

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 629.4.018

Н. О. Перетяка¹

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ РЕДУКТОРІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса

Розглянуто особливості перебігу теплових процесів під час стендових випробувань у різних режимах редукторів типу ВБА 32/2, що входять до складу редукторно-карданного приводу генераторів пасажирських вагонів. Експериментально підтверджено наявність характерної зони, що має ознаки існування закономірності швидкості нагріву редуктора в залежності від його технічного стану. Встановлено додаткові контрольні точки нагріву корпусу у часі випробування редуктора на стенді, в яких вимірювання температури можуть бути основою для експертного висновку щодо діагностування технічного стану редуктора. Запропоновано вдосконалити тепловий метод неруйнівного контролю технічного стану редуктора шляхом застосування додаткового діагностичного параметра — швидкості нагріву редуктора у часі, що дає можливість скоротити час випробувань та забезпечити значну економію електроенергії. Виявлено граничне значення швидкості нагріву редуктора, що відповідає задовільному стану об'єкта.

Ключові слова: енергозбереження на залізничному транспорті, діагностування технічного стану редукторів, енергозберігаючі методи стендових випробувань, діагностичний параметр, швидкість нагріву, контрольна точка.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями

Забезпечення високої надійності експлуатації транспортних засобів здійснюється завдяки системі періодичного технічного обслуговування (ТО) і планових ремонтів (ПР), або виконання ремонту агрегату за потребою, яка визначається на підставі інструментального технічного моніторингу чи періодичного технічного огляду у міжремонтний період, або виявляється безпосередньо під час проведення ТО [1]. Для редукторно-карданних приводів генератора пасажирських вагонів в ПАТ «Українська залізниця» прийнята система періодичного ТО і ПР, повний перелік операцій яких наведено у [2]. Відомчою інструкцією передбачається декілька видів ТО: ТО-1 у пунктах формування та обороту і на шляху прямування, а ТО-2 і ТО-3 виконуються безпосередньо у вагонних депо. Система ремонту редукторів типів ЕУК-160-1М, ВБА 32/2 і ЖДР-0002 передбачає такі види ремонту:

- першого обсягу (Р-1) — виконується без заміни деталей, які потребують розпресування колісної пари;
- другого обсягу (Р-2) — виконується із заміною деталей, які потребують зняття його з середньої частини осі.

Обсяг ремонту визначається за попередньою дефектацією редуктора, яка проводиться згідно з п. 7.5.2.2 [2] слюсарями в ручному режимі у такій послідовності:

- виявляють сліди зсуву конічних гумових вкладишів на осі колісної пари за відбитками на осі, а сліди повороту редуктора — на осі і торці вкладишів;
- вимірюють осьовий зазор конічних роликів підшипників порожнистого валу;
- перевіряють осьовий зазор підшипників;
- вимірюють сумарний зазор зчеплення шестерень редуктора;
- перевіряють биття корпусу редуктора відносно осі колісної пари;
- перевіряють зазор між кільцем та фланцем редуктора;
- мастило з редуктора зливають і перевіряють на наявність металевих частинок.

Після проведеного ремонту проводять перевірку складання редуктора згідно з п. 7.5.12.14 [2],

яка передбачає його випробування в різних режимах навантаження на спеціальному випробувальному стенді (рис. 1).



Рис. 1. Типовий випробувальний стенд для редукторів пасажирських вагонів, який експлуатується з 1974 року у пасажирському вагонному депо станції Одеса-Головна: а — загальний вигляд електроприводу і генератора типу DUGG 28B (28 кВт); б — панель ручного управління з 6-ма ступенями навантаженням генератора (редуктора)

