

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мокроусов Сергій Дмитрович

УДК 629.4.027.5.001.76

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ  
КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Харків - 2006**

**Дисертацією є рукопис**

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту, Міністерство транспорту та зв'язку України.

**Науковий керівник** – кандидат технічних наук, доцент  
Басов Геннадій Григорович,  
ВАТ ХК “Луганськтепловоз”, технічний директор

**Офіційні опоненти** – доктор технічних наук, професор  
Головко Владислав Федорович,  
Українська державна академія залізничного  
транспорту, кафедра “Вагони”, завідувач кафедри

– доктор технічних наук, професор  
Маслієв В'ячеслав Георгійович,  
Національний технічний університет “ХПІ”,  
кафедра “Електричний транспорт та  
тепловозобудування”, професор

**Провідна установа** – Східноукраїнський національний університет імені  
Володимира Даля, кафедра “Залізничний  
транспорт”, Міністерство освіти і науки України, м.  
Луганськ

Захист відбудеться “ 23 ” червня 2006 р. о 13<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “22” травня 2006 р.

Вчений секретар  
ради

Ломотько Д.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Одним із головних показників економічного розвитку держави є стійка робота його транспортної системи. Особливості України визначають в якості основного типу транспорту – залізничний. Це формує особливі вимоги до надійності рухомого складу в цілому. Одним з найважливіших вузлів рухомого складу, від надійності якого залежить безпека руху поїздів, є колісна пара. Вихід із строю колісних пар викликає за собою відмову в експлуатації цілого локомотива, визиває збільшення часу його простою в ремонті, а відповідно простою в неробочому парку. Великий вплив на надійність і довговічність колісних пар має технологія їх формування при виготовленні.

**Актуальність теми.** В процесі експлуатації на колісних парах тепловозів мають місце ослаблення бандажів, їх проворот, тріщини та інші несправності, які в значній мірі визначаються якістю технології нагріву та контролю колісних пар при формуванні. Так, аналіз роботи колісних пар в експлуатації показав, що є місце їх виходу по причині неякісного формування. Тому задача удосконалення технологічного процесу формування колісних пар при виготовленні є складовою частиною загальної проблеми надійності рухомого складу і ефективності його використання. Особливу актуальність отримують питання, які пов'язані з удосконаленням технологічного процесу напресування бандажів на колісні центри. Це і визначило актуальність та тему дисертаційної роботи.

Актуальність теми також підтверджується постановою Кабінету Міністрів №364 від 4 червня 1994 р. "Про організацію виробництва вагонів дизель - та електропоїздів", в якій були визначені основні завдання промисловості та виділено як головне підприємство ВАТ ХК "Луганськтепловоз". Науково-технічна частина цієї програми була розвинута в Державній програмі "Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства", введеної в дію Постановою Кабінету Міністрів України від 2 червня 1998 р. №769.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана згідно діючих Державних програм і концепцій: "Реформування транспортного комплексу України"; "Реструктуризації на залізничному транспорті України" (від 1998р.);

“Розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на 2000-2004р.”, затвердженої Кабінетом Міністрів України від 30.12.2000р.

Наукові результати роботи отримані при виконанні наступних науково-дослідних робіт “Розробка типу нового рухомого складу для залізниць України” (ДР 0104U009105), „Вибір оптимальних параметрів перспективних типів магістральних, маневрових тепловозів та моторвагонного рухомого складу” (ДР 0104U003178, архів № 0204U006105).

**Мета і задачі дослідження.** Мета представленої дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукової задачі підвищення надійності колісних пар за рахунок удосконалення технології їх формування.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

- провести аналіз існуючих технологій виготовлення та ремонту колісних пар на заводах і в локомотивних депо;
- проаналізувати надійність колісних пар в експлуатації та розробити заходи по її підвищенню;
- виконати аналіз пристроїв для нагрівання та контролю температури бандажів колісних пар;
- розробити моделі нагріву та визначення залежності постійної температури бандажів від їх товщини перед напресуванням;
- розробити модель охолодження бандажів;
- запропонувати заходи по удосконаленню технології формування колісних пар;
- оцінити економічний ефект від впровадження нової технології виготовлення колісних пар.

*Об'єкт дослідження* – процес формування колісних пар локомотивів при їх виготовленні.

*Предмет дослідження* – центри та бандажі колісних пар локомотивів.

*Методи дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі використовувалися фундаментальні методи теоретичної механіки, теорії пружності, теорії ймовірностей і математичної статистики, методів теорії подібності і моделювання, а також електричного тензометрування при виконанні експериментальних досліджень і обробки отриманих результатів, теорії конструкції локомотивів та теорії ремонту локомотивів.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Наукова новизна отриманих в дисертаційній роботі результатів полягає в наступному:

- вперше розроблені моделі нагріву та охолодження бандажів колісних пар при взаємодії із змінним магнітним полем;
- отримані залежності нагріву та охолодження бандажів в залежності від часу з урахуванням температури навколишнього середовища;
- доведені залежності натягу від діаметра бандажу колісних пар для різних серій локомотивів;
- формалізовано комплекс моделей технології формування колісних пар локомотивів за рахунок впровадження раціонального нагріву бандажів, впровадженню нових засобів контролю температури бандажів та посадки на колісні центри, який став основою для автоматизованої системи контролю при напруженні бандажів на колісні центри;
- отримала подальший розвиток стратегія формування колісних пар з обандаженими колісними центрами;
- отримала подальший розвиток модель визначення економічного ефекту від впровадження нових технологій виготовлення колісних пар.

