

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

ШИНДЕРУК СВІТЛАНА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 621.318.4

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО
РИХТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ КУЗОВІВ**

Спеціальність 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Батигін Юрій Вікторович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, завідувач кафедрою
фізики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Волонцевич Дмитро Олегович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедрою інформаційних технологій і
систем колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова

кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник
Рогозін Ігор Віталійович,
Харківський університет Повітряних
Сил імені Івана Кожедуба, старший викладач кафедри
теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки

Захист відбудеться «09» березня 2016 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25, м. Харків, Україна, 61002.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25, м. Харків, Україна, 61002.

Автореферат розісланий «5» лютого 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої Вченої ради



В.М. Павленко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технології магнітно-імпульсного рихтування кузовних панелей автомобілів, у порівнянні з традиційними, завдяки низьким енерго- та ресурсоемності, а також підвищеній екологічності знаходять усе більш широке застосування в практиці, як в Україні, так і за кордоном.

Основним елементом магнітно-імпульсних технологій є, так звані індуктори-інструменти – технічні засоби зовнішнього рихтування, за допомогою яких власне і проводиться відновлення пошкоджених панелей кузовних конструкцій автомобілів; в основному, це зони з ускладненим або повністю закритим доступом – двері, пороги, арки, коробка і т.п. Саме тому розробка нового технічного засобу, який дозволить підвищити ефективність ремонту кузовів автомобілів, є нагальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року, затверджених постановою кабінету міністрів України від 7 вересня 2011 року. № 942, а також до державної цільової науково-технічної та соціальної програми "Наука в університетах" на 2008-2017 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України № 1155 від 19.09.2007г. Дисертаційна робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті в межах науково-дослідних робіт за держбюджетними темами: «Дослідження принципів можливостей магнітно-імпульсних технологій для розділення металевих та діелектричних об'єктів» (Державний реєстраційний номер № 0111U003524) і «Фізика електромагнітних технологій в автомобілебудуванні» (Державний реєстраційний номер № 0110U005847), які є складовою частиною наукової тематики, що розвивається в університеті.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення технічних засобів рихтування на основі методів магнітно-імпульсної дії, що дозволяють підвищити ефективність ремонту кузовів легкових автомобілів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз, як традиційних методів рихтування, так і прогресивних магнітно-імпульсних методів відновлення кузовних панелей автомобілів;
- розробити розрахункову модель технічного засобу і провести дослідження електродинамічних процесів, що дозволяють проведення зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування листових феромагнетиків;
- запропонувати рішення по конструктивному виконанню технічного засобу зовнішнього безконтактного рихтування – індукторної системи з екраном, що притягає (ІСЕП), який збуджується полем двох кругових витків; провести чисельні оцінки процесів, що протікають при рихтуванні;
- провести експериментальну апробацію розроблених конструкцій технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування елементів кузовних панелей автомобілів та узагальнити отримані результати.

Об'єкт дослідження – електромагнітні процеси зовнішнього рихтування кузовних панелей легкових автомобілів.

Предмет дослідження – вдосконалення технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування.

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень електромагнітних процесів за допомогою математичного апарату теорії електромагнітного поля, рішення поставлених крайових задач аналітичними методами математичної фізики з подальшою комп'ютерною обробкою отриманих результатів. Реалізація практичної апробації модельних конструкцій запропонованих індукторних систем з екраном, що притягає, на діючій магнітно-імпульсній установці лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше визначені закономірності протікання електродинамічних процесів в технічних засобах з екраном, що притягає, з урахуванням впливу магнітних властивостей металу, які дозволяють реалізувати операцію зовнішнього рихтування листового металу з будь-якими фізичними властивостями при зниженні рівня енергетичних витрат;

– вдосконалено метод зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування кузовних панелей автомобілів заснований на використанні індукторної системи з екраном, що притягає, та додатковим джерелом магнітного поля, який дозволяє підвищити ефективність силового впливу;

– отримали подальший розвиток методи дослідження електромагнітних процесів у технічних засобах магнітно-імпульсного силового впливу – індукторних системах з екраном, що притягає, і додатковими витками, які збуджують додаткове магнітне поле;

– отримали подальший розвиток принципи і методи створення технічних засобів для зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування кузовних панелей автомобілів, конструктивними особливостями яких є додатковий екран, що притягає, і додаткові кругові соленоїди, які дозволяють підвищити ефективність процесу рихтування;

Практичне значення отриманих результатів полягає в наданні суб'єктам ринку ремонтних технологій та відповідного обладнання як принципово нових, так і вдосконалених прогресивних і ефективних методів відновлення кузовних панелей автомобілів, зокрема, технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування пошкоджених кузовних панелей, виготовлених, як з феромагнітних, так і неферомагнітних металів.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи полягає також у створенні теоретичної та експериментальної бази для подальшого розвитку прогресивних методів і технічних засобів зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування пошкоджених кузовних панелей автомобілів.