Головне протиріччя існуючої проблеми вбачається у підвищенні вимог до безпеки руху пасажирських вагонів і неспроможності їх дотримуватися при виконанні ремонтних робіт на застарілому морально і технічно випробувальному обладнанні. Це стосується і стенду для випробування редукторів. Незважаючи на великий досвід, накопичений робітниками пасажирських депо у проведенні випробувань редукторів, наукові дослідження по вдосконаленню методів випробувань протягом останніх 40 років практично не проводилися. Цілковита залежність отриманих результатів вимірювань від людського фактора, від рівня кваліфікації робітника, його свідомості та ставлення до своєї роботи, відсутність автоматизації процесу випробування є головним недоліком таких стендів. Поштовхом для вдосконалення методу випробування та модернізації самої конструкції стендів стала світова економічна криза, яка призвела до знецінення заробітної плати працівників, втрати престижності професії слюсаря-ремонтника залізничного депо і, як наслідок, відтік кваліфікованих робочих кадрів з залізничних підприємств. Другою причиною стало різке збільшення цін в Україні на енергоносії для промисловості протягом останніх років, яке змусило усе суспільство серйозно замислитися над впровадженням принципів енергозбереження і в побуті, і на виробництві.

Процес стендових випробувань редукторів є енерговитратним процесом, що передбачає тривале, протягом 2—3 годин, випробування редукторів під навантаженням до 40 кВт, в залежності від типу редуктора, в якому застосовується тепловий метод неруйнівного контролю [2]. Це потребує чималих витрат електроенергії на одне випробування. Тому вдосконалення методу стендових випробувань редукторів пасажирських вагонів після ремонту, з урахуванням загальних принципів енергозбереження та сучасних вимог безпеки щодо зменшення впливу людського чинника на якість ремонту залізничного транспорту, є актуальною науковою проблемою, яку потрібно терміново вирішувати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Більшість дефектів, які виникають в механізмі, мають певні діагностичні ознаки і параметри, за якими їх розпізнають при діагностуванні. Діагностичні ознаки дефектів можуть включати в себе вібраційні, технологічні та режимні параметри (навантаження, температуру, силу струму та ін.), наявність сторонніх домішок в мастилї тощо [4]. Серед декількох різних параметрів виділяють один чи два пов'язаних між собою визначальні параметри, за показниками яких приймається рішення про наявність у механізмі дефекту та забороняється подальша його експлуатація без відповідного відновлювального ремонту.

Визначальним параметром якості виконаного відновлювального ремонту для редуктора від середньої осі колісної пари пасажирських вагонів, із застосуванням теплового методу неруйнівного контролю, є значення температури нагріву його корпусу протягом певного часу випробування на

стенді, яка не повинна перевищувати 70°C [2].

При стендових випробуваннях температура нагріву корпусу редуктора змінюється в часі за нелінійним законом (апроксимація графіка температури наближена до поліному другого порядку). Такі процеси теплопередачі називають нестационарними [4]. Складність процесів теплообміну в редукторі під час експлуатації визначається тим, що процеси нагрівання та охолодження відбуваються під впливом різноманітних факторів: це і природні умови експлуатації, і неоднорідність навантаження складових конструкції редуктора, і різниця теплопровідності матеріалів, з яких складається весь механізм, але не всі однаково впливають на температуру нагріву корпусу редуктора. Який з наведених факторів є визначальним для теплового методу неруйнівного контролю технічного стану редуктора наразі невідомо.

Перший крок у напрямку вирішення проблеми зроблено у вагонному депо станції Бахмач РФ «Південно-Західна залізниця», яка у 2015 році ввела у експлуатацію сучасний випробувальний стенд українського виробництва моделі «ВІР-1500» з комп'ютерним управлінням (рис. 2).



Рис. 2. Стенд моделі «ВІР-1500» для випробування редукторів пасажирських вагонів, який експлуатується у вагонному депо станції Бахмач

Завдяки автоматизації стенду вдалося виключити вплив людського чинника на процес вимірювання механічних величин при дефектації редукторів пасажирських вагонів і на весь процес випробування в різних режимах навантаження редуктора (рис. 3).