**Практичне значення отриманих результатів.** Удосконалено технологію формування колісних пар тепловозів, електровозів, дизель і електропоїздів, яка впроваджена в науково-впроваджувальному центрі “Трансмаш” та ВАТ ХК “Луганськтепловоз”.

Розроблені наукові положення про удосконалення технології виготовлення колісних пар використовуються в навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту при вивченні дисциплін “Технологія ремонту локомотивів” а також “Теорія та конструкція локомотивів”.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами та матеріалами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Усі положення і результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

- в роботі [1] розробка математичної моделі процесу нагріву бандажів;
- в роботі [2] розробка моделі індукційного нагріву бандажів;

в роботах [3, 4] аналіз впливу на бандаж колісних пар поперечних коливань та нелінійних сил крипу в експлуатації;

в роботі [5] розробка методів забезпечення надійності колісних пар в експлуатації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювалися на наступних конференціях:

- на 66, 67, 68-й міжнародній конференції кафедр академії і фахівців залізничного транспорту і підприємств, 2004 - 2006 рр. (м. Харків);
- на 14, 15 міжнародній конференції “Проблеми розвитку рейкового транспорту”, (Крим, м. Ялта, 2004 р., м. Алушта, 2005);
- на третій науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: Техніка, технологія, економіка і управління” (Україна, м. Київ, 2005 р.).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри “Експлуатація та ремонт рухомого складу” УкрДАЗТ у 2006р. за участю членів спеціалізованої вченої ради.

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковані у шести наукових працях. П'ять у статтях в фахових виданнях, тезах доповідей науково-технічної конференції. Одна стаття надрукована без співавторів.

**Структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та десяти додатків. Повний обсяг дисертації складає 198 сторінок, у тому числі 124 сторінки основного тексту, 53 сторінок додатків, 12 таблиць, 35 рисунків, список використаних літературних джерел з 178 найменувань.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтована необхідність проведених досліджень з метою визначення сучасного рівня технології формування колісних пар тягового рухомого складу. У зв'язку з цим доводиться актуальність задачі розробки та впровадження в виробництво нових технологій формування колісних пар. Наведено зв'язок роботи з науковими програмами; обґрунтовано мету та задачі дослідження, методи дослідження, визначено наукову новизну одержаних результатів, обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій. Представлено наукове та практичне значення роботи, особистий внесок здобувача, апробацію результатів, публікації та структуру дисертації.

Розділ 1 присвячено аналізу існуючих технологій виготовлення колісних пар локомотивів. Проведено огляд робіт, спрямованих на підвищення рівня виготовлення колісних пар локомотивів. Вагомий внесок у вирішення проблеми удосконалення розробки екіпажних частин рухомого складу, а також удосконалення технологій їх виготовлення та ремонту зробили відомі вчені: Басов Г.Г., Боднар Б.Є., Босов А.А., Блохін Є.П., Голубенко О.Л., Головка В.Ф., Дьомін Ю.В., Кельріх М.Б., Мямлін С.М., Іванов І.І, Коротенко М.Л., Маслієв В.Г., Осенін Ю.І., Савоськін І.М., Смушков П.І., Тартаковський Е.Д., Ткаченко В.П. та ін.

Аналіз експлуатаційної надійності колісних пар показав, що в експлуатації біля 8,7% несправностей колісних пар відбуваються через послаблення бандажів. Тому актуальним являється виявлення причин даної несправності та заходів направлених на їх усунення.

Обробка статистичної інформації по напресовці бандажів на колісні пари вибіркою понад 1000 одиниць показала, що різниця по натягу (рис.1) для одної колісної пари не перевищує 1% для локомотивів однієї серії. При цьому натяг має тенденцію до зменшення при збільшенні внутрішнього діаметра бандажа.

