

DOI: 10.31319/2519-2884.45.2024.11

УДК 621.313.323

Робак А.І., здобувач третього (доктор філософії) рівня, e-mail: artemRobak95@gmail.com

Горжій О.С., здобувач третього (доктор філософії) рівня, ORCID: 0009-0004-6187-0672, e-mail: aleksejgorziy@gmail.com

Гулеша О.М., к. м. н., доцент кафедри електроніки та електронних комунікацій, ORCID: 0000-0002-7512-5671, e-mail: e.gulesha@gmail.com

Нізімов В.Б., д. т. н., професор, e-mail: vikbor36@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Robak Artem, Postgraduate Student

Horzhii Oleksii, Postgraduate Student

Guliesha Elena, Candidate of mathematical sciences, Associate professor of the Department of Electronics and Electronic Communications

Nizimov Victor, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ЕЛЕКТРОПРИВОД ОБЕРТАННЯ КОЛІСНОЇ ПАРИ ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ РЕБОРД

Розглядається задача стабілізації швидкості обертання колісної пари для рівномірного нагріву реборд. Наведено загальний вигляд пристрою для нагріву реборд колісних пар та принципова схема асинхронно-вентильного каскаду. Виконаний математичний опис. Визначені статичні та динамічні характеристики асинхронного пуску та гальмування.

Ключові слова: пристрій індукційного нагріву реборд; асинхронний двигун; асинхронно-вентильний каскад.

The article solves an actual scientific problem, which consists in stabilizing the rotation speed of the wheel pair for uniform heating of the rims. The general view of the device for heating the rims of wheel pairs and the basic diagram of the AVK are shown. Completed mathematical description. Static and dynamic characteristics of asynchronous start and braking are determined.

Keywords: reboard induction heating device; asynchronous motor; asynchronous-valve cascade.

Постановка проблеми

Зростання вантажоперевезень залізничним транспортом викликає зношення колісних пар транспортних засобів — залізничних та трамвайних вагонів. Для ремонту колісних пар використовуються пристрої індукційного нагріву реборд. Тому актуальною технічною задачею є розробка електропривода обертання колісної пари для рівномірного індукційного нагріву реборд.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для обертання колісної пари використовуються пристрої із частотно-регульованим електроприводом, який з'єднаний через карданний вал [1, 2]. Недоліком пристрою є значна складність технічної реалізації, відносно низька точність у визначенні абсолютного ковзання і підвищені втрати енергії.

У пристрої для нагріву деталей під збирання з'єднань вбудований індукційний нагрівач для бандажів залізничних колісних пар [3, 4]. Недоліком пристрою є нерівномірність нагріву.

Пристрій для нагрівання і розбирання деталей, який складається зі змонтованого на станині кільцевого індукційного нагрівача з магнітопроводами, механізму замикання магнітопроводів, а також механізму центрування деталей [5]. Недоліком цього пристрою є складна конструкція, яка зумовлена використанням індукційного нагрівача з магнітопроводами, механізму замикання магнітопроводів і механізму центрування з кільцевим корпусом.

Пристрій для демонтажу колісних пар містить індуктор [6]. Недоліком цього пристрою є те, що верхня гілка підковоподібної котушки неробоча, при цьому знижується ККД і вимагається більше додаткового часу для демонтажу.

Установка для індукційного нагріву деталей має П-подібний магнітопровід [7]. Недоліком даної установки є те, що її будова збільшує загальний коефіцієнт розсіювання обмотки, при цьому зменшують її енергетичні показники.

Пристрій індукційного нагріву з двома індукторами використовується для нагрівання будь-якого виду поверхонь [8, 9]. Недоліком даного пристрою є обмеження області використання, невеликий коефіцієнт корисної дії та потужності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що найбільш перспективним є застосування асинхронно-вентильного каскаду (АВК), який має переваги перед іншими системами регулювання двигуном змінного струму.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є стабілізація швидкості обертання колісної пари для рівномірного нагріву реборд.

Виклад основного матеріалу

На рис. 1 представлений загальний вигляд пристрою для нагріву реборд колісних пар.