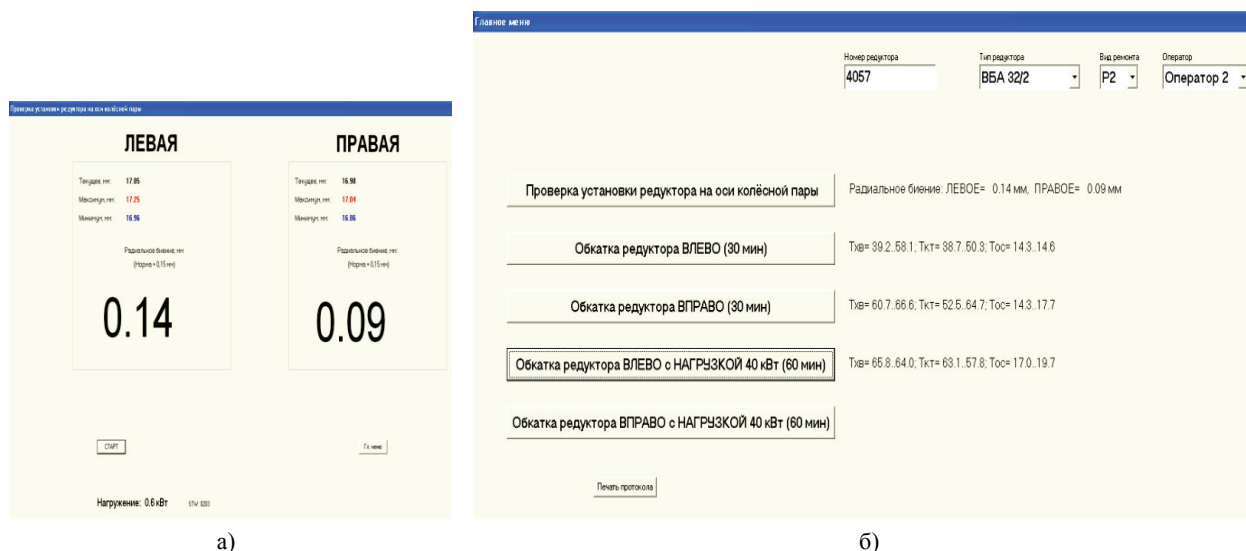


Рис. 3. Інтерфейс екрану монітора комп'ютера під час керування процесом випробування редуктора ВБА 32/2: а — вимірювання радіального биття корпусу відносно осі; б — вибір оператором режимів випробування

Про підвищення якості вимірювання механічних величин, особливості роботи та технічні переваги нового випробувального стенду детальніше викладено у роботі [5].

Для підтримання заданої величини (40 кВт) навантаження редуктора протягом тривалого часу

одного циклу (60 хв) до електропривода потужністю 55 кВт застосовується частотний векторний перетворювач (ПЧВ-55) (рис. 4).