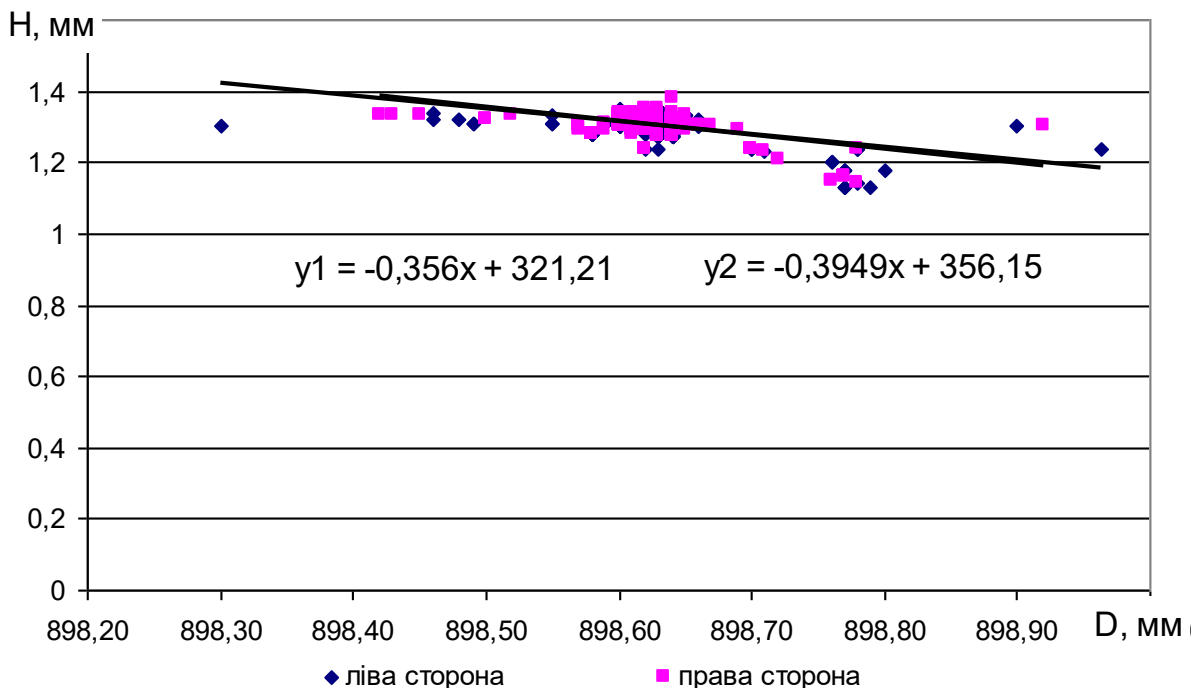


Рис. 1. Залежність натягу від діаметру бандажу колісних пар тепловозів 2ТЕ116

Регресійні залежності натягу від діаметра бандажу для різних серій локомотивів уже суттєво відрізняються, хоча мають однакову тенденцію

(рис.2). Натяг для колісних пар маневрових тепловозів на 3-5% більший, чим для магістральних локомотивів.

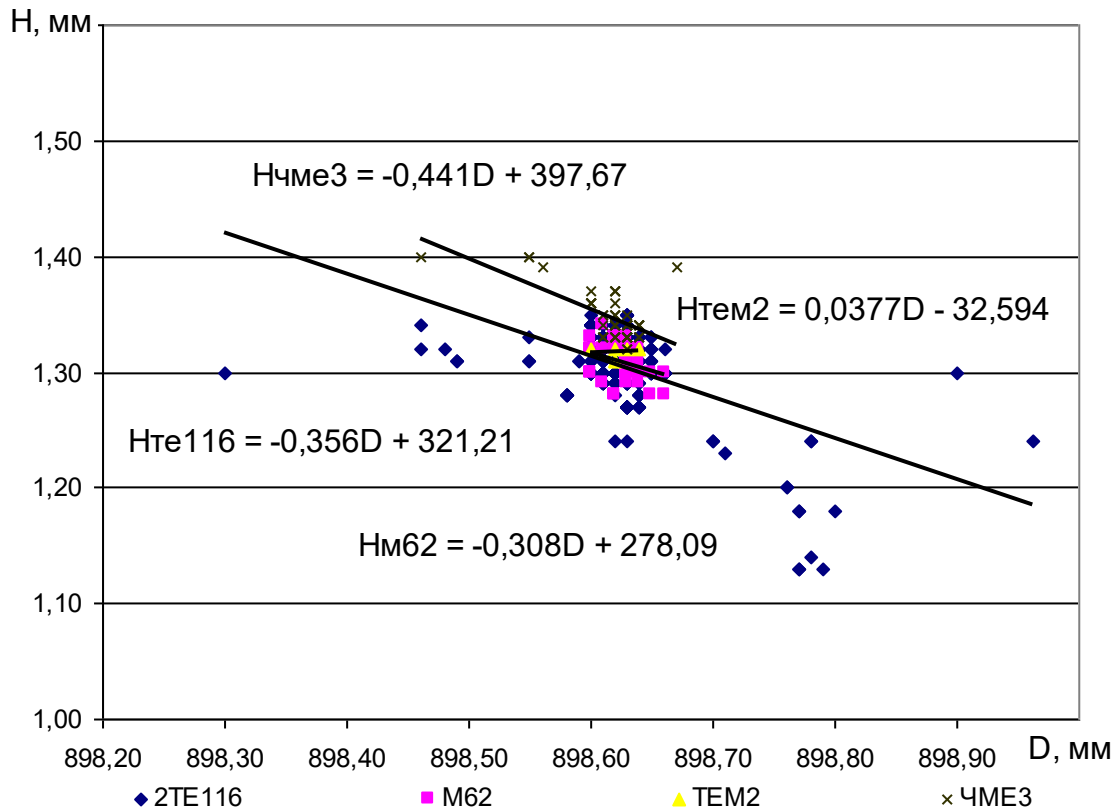


Рис. 2. Залежність натягу від діаметру бандажу колісних пар для різних серій тепловозів

В результаті аналізу існуючих технологій формування колісних пар в якості пристроїв для нагріву бандажів колісних пар використовують нагрівальні печі та індукційні нагрівачі. Подальші дослідження показали, що математичного апарату для визначення нагріву бандажів та отримання залежностей постійної температури бандажу від його товщини не має. А це визиває труднощі для автоматизації процесу нагріву та контролю температури бандажів колісних пар при формуванні.

Температуру бандажу при нагріві контролюють в основному трьома способами. Перший – це з допомогою еталонних бандажів, другий – з допомогою термоолівців, а третій - з використанням терморезистора.

Аналіз існуючих технологій формування колісних пар показав, що їх можна класифікувати на два типи. Перші були розроблені ще в 60-70 роки минулого століття та базуються на нагріві бандажів. Другі – на охолодженні колісних центрів до низьких температур та температури бандажів, рівній температурі навколишнього середовища. Але даний підхід являється дорогим через велику вартість на даний момент камери охолодження.