Практична значимість отриманих результатів дисертаційної роботи підтверджується актами впровадження на СТО «BUS Сервіс», ПП «МОТОР ТРАНС» і ТОВ НВП «Т.О.Р.».

Результати дисертаційних досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри автомобільної електроніки ХНАДУ при підготовці бакалаврів, спеціалістів та магістрів з напрямку 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності

«Електричні системи і комплекси транспортних засобів», зокрема, з дисципліни «Прогресивні технології в АТЗ» отримано акт впровадження в навчальний процес.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, які виносяться на захист, одержані автором самостійно. Основні результати опубліковані в роботах [1-12]. Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в наступному: в публікаціях [7, 12] виконано аналіз етапів розвитку традиційних методів рихтування та розкриті особливості цих методів для рихтування корпусних і кузовних елементів автомобілів, також описані основні розробки магнітно-імпульсних систем для методів зовнішнього ремонту кузовних і корпусних елементів транспортних систем; в статтях [1, 2] в ідеалізації «гранично низьких частот» діючих полів отримані розрахункові залежності для щільності індукованих струмів і розподіленої сили притягування в індукторній системі з екраном, що притягає, і зовнішнім додатковим витком, а також подана чисельна оцінка впливу додаткових витків на просторово-часові розподіли основних характеристик електромагнітних процесів; в роботі [8, 9] проведено розрахунок електродинамічних процесів в індукційній індукторній системі, яка складається з ідентичних листових немагнітних металів, з визначенням основних компонент сил Лоренца, що збуджуються, і сил притягування – Ампера; в [10] отримано аналітичні вирази для розрахунку лінійної щільності струмів індукованих в екрані і заготівці індукційної індукторної системи; в публікації [3] досліджено вплив додаткового кругового витка введеного у внутрішню область індукторної системи з екраном, що притягає, на розподіл індукованих струмів у заготівці; в [4] проведена практична апробація зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування з визначенням електромагнітних характеристик силових імпульсів при використанні в якості технічного засобу індукційної індукторної системи циліндричної геометрії з круговими витками.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися і були схвалені на: науково-практичних семінарах «Електромагнітні технології в автомобілебудуванні» кафедри фізики та автомобільної електроніки ХНАДУ, 2013 – 2015 рр.; дев'ятій науковій конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 17 – 18 квітня 2013 р.; п'ятій міжнародній науково-практичній конференції 17-18 травня 2013 р. – Челябінськ; V Міжнародній науково-практичній конференції 28-30 травня 2013р., Херсон «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2013); XVI міжнародній науково-технічній конференції «Автомобільний транспорт: Проблеми і перспективи» м. Севастополь 16-21 вересня 2013 р.; четвертій всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» СЕУТТОО-2013, 9-11 жовтня 2013 р. Херсон; Міжнародній науково-технічній конференції «Аналіз і синтез складних систем у природі і техніці» 17-18 грудня 2013 р. (Актуальні напрями наукових досліджень XXI століття: теорія і практика) м. Вороніж; X Mezinarodni vedecko-prakticka conference «Moderni vymozenosti vedy- 2014» Technicke vedy 27 ledna– 05 unora 2014 roku. Praha.

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на об'єднаному засіданні кафедр фізики, автомобільної електроніки, прикладної математики, технічної експлуатації та сервісу автомобілів, інформаційних технологій та мехатроніки ХНАДУ.