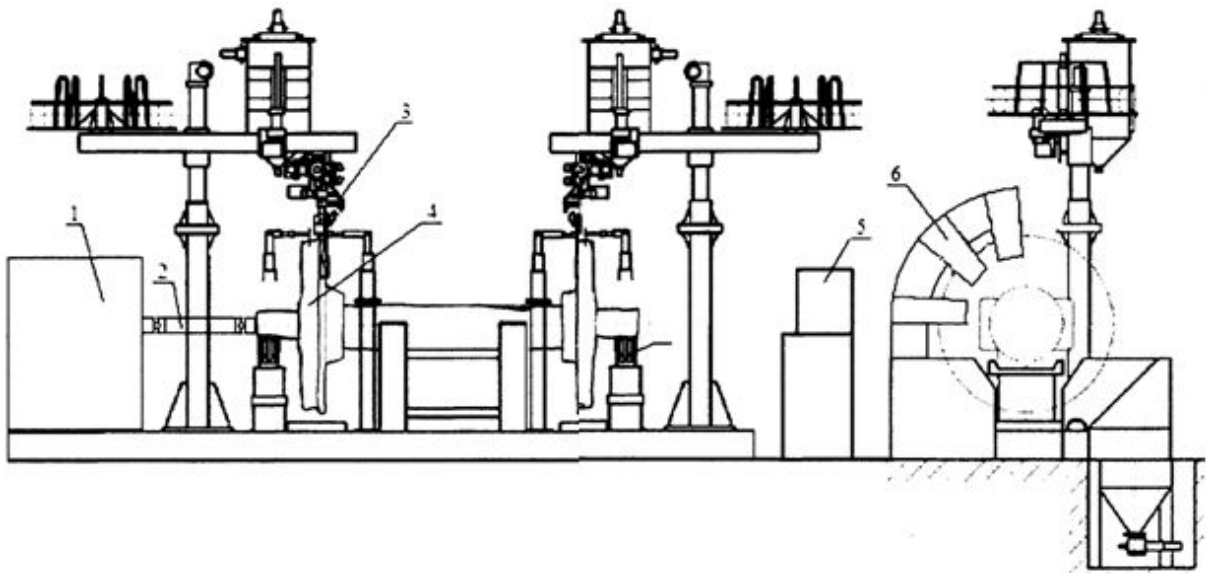


Рис. 1. Загальний вигляд пристрою для нагріву реборд колісних пар: 1 — електропривод обертання; 2 — карданний вал; 3 — зварювальна установка; 4 — колісна пара; 5 — блок керування нагрівачем; 6 — індукційний нагрівач

На рис. 2 наведена схема з проміжним колом постійного струму, яка є найпростішою та найпоширенішою схемою за АВК. У таких схемах ЕРС ротора випрямляється трифазним мостовим випрямлячем, а до кола випрямленого струму додається додаткова ЕРС від вентильного перетворювача (інвертора). Розрахунок механічних характеристик виконано на основі таких виразів.

Рівняння механічної характеристики АВК виглядає наступним чином:

$$M_{ABK} = 3,82 \cdot k_M \cdot \left(\frac{S - S_0}{S(1+q) + \rho} - \left(\frac{S - S_0}{S(1+q) + \rho} \right)^2 \right), \quad (1)$$

де k_M — коефіцієнт перевантаження АД; S — ковзання ротора в режимі двигуна та динамічного гальмування $S = \frac{\omega_0 - \omega_p}{\omega_0}$; $S = \frac{\omega_p}{\omega_0}$; S_0 — ковзання х. х.; β (90° ; 60° ; 45° ; 30°) — кут інвертування;