Тому були запропоновані шляхи збільшення строку служби колісних пар: технічні; менеджмент якості при виготовленні і т.д.

Другий розділ присвячено доопрацюванню методів визначення нагріву та контролю, які дозволяють удосконалити технологію нагріву бандажів на колісних центрах.

Була формалізована задача нагріву бандажів колісних пар на індукційному нагрівачі. Спочатку була розроблена математична модель процесу індукційного нагріву бандажів колісних пар. Для кількісного аналізу процесу індукційного нагріву були доопрацьовані методи моделювання взаємодії бандажу з перемінним магнітним полем.

Бандаж колісної пари був представлений як заготовка товщиною  $h$ , яка поміщена у просторово однорідне зовнішнє магнітне поле. Вектор напруги  $\vec{H}$  поля змінюється з кутовою частотою  $\omega$ :

$$\vec{H}(t) = \vec{H}_0 \sin \omega t,$$

причому  $H_0$  паралельний осі  $Ox$ .

На поверхнях деталі при  $z = \pm h/2$  як на кордонах між середами з різноманітними властивостями неперервні тангенціальні проекції вектору напруги  $H$  і нормальні проекції вектору магнітної індукції  $\vec{B}$ . Поза деталями, для повітря магнітну проникливість можливо сприйняти рівної одиниці. Тому у даному випадку граничні умови запишуться:

$$(1) \quad \begin{cases} H_x(t; \pm h/2) = \vec{H}_x = H_0 \sin \omega t \\ H_y(t; \pm h/2) = \vec{H}_y = 0 \\ H_z(t; \pm h/2) = \frac{B_z}{\mu\mu_0} = \frac{\vec{B}_z}{\mu\mu_0} = \frac{\vec{H}_z}{\mu} = 0 \end{cases},$$

Тут нижнім індексом відмічена проекція  $\vec{H}$  і  $\vec{B}$  на відповідній координатній осі.

Для дослідження реального розподілу щільності перемінного струму у провіднику і виявлення впливу поверхневого ефекту на індуктивний й активний опір провідника було приведено рівняння Максвелла:

$$(2) \quad \begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} + \frac{\partial B}{\partial t} = 0, \nabla B = 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{E} - \frac{\partial D}{\partial t} = \vec{j}, \nabla D = \rho_e \end{cases},$$

де  $\vec{\nabla}$  - оператор Гамільтона;  $\mathbf{J}$  – вектор густини електричного струму;  $\rho_e$  - об'ємна густини електричного заряду;  $\vec{D}$  - вектор електричного зміщення.

Знехтувавши струмами зміщення і виконавши перетворення в рівняннях (1 -2) була отримана система

$$(3) \quad \begin{cases} \sigma\mu\mu_0 \frac{\partial H_x(t, z)}{\partial t} = \frac{\partial^2 H_x(t, z)}{\partial z^2} \\ \sigma\mu\mu_0 \frac{\partial H_y(t, z)}{\partial t} = \frac{\partial^2 H_y(t, z)}{\partial z^2} \end{cases} .$$

Для її вирішення було застосовано перетворення Лапласа виду

$$\tilde{H}(p, z) = \int_0^{\infty} H(t, z) e^{-pt} dt, \quad (4)$$

де  $\tilde{H}(p, z)$  - зображення по Лапласу, яке залежить від  $z$  і параметру  $p$ , у загальному випадку комплексного, то значить  $p \in \mathbb{C}$ .

Прийнявши  $t=0$ :  $H_x(0, z)=H_y(0, z)=0$  та з урахуванням (1) була отримана ОДУ 2-го порядку з відповідними граничними умовами.

Для переходу зображення  $\tilde{H}(t, z)$  до оригіналу  $H_x(t, z)$  були знайдені полюси функції  $\tilde{H}_x(p, z)$  комплексного змінного  $p$ .

Так як усі полюси прості, а функція задовольняє третій умові теореми розкладення, то їй відповідає оригінал у виді суми вираховань цієї функції в її полюсах:

$$H(t, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \operatorname{Re} s(\tilde{H}(p, z) e^{pt}), \quad (5)$$

З часом усі складові під знаком  $\sum_{n=1}^{\infty}$  будуть наближатись до нуля, так що починаючи з деякого моменту  $t$  можна вважати процес змінення магнітного поля періодичним, який описується першими двома складовими. При  $z=0$  - ряд, який визначається цією сумою, є знакоперемінним. Тому його значення не перебільшить деякого  $\delta$  при  $t \geq t$ , якщо  $t$  визначити з умов рівності першого члену цього ряду значень. При достатньо високій  $\omega$  дріб під знаком логарифма може виявитися менше 1 навіть при дуже малих  $\delta$ . Це значить, що з припустимою погрішністю, яка