Публікації. Основні положення дисертації представлено в 12 наукових роботах, у тому числі 6 статей у фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 1 стаття у закордонному виданні, 7 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 4 тези у збірниках доповідей на наукових конференціях, з них 2 у закордонних виданнях, отримано 1 патент України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок, 47 рисунків, 4 таблиці, список використаної літератури зі 136 найменувань на 18 сторінках, 3 додатки на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано тему та актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження. Визначено наукову новизну та основні наукові і практичні результати. Наведено дані щодо апробації та публікацій результатів дисертаційних досліджень.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих традиційних методів відновлення кузовних панелей автомобілів, огляд літературних джерел та розробок в галузі технологій магнітно-імпульсного ремонту кузовів легкових автомобілів.

Проведений аналіз етапів розвитку сучасних магнітно-імпульсних методів рихтування показав все зростаючу актуальність нового наукового напрямку – методів кузовного ремонту автомобілів з використанням енергії імпульсних магнітних полів. Розкрито особливості традиційних методів рихтування корпусних і кузовних елементів автомобілів. Розглянуто принцип дії їх основного обладнання та позначена область його застосування.

Досліджена ретроспектива методів, які відновлюють з використанням енергії електромагнітних полів. Показано, що методи кузовного ремонту з використанням енергії імпульсних магнітних полів є найбільш перспективними і актуальними.

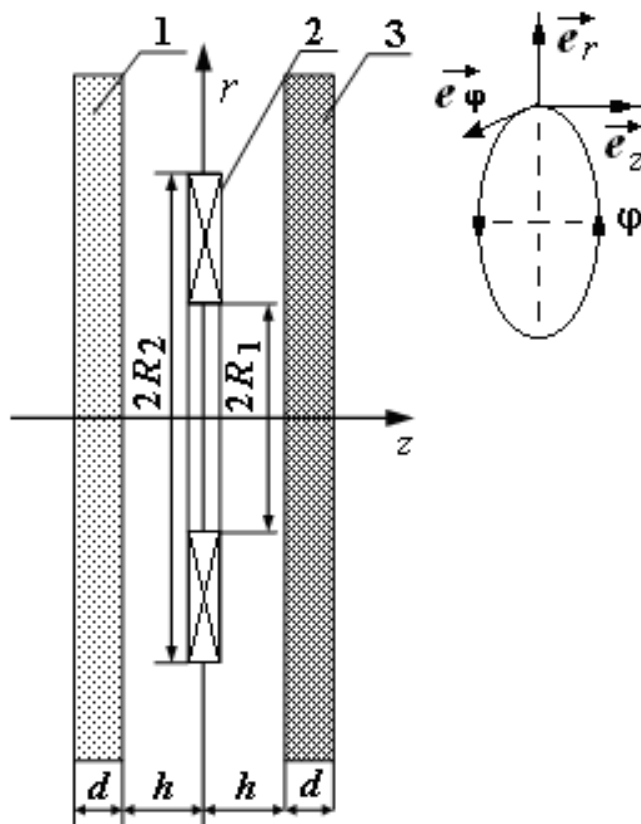
Вирішення питань, пов'язаних з особливостями протікання електромагнітних процесів у технічних засобах магнітно-імпульсного рихтування листових феромагнетиків, має вагоме як теоретичне, так і практичне значення. Це дозволить визначитися з необхідними електрофізичними і магнітними характеристиками технічних засобів рихтування. Визначено, що одним з найбільш перспективних технічних засобів зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування є індукторні системи з екраном, що притягає. Так як вони представляються універсальними технічними засобами, які дозволяють виконувати рихтування, як феромагнетиків, так і металів, що не мають магнітних властивостей (алюміній та його сплави). Особливе місце тут займають ІСЕП з зовнішніми соленоїдами. Дослідження процесів, які протікають при магнітно-імпульсному рихтуванні в даних технічних засобах відкриває значні перспективи в розробці ефективного обладнання для ремонту і відновлення корпусних і кузовних елементів засобів транспорту.

У **другому розділі** проведено аналіз та розрахунок електродинамічних

процесів в індукторній системі з екраном, що притягає, як технічного засобу для зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування, з однаковими тонкостінними листовими феромагнітними і неферомагнітними металами.

Первісне призначення ІСЕП (інша початкова авторська назва – індукційні індукторні системи) полягало в створенні сил магнітно-імпульсного притягання немагнітних металів, а принцип дії заснований на взаємодії провідників з однаково спрямованими струмами (закон Ампера). Такими є власне об'єкт рихтування – тонкий металевий лист кузовної панелі автомобіля і додатковий конструктивний елемент індукційної індукторної системи – допоміжний екран, що проводить струм.