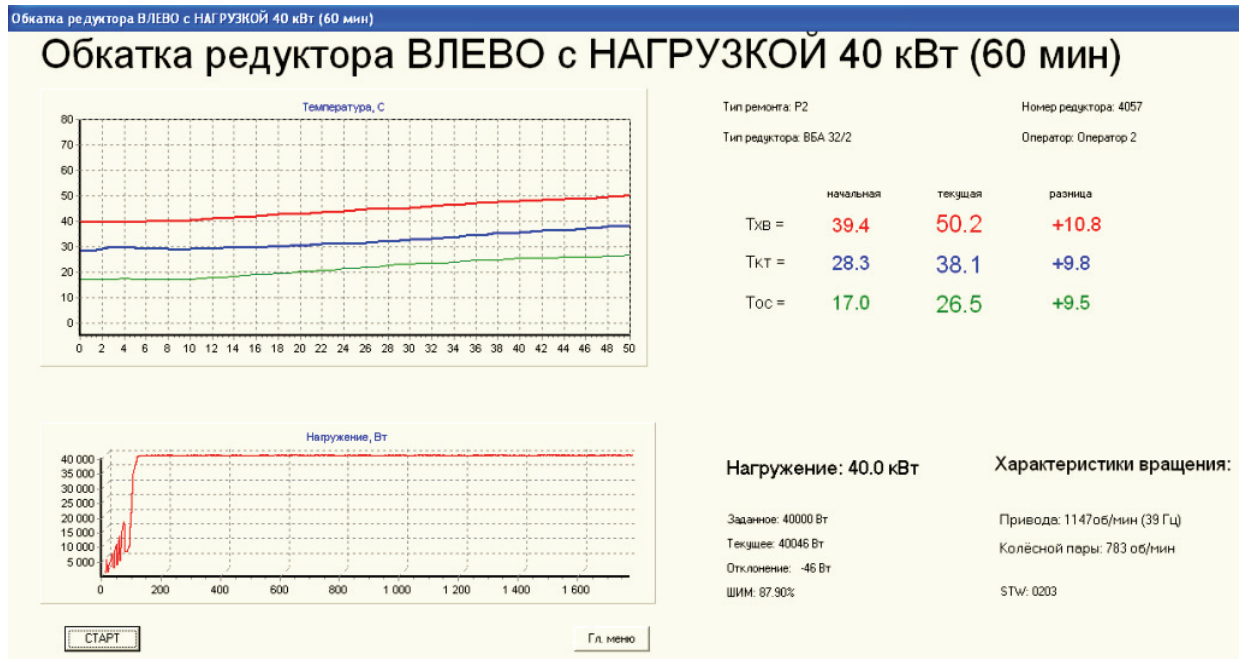


Рис. 4. Контроль за величиною навантаження і вимірюванням температури одразу в трьох контрольних точках

Завдяки автоматизації процесу, застосуванню електронних приладів, таких як ПЧВ, для управління електроприводом, сучасних засобів вимірювальної та комп'ютерної техніки у випробувальному стенді, вдалося вирішити тільки першу частину проблеми — кадрову, а саме незалежність проведення стендових випробувань редукторів від кваліфікації робочого персоналу. Але друга частина проблеми — витрати технологічного часу від 2 до 3 годин на випробування одного редуктора залишилася без змін, а значить і витрати на оплату електроенергії з часом будуть тільки зростати, незважаючи на сучасну елементну базу конструкції нового стенду. Таким чином, технологія випробування редуктора або тепловий метод неруйнівного контролю за якістю виконання ремонту (технічного стану) редуктора у новому стенді залишився старим. Для вирішення другої частини проблеми — оптимізації часу проведення технологічного процесу стендових випробувань редукторів приводу генератора від середньої осі колісних пар пасажирських вагонів, вивчення зміни температури нагріву редуктора під час випробувань, вивчення залежності швидкості нагріву від часу а також впливу режимів випробувань на характер нагріву проведено натурні експериментальні дослідження стендових випробувань однотипних редукторів.

Мета досліджень — знайти енергозберіжливий метод стендових випробувань редукторів для зниження витрат електричної енергії на випробування одного редуктора.

Задача, яку потрібно розв'язати — вдосконалення процесу стендових випробувань редукторів з урахуванням сучасних вимог до енергозбереження.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні випробування редукторів проводились у вагонному депо станції Бахмач РФ «Південно-Західна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Режим обкатки, за яким проводились випробування редукторів відповідав галузевим вимогам [2]. Випробуванню піддалися три редуктори типу ВБА 32/2 різного технічного стану. Відповідно до типу проведеного ремонту була дотримана тривалість випробувань. Режим обкатки складався з 4 етапів: 2 випробування без навантаження — «вправо і вліво», та 2 випробування з навантаженням 40 кВт — «вправо і вліво». Під час випробувань реєструвалися значення потужності навантаження; значення частоти обертання приводу і колісної пари; значення температури зовнішнього повітря, температури у картері редуктора (підшипники порожнистого валу); температури нагрівання хвостової частини редуктора (підшипники вихідного валу). Для реалізації експерименту вимірювання здійснювалися кожні 1, 2 хвилини (рис. 5).