не перевищує  $\delta$ , є періодичним починаючи з моменту часу  $t=0$ , тобто слід прийняти  $t_*=0$ . Для знаходження щільності вихрових токів  $\bar{j}$  у деталі використовується представлення диференціальної операції ротору у прямокутній системі координат, де від нуля відмінна лише проекція  $j$  на ОУ використовують формулу Ейлера:

$$\begin{aligned} j_y(t, z) &= H_0 \frac{\varpi}{ih} (Z_i(z)e^{i\omega t} - Z_{-i}(z)e^{-i\omega t}) = \\ &= H_0 \frac{\varpi}{i} ((Z_i(z) - Z_{-i}(z))\cos \omega t + i(Z_i(z) + Z_{-i}(z))\sin \omega t) = \\ &= 2H_0 \frac{\omega}{h} \sqrt{Z_i(z)Z_{-i}(z)} \sin \left( \omega t + \arctg i \left( \frac{Z_i(z) - Z_{-i}(z)}{Z_i(z) + Z_{-i}(z)} \right) \right), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{де } Z_i(z) = \sqrt{2i} \frac{\text{sh} 2\varpi \sqrt{2i} \frac{z}{h}}{\text{ch} \varpi \sqrt{2i}}, \quad Z_{-i}(z) = \sqrt{-2i} \frac{\text{sh} 2\varpi \sqrt{-2i} \frac{z}{h}}{\text{ch} \varpi \sqrt{-2i}}, \quad \varpi = \sqrt{\frac{\omega \sigma \mu \mu_0}{8}} \cdot h$$

Враховуючи що  $\sqrt{\pm 2i} = \pm(1 \pm i)$ , вираз (6) був перетворений до дійсного виду з урахуванням того, що маються високі  $\omega$  і  $H$  зовнішнього магнітного поля. Амплітуда коливань щільності вихрових токів визначається наступним чином

$$A_j(z) = 2\sqrt{2}H_0 \left( \frac{\varpi}{h} \right) \frac{\left( \text{sh} \left( 2\varpi \frac{z}{h} \right) \right)}{\text{ch} \varpi}. \quad (7)$$

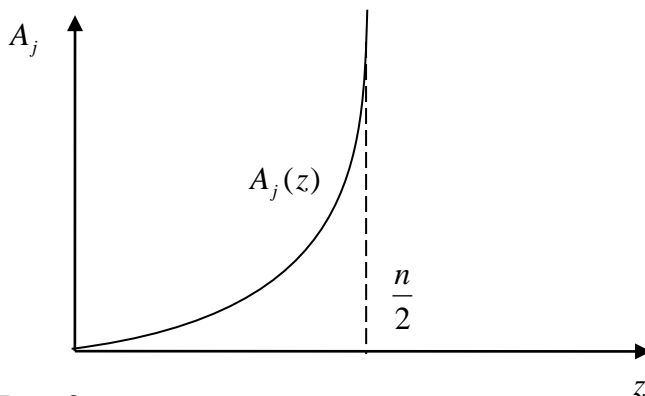


Рис.3. Залежність амплітуди коливань щільності вихрових токів від товщини деталі

Максимальна амплітуда буде на поверхнях деталі при  $z = \pm h/2$ . Характер залежності  $A_j(z)$  від товщини деталі поданий на рис.3.

Для отримання аналітичної залежності постійної температури бандажу від його товщини при нагріві була удосконалена наступна модель.

Бандаж був представлений як заготовка товщиною  $h$ , яку поміщено у однорідне зовнішнє магнітне поле. Середня за

період коливань об'ємна міцність виділення джоулевої теплоти змінюється по товщині деталі і дорівнює:

$$qV(z) = \frac{Aj^2(z)}{2\sigma} = \frac{4H_0^2\omega^2}{h^2\sigma} \cdot \frac{ch^2\omega \frac{z}{h}}{ch^2\omega} = H_0^2\omega\mu\mu_0 \frac{\left(ch4\omega \frac{z}{h} - 1\right)}{4ch^2\omega} \quad (8)$$

Прийнявши коефіцієнти теплопровідності  $\chi$  і об'ємну теплоємність металу постійними, при періодичному змінненні в ньому магнітного поля, описуєма функція температури  $T(t,z)$  задовольняє рівнянню

$$\frac{c}{\lambda} \frac{\partial T(t,z)}{\partial t} = \frac{\partial^2 T(t,z)}{\partial z^2} + \frac{qV(z)}{\lambda}, \quad (9)$$

з граничними умовами

$$\begin{aligned} \lambda \cdot \frac{\partial T(t, h/2)}{\partial z} &= \alpha(T_* - T(t, \frac{h}{2})) \\ -\lambda \cdot \frac{\partial T(t - h/2)}{\partial z} &= \alpha(T_* - T(t, \frac{h}{2})), \end{aligned} \quad (10)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні деталі до кисню температурою  $T_*$

Встановлений розподіл  $T(z)$  можливо знайти безпосередньо рішенням ОДУ 2-го порядку. Для цього було прирівняно до нуля її першу частину після подвійного інтегрування та визначення  $C^*$ :

$$T(z) = T_* + H_0^2\omega \frac{8h2\omega - 2\omega}{2\alpha h ch^2\omega} + H_0^2 \frac{ch2\omega - ch4\omega \frac{z}{h} - 2\omega^2(1 - 4\frac{z}{h^2})}{8\lambda\sigma ch^2\omega}. \quad (11)$$

Час  $t^*$ , за який з абсолютною погрішністю  $\Delta$  відбувається завершення процесу встановлення розподілу температури у деталі, визначається за формулою:

$$t^* = \frac{1}{\alpha p_0^2} \ln \frac{8H_0^2\omega^2 I(p_1)}{\lambda h^2 \Delta \sigma p_1 (p_1 h + \sin p_1 h) ch^2\omega}, \quad (12)$$

де  $p_1 h \in (0; \frac{\pi}{h})$ .

Розділ 3 присвячений розробці моделі охолодження бандажів колісних пар та удосконаленню технології формування колісних пар тягового рухомого складу.

Для повного завершення циклу формування колісних пар була розроблена модель охолодження бандажів. Суть її складається в наступному.