Конструктивно, система представлена адекватною моделлю з однаковими магнітними металевими листами (реально, один з них – допоміжний екран, другий – об'єкт обробки), між якими розміщений круговий виток зі струмом, рис. 1.



1 – екран; 2 – виток; 3 – заготівка

Рисунок 1 – Розрахункова модель в циліндричній системі координат
($\vec{e}_r, \vec{e}_\phi, \vec{e}_z$ – напрямні орти)

Поставлена задача вирішується при наступних припущеннях:

– амплітудно-часові параметри струму індуктора $I(t)$ такі, що справедливо квазістаціонарне наближення – $((\omega / c) \cdot \ell) \ll 1$, де ω – циклічна частота, c – швидкість світла у вакуумі, ℓ – характерний розмір системи;

– плоский виток індуктора має циліндричну форму (R_1, R_2 – внутрішній і зовнішній радіуси), його товщина нехтовно мала, так, що метал витка ніяк не впливає на електромагнітні процеси, які відбуваються;

– має місце аксіальна симетрія ($\partial/\partial\varphi = 0$, φ – азимутальний кут) і симетрія системи щодо площини витка індуктора $z = 0$;

– екран і заготівка є однакові листові метали з досить великими поперечними розмірами, досить малою товщиною – d , електропровідністю – γ і абсолютною магнітною проникністю – $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ (μ_r – відносна магнітна проникність, μ_0 – магнітна проникність вакууму), вони розташовані на однаковій відстані від витка індуктора – h .

Розрахунок було проведено за допомогою методів інтегрування рівнянь математичної фізики – класичних методів розв'язання крайових задач електродинаміки. Для розрахункової моделі (рис. 1) з рівнянь Максвелла було складено рівняння для збуджуваних складових вектора напруженості електромагнітного поля ($E_\varphi \neq 0$, $H_{r,z} \neq 0$).

Вирішуючи складені рівняння Максвелла математичними методами із застосуванням інтегрального перетворення Фур'є-Бесселя та Лапласа, отримано розрахункові співвідношення для основних електромагнітних характеристик ІСЕР.

Для сили Лоренцевського відштовхування в нормальному напрямку, як функції фази – $\psi = \omega \cdot t$ і радіальної координати – r , одержано

$$F_{Lrep}(\psi, r) \approx - \left(\frac{j_m^2}{\omega \cdot \gamma \cdot d^2} \right) \cdot \int_0^d G_1(\psi, r, z) \cdot G_2(\psi, r, z) \cdot dz, \quad (1)$$

$$\text{де } G_1(\psi, r) = \int_0^\infty F_3(x) \cdot e^{-x \frac{h}{d}} \cdot J_1 \left(x \frac{r}{d} \right) \cdot \sum_{k=0}^\infty \left(\delta_k \cdot \frac{F_2(\beta_k, x, z)}{\Phi(\beta_k, x)} \cdot f_{1k}(\psi) \right) dx;$$

$$F_3(x) = \frac{1}{x^2} \cdot \int_{x \cdot \frac{R_1}{d}}^{x \cdot \frac{R_2}{d}} y \cdot J_1(y) \cdot dy;$$

$$F_2(\beta_k, x, z) = \beta_k \cdot \left[\sin \left(\beta_k \cdot \left(\frac{z}{d} - 1 \right) \right) - \frac{\beta_k}{(\mu_r \cdot x)} \cdot \cos \left(\beta_k \cdot \left(\frac{z}{d} - 1 \right) \right) \right];$$

$$\Phi(\beta_k, x) = \cos(\beta_k) \cdot \left[\frac{1}{x} + \frac{\mu_r}{2} \cdot \left(1 - e^{-2x \frac{h}{d}} \right) - \left(\frac{\beta_k}{\mu_r \cdot x} \right)^2 \left(1 + e^{-2x \frac{h}{d}} \right) \right] -$$

$$- \sin(\beta_k) \cdot \left(\frac{\beta_k}{x} \right) \cdot \left[1 + \frac{(1 + e^{-2x \frac{h}{d}})}{(\mu_r \cdot x)} \right];$$