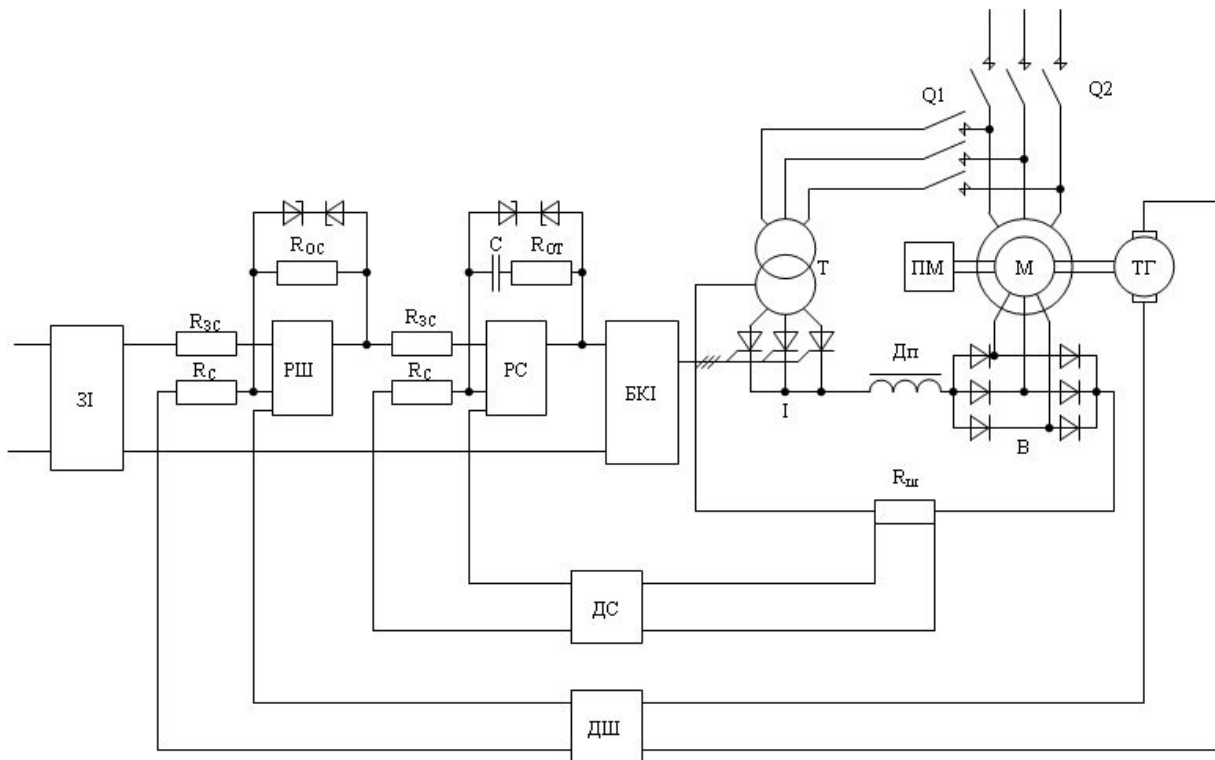


Рис. 2. Принципова схема АВК: АМ — активний двигун з фазним ротором; В – некерований напівпровідниковий випрямляч; І — керований тиристорний перетворювач для інвертування випрямленого струму ротора; Т — трансформатор для узгодження напруги ротора з напругою мережі; ДС — згладжувальний дросель для згладжування пульсацій

$$S_0 = \varepsilon \cdot \cos \beta + \lambda; \quad \lambda = \frac{\Delta U}{K_1 E_p}; \quad \varepsilon = \frac{K_2 E_{2T}}{K_1 E_p}; \quad q = \frac{2\pi r_1^1}{3x_p};$$

$$\rho = \frac{x_T}{x_p} + \frac{2\pi r_2}{3x_p} + \frac{\pi r_{CD}}{3x_p}; \quad Z_T = \frac{E_{2T} \cdot U_k \%}{100 \cdot I_{2HT}}; \quad r_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot 10^3}{3 \cdot I_{2HT}^2};$$

$$x_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2}; \quad r_{CD} = (0,15 \dots 0,3) r_T.$$

Критичне ковзання визначається за формулою

$$S_{nep} = \frac{2\sqrt{2} \cdot S_0 + \rho}{1/82 - q}.$$

Для заданого кута інвертування β поточне значення ковзання знаходиться в межах $S_0 < S < S_k$, розрахункові залежності яких представлені на рис. 3.

Структурна схема системи АВК наведена на рис. 4, в якій містить пропорційний регулятор швидкості та пропорційно-інтегральний регулятор струму.

Джерело додаткової ЕРС є періодичним колом першого порядку.

Перехідні процеси обчислюються через коло випрямленого струму каскаду. Точність регулювання швидкості двигуна забезпечується зворотними зв'язками по швидкості та струму.