Модель охолодження бандажа можна виразити функцією  $\tau = f(T, T_c)$ .

За час охолодження температура бандажу змінюється від  $T_0$  до  $T_c$ . У момент часу  $\tau$  (в любий момент) температура тіла дорівнює  $T$ . За нескінченно малий період часу  $d\tau$  кількість тепла, яка віддається бандажем дорівнює:

$$dQ = -\alpha(T - T_c)d\tau,$$

де  $\alpha = const$  - коефіцієнт пропорції.

З іншої сторони, кількість тепла  $Q$ , яка віддається тілам при охолодженні від  $T_0$  до  $T_c$ ,  $Q = mc(T - T_c)$ , при початковій умові  $T = T_c$  та при  $\tau = 0$  шуканий закон охолодження:

$$T = T_c + (300 - T_c) \cdot e^{\frac{-\alpha\tau}{mc}},$$

де  $m$  і  $c$  відповідно теплоємність і маса металу.

На основі розроблених у другому розділі моделей були отримані залежності зміни температури від часу при нагріванні та при охолодженні бандажу з урахування температури навколишнього середовища. Розроблена модель вибору параметрів індукційного нагрівача струмами високої частоти, на основі якої обрані її основні характеристики. Потім була удосконалена технологія збірки колісних пар. При існуючій технології збірки колісних пар спочатку встановлюється еталонний бандаж і по ньому настроюють індукційний нагрівач на нагрів до необхідної температури. Лише після цього починається збірка колісних пар.

Недоліком даної технології можна вважати: неврахування зміни температури навколишнього середовища; додаткові витрати на встановлення, нагрів бандажу та настройку індукційного нагрівача; неможливість контролю дійсної температури бандажу.

Для усунення даних недоліків було впроваджено наступні зміни в технологію формування колісних пар: встановлено тепловізор для контролю температури нагріву бандажу; на основі раніше приведених моделей розроблено програмне забезпечення для автоматизованого контролера, який би вимикав індукційний нагрівач при досягненні необхідної температури (рис. 4).

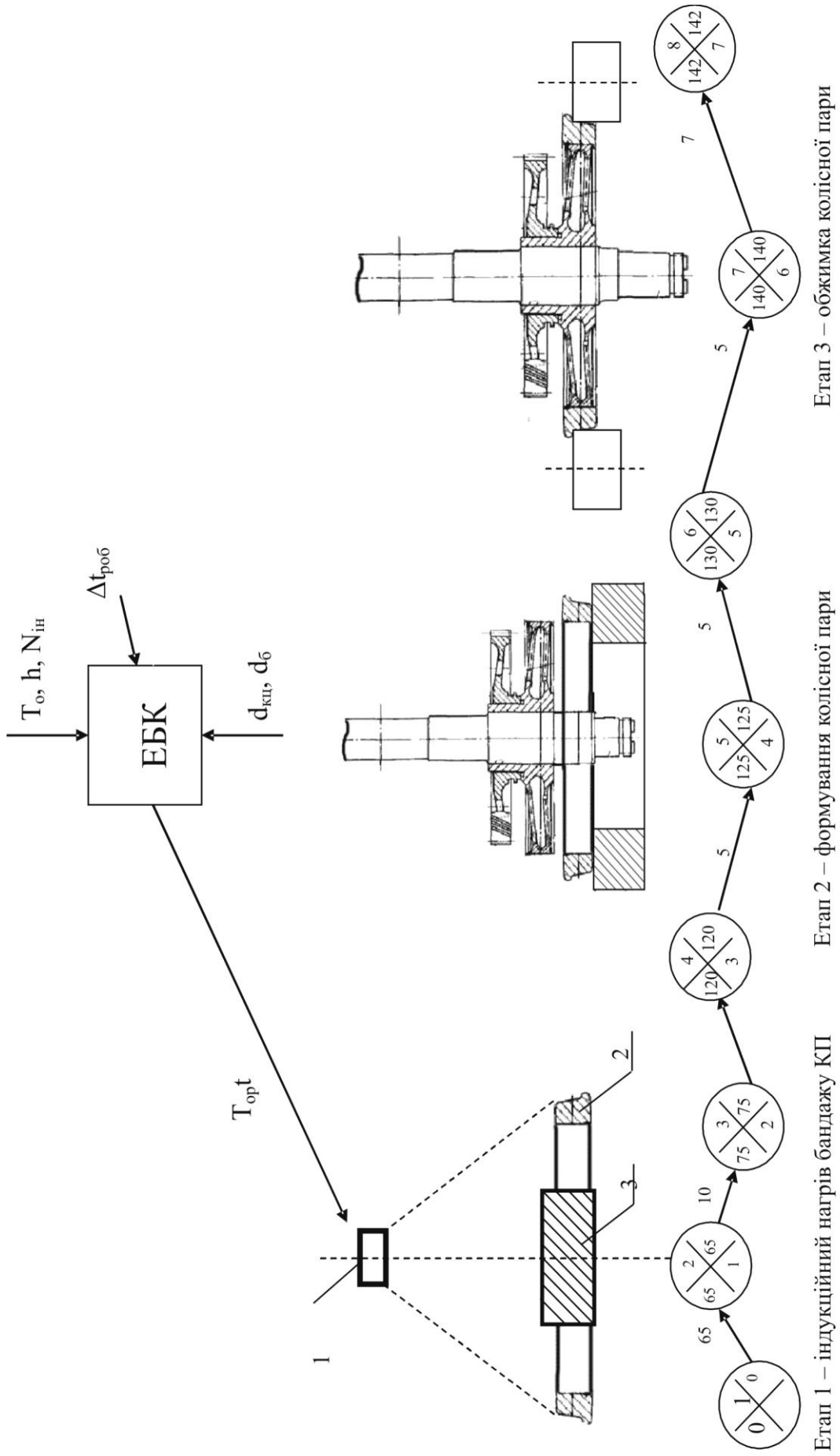


Рис.4. Технологія формування бандажів колісних пар з використанням електронного контролера

Четвертий розділ присвячений розрахунку економічного ефекту від впровадження удосконаленої технології виготовлення колісних пар.