$$f_{1k}(\psi) = - \frac{e^{-\delta \cdot \psi}}{\left[1 + \left(\frac{p_k}{\omega} + \delta \right)^2 \right]} \left[\frac{p_k}{\omega} \left(e^{\left(\frac{p_k}{\omega} + \delta \right) \cdot \psi} - \cos \psi \right) + \left(1 + \delta \left(\frac{p_k}{\omega} + \delta \right) \right) \sin \psi \right];$$

$$G_2(\psi, r) = \int_0^\infty F_3(x) \cdot e^{-x \frac{h}{d}} \cdot J_1\left(x \frac{r}{d}\right) \cdot \sum_{k=0}^\infty \left(\delta_k \cdot \frac{F_4(\beta_k, x, z)}{\Phi(\beta_k, x)} \cdot f_{2k}(\psi) \right) dx;$$

$$F_4(\beta_k, x, z) = \beta_k^2 \cdot \left[\cos \left(\beta_k \cdot \left(\frac{z}{d} - 1 \right) \right) + \frac{\beta_k}{(\mu_r \cdot x)} \cdot \sin \left(\beta_k \cdot \left(\frac{z}{d} - 1 \right) \right) \right];$$

$$f_{2k}(\psi) = - \frac{e^{-\delta \cdot \psi}}{\left[1 + \left(\frac{p_k + \delta}{\omega} \right)^2 \right]} \cdot \left[e^{\left(\frac{p_k + \delta}{\omega} \right) \cdot \psi} - \left(\cos \psi + \left(\frac{p_k}{\omega} + \delta \right) \cdot \sin \psi \right) \right];$$

$$\text{ctg}(\beta_k) = \frac{\left(\left[1 + \left(\frac{\beta_k}{(\mu_r \cdot x)} \right)^2 \right] \cdot e^{-2x \frac{h}{d}} + \left[\left(\frac{\beta_k}{(\mu_r \cdot x)} \right)^2 - 1 \right] \right)}{2 \cdot \left(\frac{\beta_k}{(\mu_r \cdot x)} \right)};$$

$$p_k = -\frac{1}{\tau} \cdot (\beta_k^2 + x^2), \quad k = 0, \pm 1, 2, \dots;$$

$\tau = \mu_r \mu_0 \gamma d^2$ – характерний час дифузії поля в метал листової заготовки з питомою електропровідністю γ і магнітною проникністю – $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$.

Вираз для розрахунку сили Ампера, що збуджується, (електродинамічної сили притягання листового металу заготовки до індуктора) має вигляд

$$F_{Attr}(\psi, r) \approx - \left(\frac{\mu_0 j_m^2}{2} \right) \cdot \frac{r}{h} \cdot G_3^2(\psi, r), \quad (2)$$

$$\text{де } G_3(\psi, r) = \int_0^\infty F_3(x) \cdot e^{-x \frac{h}{d}} \cdot J_1\left(x \frac{r}{d}\right) \cdot \sum_{k=0}^\infty \left(\delta_k \cdot \frac{F_5(\beta_k, x)}{\Phi(\beta_k, x)} \cdot f_{1k}(\psi) \right) dx;$$

$$F_5(\beta_k, x) = \left[(1 - \cos(\beta_k)) + \frac{\beta_k}{(\mu_r \cdot x)} \cdot \sin(\beta_k) \right].$$