Параметри АВК включають наступні розрахункові коефіцієнти:

$$c = \frac{k_1 \cdot E_p}{\omega_0},$$

$$k_i = \frac{3 \cdot E_{dMAX}}{2 \cdot U_Y},$$

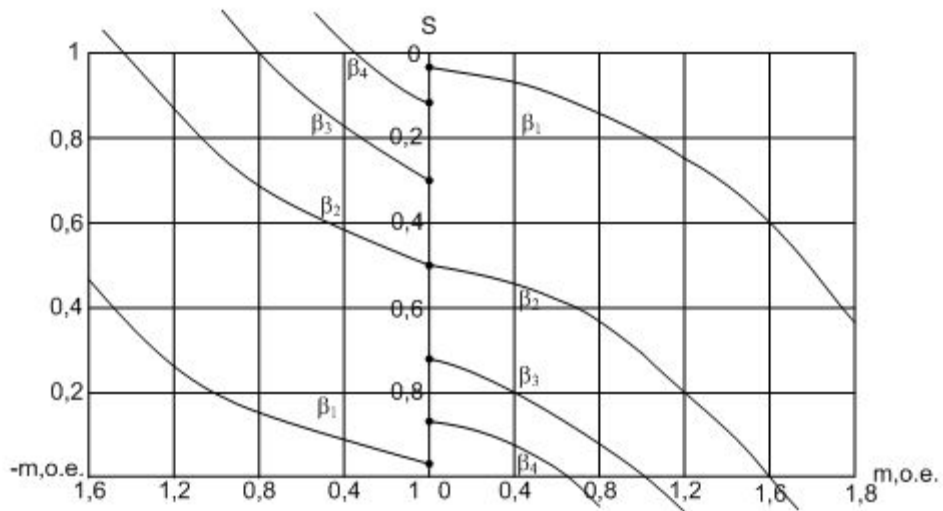


Рис. 3. Механічні характеристики АВК у режимах двигуна та динамічного гальмування при кутах: $\beta_2 = 90^\circ$; $\beta_2 = 60^\circ$; $\beta_2 = 45^\circ$; $\beta_2 = 30^\circ$

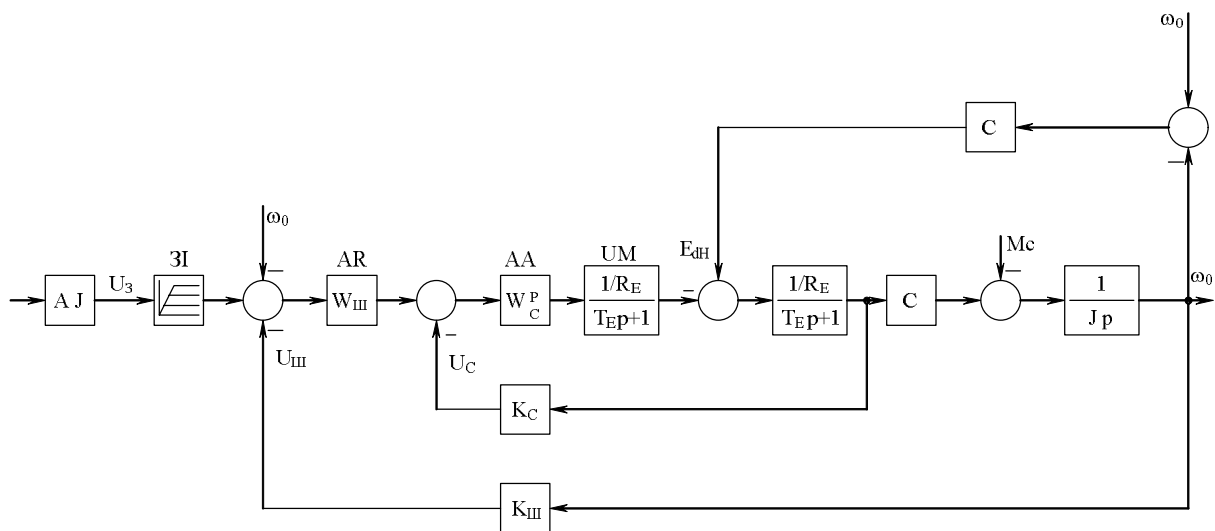


Рис. 4. Структурна схема АВК

$$T_e = \frac{L_{dk}}{R_e} = \frac{L_p + L_{CD} + L_{TP}}{R_e},$$

$$R_e = \frac{3 \cdot x_p \cdot S_{CP}}{\pi} + \frac{3 \cdot x_{TP}}{\pi} + 2 \cdot r_p + 2 \cdot r_1' \cdot S_{CP} + r_{CD} + 2 \cdot r_{TP},$$