Отримала подальший розвиток модель визначення економічного ефекту від впровадження нових технологій виготовлення колісних пар. Проведені в дисертації техніко-економічні розрахунки свідчать про те, що впровадження нової технології формування колісних пар локомотивів дозволить підвищити економічну ефективність їх виготовлення. При цьому економічний ефект від впровадження нової технології збірки колісних пар складатиме за рік понад 145 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

В рамках Державної програми “Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства” виконано комплексне дослідження, яке присвячене розробці науково обґрунтованих технічних і технологічних рішень по створенню ресурсозберігаючих технологій формування колісних пар локомотивів при виготовленні, яке можна розглядати як вирішення однієї з науково-практичних задач залізничного транспорту, що має важливе науково-господарське значення. При цьому отримані наступні наукові і практичні результати:

1. В результаті аналізу існуючих технологій виготовлення та ремонту колісних пар на заводах і в локомотивних депо України та ближнього зарубіжжя було виявлено, що вони технічно та морально застаріли (були розроблені в 70-х роках ХХ століття).
2. Аналіз надійності колісних пар в експлуатації показав, що мають місце 6,7% їх розбандажування серед усіх несправностей колісних пар. Запропоновані шляхи підвищення їх надійності в експлуатації які були підрозділені на чотири групи: технічні, технологічні, експлуатаційні та утримання колії.
3. В існуючих технологіях формування колісних пар в якості пристроїв для нагріву бандажів колісних пар використовують нагрівальні печі та індукційні нагрівачі. Температуру бандажу при нагріві контролюють в основному трьома способами: з допомогою еталонних бандажів, термоолівців, терморезисторів.
4. Доведені залежності натягу від діаметра бандажу колісних пар для різних серій локомотивів.
5. Розроблені моделі нагріву бандажів перед напресуванням та їх охолодження дозволяють визначити час на нагрів та охолодження для

використання в нагрівально-вимірювальному комплексі. Отримана формула для розрахунку часу, за який відбувається завершення процесу встановлення розподілу температури у бандажі. Розрахунковим шляхом отримані залежності нагріву та охолодження бандажів в залежності від часу з урахуванням температури навколишнього середовища.

6. Формалізовано комплекс моделей технології формування колісних пар локомотивів, за рахунок впровадження раціонального нагріву бандажів та впровадження нових засобів контролю температури бандажів та посадки на колісні центри, який став основою для автоматизованої системи контролю при напруженні бандажів на колісні центри.
7. Отримала подальший розвиток стратегія формування колісних пар з обандаженими колісними центрами.
8. Отримала подальший розвиток модель визначення економічного ефекту від впровадження нових технологій виготовлення колісних пар. При цьому економічний ефект від впровадження нової технології збірки колісних пар складатиме за рік понад 145 тис. грн.

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Басов Г.Г., Мокроусов С.Д., Шаронова В.Г Математическая модель процесса индукционного нагрева бандажей // Вісник Міжнародного слов'янського університету. –Харків: МСУ, -2004. -№2. -ТомVII. –С.69-73.
2. Басов Г.Г., Мокроусов С.Д., Шаронова В.Г Модель индукционного нагрева бандажей колесных пар // Зб.наук.праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2005. –Вип.66. –С.88-92.
3. Басов Г.Г., Мокроусов С.Д. К анализу поперечных автоколебаний модели колесной пары. // Вісник Східноукраїнського національного університету. 2005. -№ 8 (90). –Ч.1. –С.15-22.
4. Басов Г.Г., Мокроусов С.Д. Учет нелинейных сил крипа в задаче об устойчивости прямолинейного движения колесной пары // Зб.наук.праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2005. –Вип.68. –С.152-161.
5. Анализ методов обеспечения надежности работы пар трения в эксплуатации / Л.А. Губачева, С.Д. Мокроусов, В.П. Щербак, А.С. Михеев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2004., -№8 (78). –С.43-48.

*Додатково матеріали дисертаційної роботи викладені в працях:*



6. Мокроусов С.Д. Повышение надежности колесных пар локомотивов // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка та управління. Тези доповідей третьої науково-практичної конференції. Серія “Техніка, технологія”. –Київ: КУЕТТ, 2005. –С.36-37.

## АНОТАЦІЯ

Мокроусов С.Д. Удосконалення технології формування колісних пар локомотивів – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів; Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2006.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі – удосконаленню технології формування колісних пар рухомого складу. В ній розроблені моделі нагріву та охолодження бандажів колісних пар та отримані залежності нагріву та охолодження бандажів в залежності від часу з урахуванням температури навколишнього середовища.

Запропоновано модель вибору оптимальної кількості полюсів для індукційного нагрівача та їх характеристик. Удосконалення технології збірки колісних пар пропонується за рахунок впровадження пірометрів в систему управління контролю температури нагріву та застосуванням індуктивного нагрівача струмами високої частоти.