Силу магнітного притягання представлено наступною залежністю

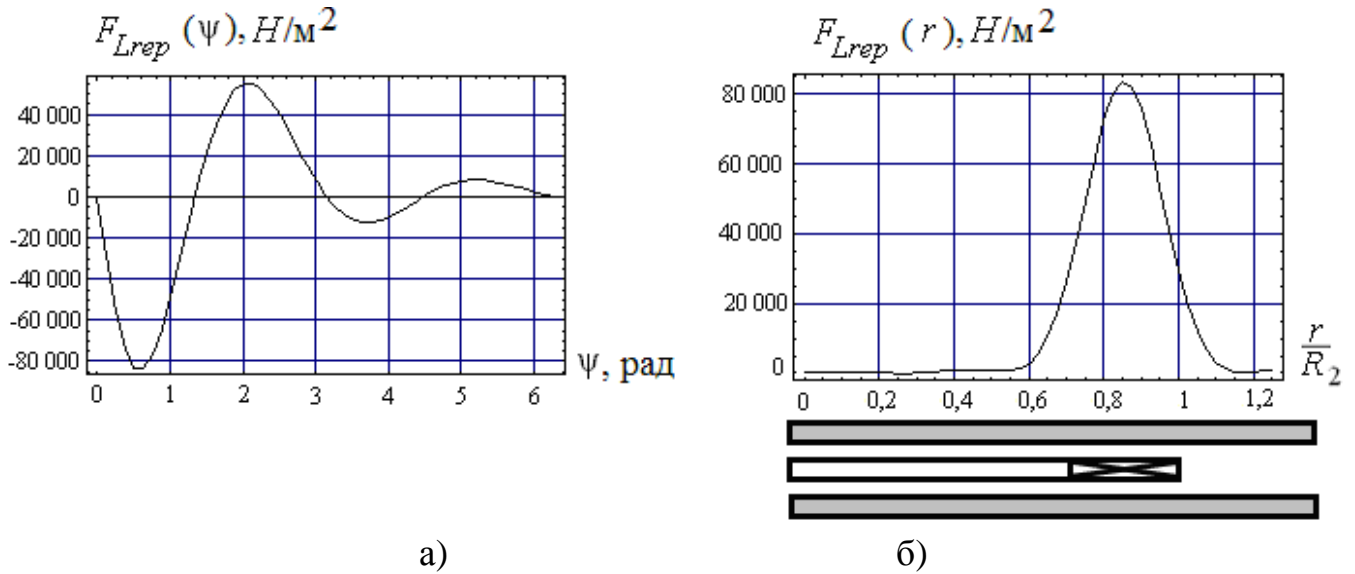
$$F_M(t, r) = - \frac{(\mu_0 \cdot \mu_r)}{2} \cdot (\mu_r - 1) \cdot \left[\left(H_z^2(\psi, r, z=0) - H_z^2(\psi, r, z=d) \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{\mu_r} \cdot \left(H_r^2(\psi, r, z=0) - H_r^2(\psi, r, z=d) \right) \right], \quad (3)$$

$$\text{де } H_z(\psi, z, r) = \frac{j_m}{(\mu_r \omega \cdot \tau)} \int_0^\infty F_3(x) e^{-x \frac{h}{d}} x \cdot J_0\left(x \frac{r}{d}\right) \left(\sum_{k=0}^\infty \delta_k \frac{F_2(\beta_k, x, z)}{\Phi(\beta_k, x)} \cdot f_{2k}(\psi) \right) dx;$$

$$H_r(\psi, z, r) = - \frac{j_m}{(\mu_r \omega \cdot \tau)} \int_0^\infty F_3(x) \cdot e^{-x \frac{h}{d}} J_1\left(x \frac{r}{d}\right) \cdot \left(\sum_{k=0}^\infty \delta_k \frac{F_4(\beta_k, x, z)}{\Phi(\beta_k, x)} \cdot f_{2k}(\psi) \right) dx.$$

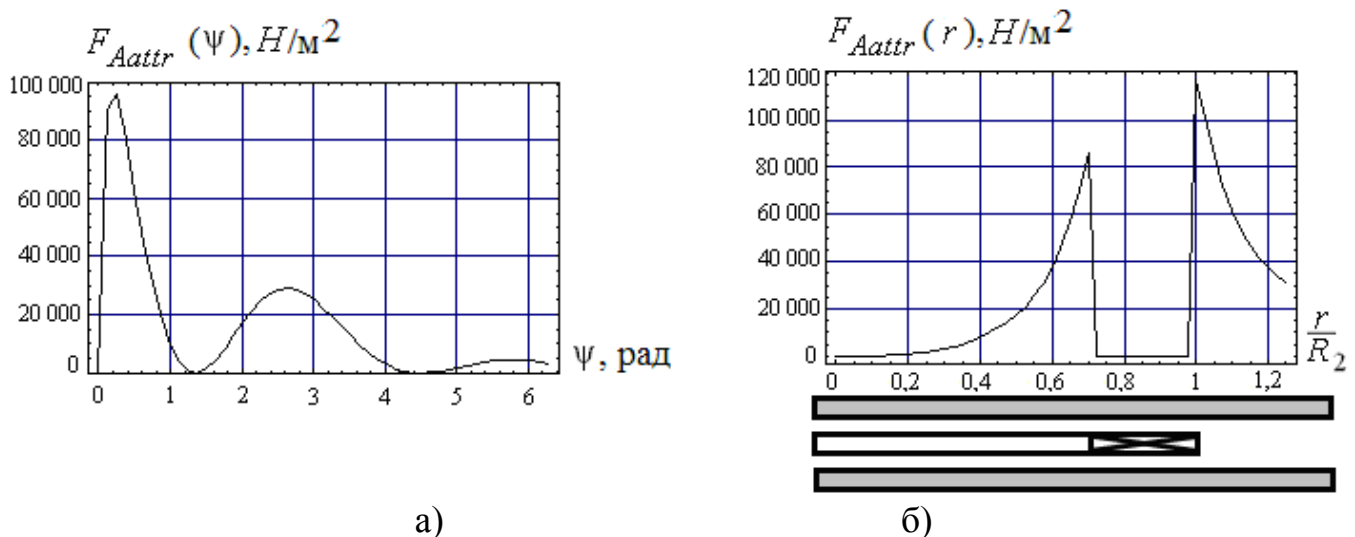
Для оцінки інтегрального силового впливу в часі слід знайти величини порушуваних зусиль, усереднені за періодом струму в індукторі – $t \in [0; 2\pi/\omega]$ (в термінах фази – $\psi \in [0; 2\pi]$).