$$T_M = J_\Sigma \frac{R_e}{c^2}, c,$$

$$k_C = \frac{U_{Tmax.}}{\lambda \cdot I_{dH}},$$

$$k_{Ш} = \frac{U_{Tmax.}}{\omega_p},$$

$$k_{PШ} = \frac{T_M \cdot C \cdot K_T}{4 \cdot T_n \cdot K_C \cdot R_e}.$$

$$k_1 = \frac{R_e}{2 \cdot T_{II} \cdot K_{II} \cdot K_T};$$

$$k_3 = \frac{1}{R_e};$$

$$k_4 = \frac{R_e}{C \cdot T_M}.$$

Розрахункова діаграма швидкості АВК наведена на рис. 5.

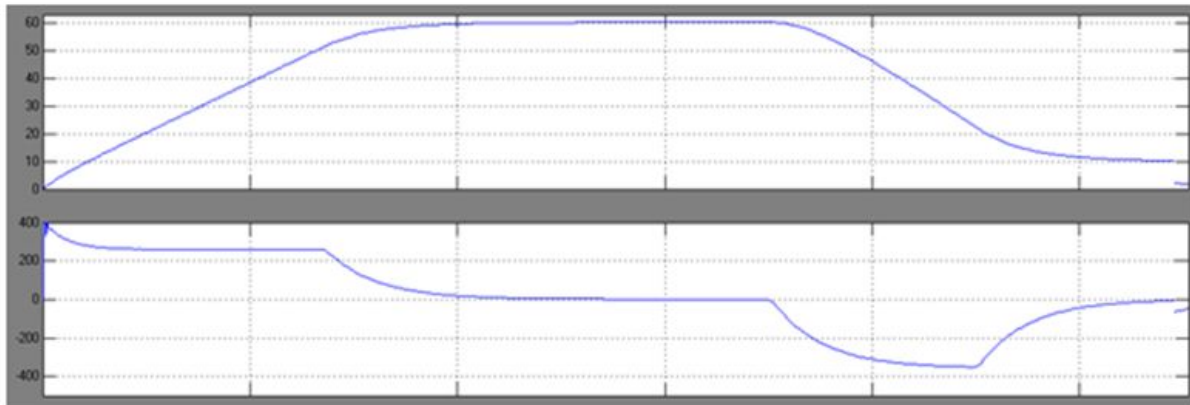


Рис. 5. Розрахункова діаграма швидкості АВК: 1 — швидкість обертання колісних пар; 2 — випрямлений струм каскаду

Висновки

1. Існуючі схеми частотного керування асинхронним двигуном потребують повної потужності перетворювача частоти та мають втрати енергії ковзання.
2. Досліджена система електропривода за схемою асинхронно-вентильного каскаду, має менші потужності роторного перетворювача частоти та забезпечує рекуперацію потужності ковзання до мережі.

Список використаної літератури

1. Частотно-регульований електропривод: пат. 42476 Україна. № 2001031628; заявл. 12.03.2001; опубл. 15.10.2001, Бюл. № 9, 6 с.
2. Частотно-регульований електропривод: А.с. 1823125А1 ССРСР. № 4916726/07; заявл. 05.03.1991; опубл. 23.06.1993, Бюл. № 23, 9 с.
3. Пристрій для керування асинхронним електроприводом: А.с. 1275731А1 ССРСР. № 3753005/24-07; заявл. 20.06.1984; опубл. 07.12.1986, Бюл. № 45, 6 с.
4. Пристрій для нагріву деталей під збирання з'єднань: пат. 67787 Україна. № u 202208320; заявл. 04.07.2011; опубл. 12.03.2011, Бюл. № 5, 3 с.
5. Індукційний нагрівач: пат. 66291 Україна. № u 201108038; заявл. 25.06.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24, 4 с.
6. Пристрій для індукційного розпресовування деталей: пат. 43365 Україна. № u 200903180; заявл. 03.04.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15, 8 с.
7. Пристрій для демонтажу колісних пар: пат. 69232 Україна. № u 201111419; заявл. 27.09.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8, 5 с.
8. Пристрій для індукційного нагріву деталей: пат. 69241 Україна. № u 201111605; заявл. 03.10.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8, 4 с.
9. Пристрій для індукційного нагріву: пат. 4092 Україна. № 2001053508; заявл. 24.05.2001; опубл. 17.01.2005, Бюл. № 1, 4 с.