Ключові слова: технологія формування, колісні пари, рухомий склад, бандаж, колісний центр.

## АННОТАЦИЯ

Мокроусов С.Д. Усовершенствование технологии формирования колесных пар локомотивов - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2006.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи - повышение надежности колесных за счет усовершенствования технологии формирования колесных пар подвижного состава.

Анализ работы колесных пар в эксплуатации показал, что имеет место их выхода из строя по причине некачественного формирования. Поэтому задача усовершенствования технологического процесса формирования колесных пар при изготовлении является составной частью общей проблемы надежности подвижного состава и эффективности его использования. Особую актуальность получают вопросы, которые связаны с усовершенствованием технологического процесса напрессовки бандажей на колесные центры.

Для достижения поставленной цели в работе использовались фундаментальные методы теоретической механики, теории упругости, теории вероятностей и математической статистики, методов теории сходства и моделирование, а также электрического тензометрирования при выполнении экспериментальных исследований и обработки полученных результатов, теории конструкции локомотивов и теории ремонта локомотивов.

Была обоснована необходимость проведенных исследований путем определения современного уровня технологии формирования колесных пар тягового подвижного состава и постановки задачи разработки и внедрения в производство новых технологий формирования колесных пар.

Обработка статистической информации по напрессовке бандажей на колесные пары показала, что разность по натяжению для одной колесной пары не превышает 1% для локомотивов одной серии. При этом натяжение имеет тенденцию к уменьшению при увеличении внутреннего диаметра бандажа. Определенные регрессионные зависимости натяжения от диаметра бандажа для разных серий локомотивов показали, что натяжение для колесных пар маневровых тепловозов на 3-5% больше, чем для магистральных локомотивов.

В результате анализа существующих технологий формирования колесных пар в качестве устройств для нагрева бандажей колесных пар используют нагревательные печи и индукционные нагреватели. Дальнейшие исследования показали, что математического аппарата для определения нагрева бандажей и получения зависимостей постоянной температуры бандажа от его толщины не имеется. А это вызывает трудности для автоматизации процесса нагрева и контроля температуры бандажей колесных пар при формировании.

Анализа существующих технологий формирования колесных пар позволил определить пути увеличения срока службы колесных пар: технические; менеджмент качества при изготовлении и т.д.

Для доработки методов определения нагрева и контроля, которые позволяют усовершенствовать технологию напрессовки бандажей на колесные центры была формализована задача нагрева бандажей колесных пар на индукционном нагревателе - разработана математическая модель процесса индукционного нагрева бандажей колесных пар и доработаны методы моделирования взаимодействия бандажу с переменным магнитным полем. Результатом исследований стало определение амплитуды колебаний плотности вихревых токов возле поверхностей детали как на границах между средами с разнообразными свойствами при изменении магнитного поля, а так же аналитической зависимости постоянной температуры бандажа от его толщины при нагреве.

Для полного завершения цикла формирования колесных пар была разработана модель охлаждения бандажей, которая базируется на основе разработанных моделей нагревания бандажей. Создание модели позволило получить зависимости изменения температуры от времени при нагревании и при охлаждении бандажа с учетом температуры окружающей среды. Предложена модель выбора оптимального количества полюсов для индукционного нагревателя и их характеристик.

Анализ существующих технологий сборки колесных пар показал их несовершенство из-за ряда недостатков: нет учета изменения температуры окружающей среды, дополнительные затраты на установку, нагрев бандажа и настройку индукционного нагревателя; нет возможности контроля действительной температуры бандажа. Для устранения данных недостатков были введены изменения в технологию формирования колесных пар.

Проведенные в диссертации технико-экономические расчеты свидетельствуют о том, что внедрение новой технологии формирования колесных пар локомотивов позволит почти в 4 раза уменьшить время нагрева и затраты на электроэнергию при нагреве бандажей, а так же повысить экономическую эффективность их изготовления.

Ключевые слова: технология формирования, колесные пары, подвижной состав, бандаж, колесный центр.

## THE SUMMARY

Mokrousov S.D. The Improvement to technologies of the shaping wheel pair locomotive - a Manuscript.

The Thesis on competition scientific degree candidate of the technical sciences for profession 05.22.07 - a rolling stock of the railways and pulling train; The Ukrainian state academy of the rail-freight traffic, Kharkov, 2006.

The thesis is dedicated to decision of the actual scientific problem - an improvement to technologies of the shaping wheel pair rolling stock. In her is designed models of the heating and cooling the tires wheel pair and are received dependencies of the heating and cooling the tires depending on time with provision for the temperature surrounding ambiences.

The Offered model of the choice optimum amount pole for induction heater and their features. The Improvement to technologies of the assembly wheel pair is offered to account of the introduction pyrometer in managerial system of the checking the temperature of the heating and using the inductive heater current radio frequency.

The Keywords: technology of the shaping, wheel pairs, rolling stock, tire, wheel centre.

Мокроусов Сергій Дмитрович

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ  
КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск

д.т.н., проф. Бабанін О.Б.

Надруковано згідно з оригіналом автора

---

Підписано до друку “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2006 р.

Формат 60x90/16 Папір офсетний

Умовн.-друк.арк. 0,8 Обл. –вид. арк. 0,9

Замовлення № \_\_\_\_\_. Тираж 100 прим.

---

Видавництво ФОП, свідоцтво ВОО №937086 від 14.11.2001р.

61049, м. Харків, просп. Косіора, 34.