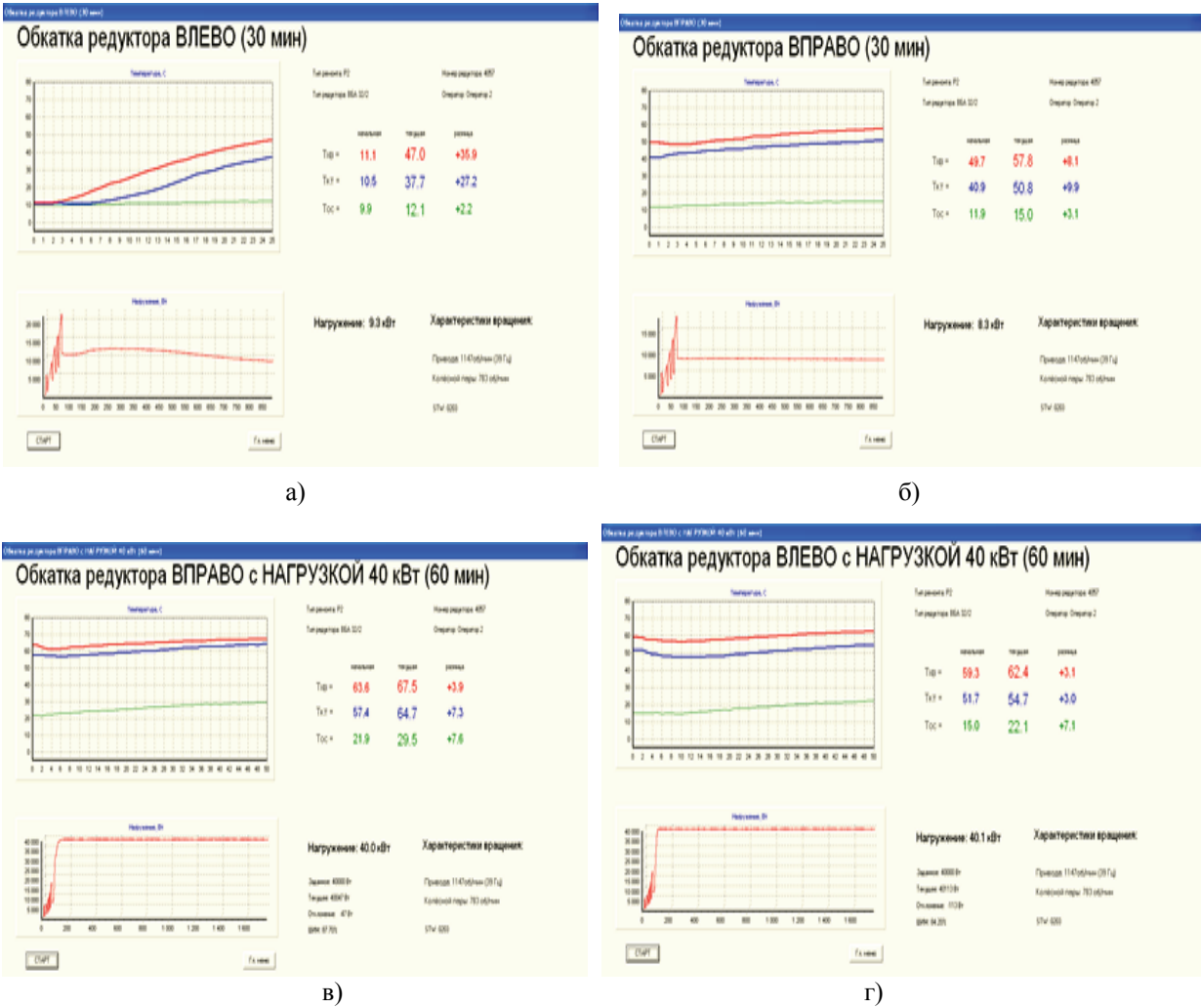


Рис. 5. Результаты випробувань редуктора ВБА 32/2 після ремонту Р-2, відповідно, у чотирьох різних режимах навантаження: а; б; в; г

Згідно з [2], під час післяремонтних випробувань визначальним параметром діагностування щодо придатності редуктора є значення граничної допустимої температури нагріву редуктора 70 °С, але ця діагностична ознака виявилась інформативною у часі. Найбільш показовими виявились значення параметрів на першому етапі випробувань без навантаження вправо. На рис. 6 показані результати випробувань редуктора № 1 (3.3).