ELECTRIC WHEEL PAIR ROTATION DRIVE FOR INDUCTION HEATING RIB

Abstract

The article solves an actual scientific and technical task, which concerns the stabilization of the speed of rotation of the wheel pair for the purpose of uniform heating of the flanges. The general design of the device for dismantling wheel pairs is presented, the device of wheel pairs contains an inductor. The disadvantage of this device is low efficiency, a large amount of time spent on dismantling. It is noted that the installation for induction heating of parts has a U-shaped magnetic wire. The disadvantage of this installation is that its structure increases the total dissipation factor of the winding, while reducing its energy indicators. At the same time, an induction heating device with two inductors is used to heat any type of surface. The disadvantage of this device is the limitation of the area of use, a small efficiency and power factor. Based on the results of the analysis of the latest research and publications, it was determined that the most promising is the use of an asynchronous valve cascade system, which has advantages over other systems of regulation by an alternating current motor. The principle diagram of automatic control according to the AVK scheme is given. A mathematical description of the static start-up and braking characteristics of this system is provided, as well as static and dynamic processes are calculated on the basis of the mathematical description, transient calculation processes through the rectified current circuit of the cascade are constructed. The accuracy of motor speed regulation is provided by speed and current feedback. The structural diagram of the AVK is shown, which consists of typical dynamic links: a proportional speed regulator and a proportional-integral current regulator. The obtained speed diagram, which demonstrates the starting mode, movement at nominal speed and regenerative dynamic braking, the source of additional EMF is a periodic circuit of the first order. It is determined that the electric drive system according to the AVK scheme has lower powers of the rotary frequency converter and provides recovery of slip power to the network.

References

- [1] *Chastotno-rehulovanyi elektropryvod [Frequency-regulated electric drive]* : pat. 42476 Ukraina. № 2001031628; zaiavl. 12.03.2001; opubl. 15.10.2001, Biul. № 9, 6 p. [in Ukraine].
- [2] *Chastotno-rehulovanyi elektropryvod [Frequency-regulated electric drive]* : A.s. 1823125A1 SSSR. № 4916726/07; zaiavl. 05.03.1991; opubl. 23.06.1993, Biul. № 23, 9 p. [in Ukraine].
- [3] *Prystirii dlia keruvannia asynkhronnym elektropryvodom [Device for controlling an asynchronous electric drive]* : A.s. 1275731A1 SSSR. № 3753005/24-07; zaiavl. 20.06.1984; opubl. 07.12.1986, Biul. № 45, 6 p. [in Ukraine].
- [4] *Prystirii dlia nahrivu detalei pid zbyrannia ziednan [Device for heating parts for assembling connections]* : pat. 67787 Ukraina. № u 202208320; zaiavl. 04.07.2011; opubl. 12.03.2011, Biul. № 5, 3 p. [in Ukraine].
- [5] *Induktsiinyi nahrivach [Induction heater]* : pat. 66291 Ukraina. № u 201108038; zaiavl. 25.06.2011; opubl. 26.12.2011, Biul. № 24, 4 p. [in Ukraine].
- [6] *Prystirii dlia induktsiinoho rozpresovuvannia detalei [Device for induction pressing of parts]* : pat. 43365 Ukraina. № u 200903180; zaiavl. 03.04.2009; opubl. 10.08.2009, Biul. № 15, 8 p.
- [7] *Prystirii dlia demontazhu kolisnykh par [Device for dismantling wheel pairs]* : pat. 69232 Ukraina. № u 201111419; zaiavl. 27.09.2011; opubl. 25.04.2012, Biul. № 8, 5 p. [in Ukraine].
- [8] *Prystirii dlia induktsiinoho nahrivu detalei [Device for induction heating of parts]* : pat. 69241 Ukraina. № u 201111605; zaiavl. 03.10.2011; opubl. 25.04.2012, Biul. № 8, 4 p. [in Ukraine].
- [9] *Prystirii dlia induktsiinoho nahrivu [Device for induction heating]* : pat. 4092 Ukraina. № 2001053508; zaiavl. 24.05.2001; opubl. 17.01.2005, Biul. № 1, 4 p. [in Ukraine].

Надійшла до редколегії 19.09.2024