in mainline and industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 67-74. doi: 10.15802/stp2014/27322.
2. Afanasov A.M. Rehuliuвання nebalansnoho elektromahnitnoho momentu v systemakh vzaiemnoho navantazhennia elektrychnykh mashyn tiahovoho ta motorvahonnoho rukhomoho skladu mahistralnoho ta promyslovoho transportu [Regulation of unbalanced electromagnetic moment in mutual loading systems of electric machines of traction rolling stock and multiple unit of mainline and industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 6 (54), pp. 70-77. doi: 10.15802/stp2014/32965.
3. Afanasov A.M. *Rozvytok naukovykh osnov vdoskonalennia enerhoefektyvnykh metodiv vyprobuvannia tiahovykh elektrychnykh mashyn postiinoho ta pulsuiuchoho strumu*. Avtoreferat Diss. [Scientific foundations development of energy efficiency test methods improvement of traction electric machines of direct and pulsating current. Author's abstract]. Dnipropetrovsk, 2013. 36 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

4. Afanasov A.M. *Sistemy vzaimnogo nagruzheniya tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo i pulsiruyushchego toka* [Mutual loading systems of traction electric machines of direct and pulsating current]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2012. 248 p.
5. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Koreniuk R.O. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Test energy efficiency increase of hydraulic transmission locomotive]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv: sektsiia «Mekhanika», «Naukovo-tekhnichnyi prohres na transporti»* [Theses of All-Ukrainian scientific and technical Conf. of young scientists and graduate students: section «Mechanics», «Scientific and Technological Progress on Transport»]. Dnipropetrovsk, 2015, pp. 60-61.
6. Bodnar B.Ye. *Teoreticheskiye osnovy, opyt sozdaniya sistem ispytaniya i diagnostirovaniya teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey*. Dokt. Diss. [Theoretical foundations, experience of test and diagnostics systems creation of locomotives with hydrodynamic transmission. Doct. Diss.]. Dnepropetrovsk, 1996. 375 p.
7. Bodnar B.Ye., Kapitsa M.I., Kuznetsov T.F., Lyashuk V.M. Issledovaniya dvizheniya valov gidroperedachi pri svobodnom vrashchenii [Motion studies of hydraulic transmission shafts at free rotation]. *Puti povysheniya nadezhnosti i ekonomichnosti teplovozov: mezhhuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Ways to improve the reliability and efficiency of locomotives: Interacademic Proc.]. Dnipropetrovsk, 1987, issue 256/10, pp. 56-61.
8. Kapitsa M.I., Minchuk V.P., Korenyuk R.A. Opredeleniye velichiny teplovykh poter pri ispytanii teplovoznoy gidrodinamicheskoy peredachi v rezhime «vybega» [Determination of heat losses at the diesel hydrodynamic transmission test in the «runaway» regime]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University]. 2013, issue 18, pp. 13-16.
9. Lyashuk V.M. Informatsionno – diagnosticheskaya sistema ispytaniya teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey na baze mikro–EVM [Information and diagnostic tests system of locomotives with hydrodynamic transmission on the base of micro-computer]. *Puti povysheniya nadezhnosti i ekonomichnosti teplovozov: mezhhuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Ways to improve the reliability and efficiency of locomotives: Interacademic Proc.]. Dnepropetrovsk, 1987, issue 256/10, pp. 44-52.
10. Ovchinnikov V.M., Khalimanchik V.A., Nevzorov V.V. *Gidravlicheskiye peredachi teplovozov* [Hydraulic transmissions of locomotives]. Gomel, BelGUT Publ., 2006. 155 p.
11. Ochkasov O.B., Koreniuk R.O., Parfonov O.S. Udoskonalennia vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Testing hydraulic transmission improvement of locomotives]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv: sektsiia «Mekhanika», «Naukovo-tekhnichnyi prohres na transporti»* [Theses of All-Ukrainian scientific and technical Conf. of young scientists and graduate students: section «Mechanics», «Scientific and technological progress on Transport»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 74-75.
12. Bodnar B.Ye., Minchuk V.P., Ochkasov O.B., Koreniuk R.O. Udoskonalennia stendu vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Test stand improvement of hydraulic transmission in locomotives]. *Tezy 75 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: sektsiia «Ekspluatatsiia ta remont lokomotyviv», «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Proc. of 75th Intern. Sci. And Practical Conf.: section «Maintenance and repair of locomotives», «Problems and Prospects of Railway Transport Development»]. Dnipropetrovsk, 2015, pp. 23-24.
13. Castaneda C.E., Loukianov A.G., Sanchez E.N., Castillo-Toledo B. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux. *IEEE Transactions. Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, issue 2, pp. 1194-1207. doi: 10.1109/tie.2011.2161246.
14. Hayek J. El., Sobczyk T.J., G. Skarpetowski. Experiences with traction drive laboratory model. *Electromotion*, 2010, vol. 17, issue 1, pp. 30-36.
15. Liu Y., Eberle W. Developments in Switching Mode Supply Technologies. *IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall*, 2009, no. 61, pp. 9-14.

Стаття рекомендована до публікації, д.т.н., проф. А. М. Мухомою (Україна); д.т.н., проф. О. С. Крашенініним (Україна)

Надійшла до редколегії 14.08.2015

Прийнята до друку 13.07.2015