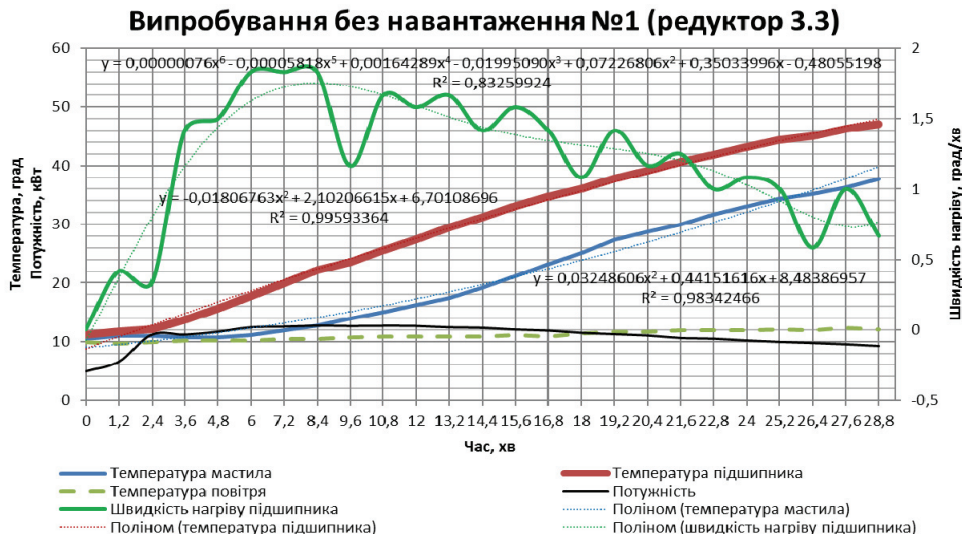


Рис. 6. Результаты випробування редуктора № 1 (3.3)

З графіка рис. 6 випливає, що у випробуваннях без навантаження редуктора залежність зміни температури від часу носить нелінійний характер і достовірно описується поліномом другого ступеня. Максимальний приріст температури нагріву знаходиться в діапазоні від 3 до 30 хв. Температура підшипника зростає значно швидше, ніж температура мастила та досягає більших значень. Абсолютний базовий приріст температури підшипника склав $\Delta T_{п} = 35,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температури мастила — $T_{м} = 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Швидкість нагріву склала від 0,4 до 1,8 $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. Швидкість нагріву зростає з 3 хв, максимум досягається з 6 по 8 хвилину, після чого приріст температури припиняється. Потужність, що розвивається електродвигуном, з 2 хвилини до 5 хвилини зростає, а після 8 хвилини поступово знижується. Температура навколишнього повітря підвищується лінійно. Температура наприкінці повного циклу випробувань редуктора склала $T_{п} = 67,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{м} = 64,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Згідно з вимогами чинної інструкції [2] цей редуктор є приданим до експлуатації.

На рис. 7 показані результати випробувань іншого редуктора № 1 (3.4).

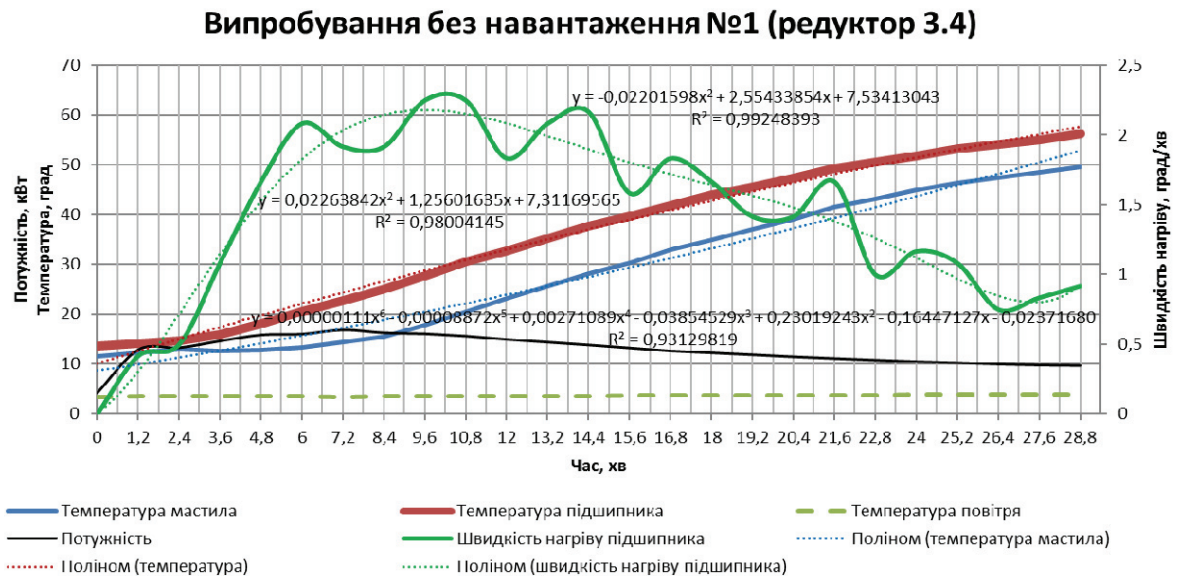


Рис. 7. Результати випробування редуктора № 1 (3.4)

З графіка рис. 7 випливає, що у випробуваннях без навантаження залежність зміни температури від часу носить нелінійний характер і достовірно описується поліномом другого ступеня. Коливання швидкості зміни температури мають аперіодичний характер, пов'язаний з інерційністю теплообміну та неоднорідністю технічного стану деталей і вузлів складної механічної системи. Максимальний приріст температури нагріву припадає на діапазон від 3 до 30 хвилин. Абсолютний базовий приріст температури підшипника склав $\Delta T_{п} = 42,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температури масла $T_{м} = 38,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Швидкість нагрівання зростає з 6 хвилини і склала від 0,4 до 2,2 $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. Максимальна швидкість нагрівання припадає на 10 хвилину, після чого її приріст припиняється. Температура навколишнього повітря підвищується лінійно. Температура наприкінці повного циклу випробувань редуктора склала $T_{п} = 70,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{м} = 69,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Згідно з вимогами чинної інструкції [2] температурні значення нагрівання корпусу цього редуктора № 1 (3.4) близькі до граничного значення у $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Висновки

З метою скорочення часу випробувань пропонується використання додаткових контрольних точок для прийняття рішень — 12 та 20 хвилини. На 12 та 20 хвилині обкатки без навантаження необхідно робити контрольні заміри температури для прийняття рішення про доцільність подальшого проведення обкатки. На цій підставі можна вважати, що у випадку з редуктором № 1 (3.4) для точок (у часі 12 та 20 хвилин) отримано конкретні значення визначального параметра (швидкості приросту температури), які відповідають критерію граничного технічного стану редуктора за тепловим методом контролю.

Згідно з цим у придатних до експлуатації редукторів температура в контрольних точках не повинна перевищувати: при першій обкатці без навантаження — $48 \text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому, швидкість нагрівання не повинна перевищувати $2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. Цю норму можна взяти за новий критерій для діагностування технічного стану редукторів за тепловим методом неруйнівного контролю під час стендових випробувань.

Коливання значень швидкості нагрівання у другій фазі часу (від 6 до 20 хв) підтверджує зроблений попередній висновок, що регулярний нагрів редуктора залежить від технічного стану редукторів. При цьому слід відмітити, що всі редуктори, не залежно від початкової температури, мали приріст швидкості нагрівання до 12 хвилини, а значення швидкості нагрівання не перевищувало нового критерію у $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження нового критерію (швидкості нагрівання редуктора у $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$) у практику стендових випробувань дозволяє експерту вже на першому етапі випробування в режимі «без навантаження» редуктора («вліво» чи «вправо» не має принципового значення) зробити висновок, щодо визначення технічного стану редуктора чи його наближення до критичного і закінчити вже на 20 хвилині процес подальшого випробування. Слід зазначити, що такий критерій вже існує для підшипникового вузла шламowego насоса і складає $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ [6], але для редукторів він поки що не використовувався. Введення нового критерію дозволяє вдосконалити технологію стендових випробувань редукторів пасажирських вагонів відповідно до сучасних вимог енергозбереження. А скорочення у 6 разів часу випробування одного редуктора з 120 (чи 180) хвилин до 20 хвилин зменшує не тільки виробничі витрати на один редуктор, але й економить електроенергію, і підвищує продуктивність ремонту в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Беркович И. И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения : учеб. для вузов / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский ; под ред. Д. Г. Громаковского ; Самар. гос. техн. ун-т. — Самара, 2000. — 268 с.
2. Інструкція з ремонту редукторно-карданих приводів пасажирських вагонів. ЦЛ-0078 [Текст] : Затв. : Наказ Укрзалізниці 31.03.09. № 219-С / Державна адміністрація залізничного транспорту України. Укрзалізниці. Головне пасажирське управління. — К., 2010. — 191 с.
3. Вагоны. Проектирование, устройство и методы испытаний / [Л. Д. Кузьмич и др.] ; под ред. Л. Д. Кузьмича. — М. : Машиностроение, 1978. — 376 с.
4. Крейт Ф. Основы теплопередачи : пер. с англ. / Ф. Крейт, У. Блэк. — М. : Мир, 1983. — 512 с.
5. Перетяка Н. О. Вдосконалення контролю проведення випробувань відремонтованих редукторів на Укрзалізниці / Н. О. Перетяка // Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості : 5-а Міжнар. наук.-практич. конф., 8—9 жовтня 2015 р. : тези доп. — Одеса, 2015. — С. 176 — 177.
6. Кравченко В. М. Анализ причин повреждения подшипникового узла вала шламowego насоса / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць. — Маріуполь, 2011. — № 2 (23). — С. 215 — 218. — Технічні науки.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.04.2017

Перетяка Наталія Олександрівна — здобувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення, e-mail: odatrya@yandex.ru .

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса

N. O. Peretiaka¹

Improvement Trials on Stand Trials of Reducers of Passenger Carriages

¹Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

The article considers the peculiarities of thermal processes in bench trials in different modes of gearboxes of the type of WBA 32/2 included in the gear-propeller drive generators of passenger cars. There has been experimentally confirmed the presence of the characteristic zone, which has the signs of the existence of regularities in the rate of heating of the gearbox depending on its technical condition. There have been installed additional checkpoints heating of the case in time trials gearbox on the stand, in which the temperature measurement can be the basis for expert opinions on the diagnosis of the technical condition of the gearbox. It has been suggested to improve thermal method of nondestructive control of the technical condition of the reducer by the application of additional diagnostic parameter that is the rate of heating of the gearbox in time, which enables to reduce testing time and bring significant energy savings. There has been detected limit value of the heating rate reducer, which corresponds to a satisfactory state of the object.

Keywords: energy efficiency in rail transport, diagnostics of technical condition of gear reducers, energy-saving methods of bench tests, diagnostic parameter, heating rate, reference point.

Peretiaka Natalia O. — Post-Graduate Student of the Chair of Metrology and Metrological Support, e-mail: odatrya@yandex.ru

Н. А. Перетьяка¹

Совершенствование методики стендовых испытаний редукторов пассажирских вагонов

¹Одесская государственная академия технического регулирования и качества

Рассмотрены особенности тепловых процессов во время стендовых испытаний в различных режимах редукторов типа ВБА 32/2, входящих в состав редукторно-карданного привода генераторов пассажирских вагонов. Экспериментально подтверждено наличие характерной зоны, которая имеет признаки существования закономерности скорости нагрева редуктора в зависимости от его технического состояния. Установлены дополнительные контрольные точки нагрева корпуса во время испытания редуктора на стенде, в которых измерения температуры могут быть основой для экспертного заключения относительно диагностирования технического состояния редуктора. Предложено усовершенствовать тепловой метод неразрушающего контроля технического состояния редуктора путем использования дополнительного диагностического параметра — скорости нагрева редуктора во времени, что дает возможность сократить время испытаний и обеспечить значительную экономию электроэнергии. Выявлено граничное значение скорости нагрева редуктора, которое соответствует удовлетворительному состоянию объекта.

Ключевые слова: энергосбережение на железнодорожном транспорте, диагностирование технического состояния редукторов, энергосберегающие методы стендовых испытаний, диагностический параметр, скорость нагрева, контрольная точка.

Перетьяка Наталья Александровна — соискатель кафедры метрологии и метрологического обеспечения, e-mail: odatrya@yandex.ru