Скориставшись отриманими аналітичними співвідношеннями, було проведено чисельні оцінки для ситуацій, реальних при магнітно-імпульсному рихтуванні. Результати розрахунків розподілу збуджуваних зусиль при $f \approx 0,5$ кГц та $\mu_r \approx 1,0 \dots 1,5$ приведені у вигляді графічних залежностей на рис. 2 – 4 та табл. 1, 2.



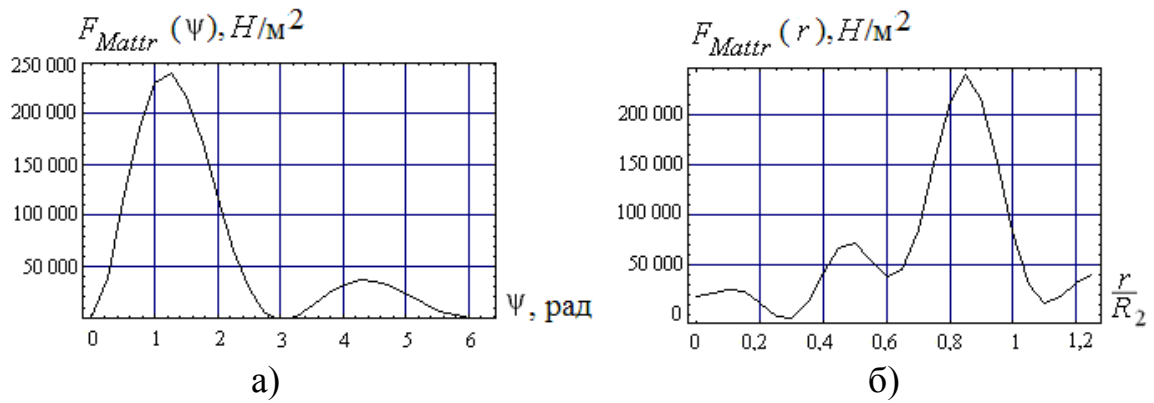
а – фазова залежність на колі – $r/R_2 = (R_1 + R_2)/2 \cdot R_2$;
б – радіальна залежність у фазі – $\psi \approx 0,54$ рад

Рисунок 2 – Розподіли сили Лоренцевського відштовхування



а – фазова залежність на колі – $r/R_2 = R_1 / R_2 \approx 0,714$;
б – радіальна залежність у фазі максимуму – $\psi \approx 0,251$ рад

Рисунок 3 – Розподіли сили електродинамічного притягання (закон Ампера)



а – фазова залежність на колі – $r/R_2 = (R_1 + R_2)/2 \cdot R_2$;
б – радіальна залежність у фазі – $\psi \approx 1,256$ рад

Рисунок 4 – Розподіли сили магнітного притягання

Таблиця 1 – Сили різної фізичної природи, що збуджуються в ІСЕР для частоти $f = 0,5$ кГц

№з/п	Параметр сили/Вид сили	Середнє значення за період струму індуктора, Н/м ² (% від суми)	Миттєві значення	
			Максимум амплітуди, Н/м ²	Фаза максимуму, рад
1.	Електродинамічне притягання (сили Ампера)	+16981 (21%)	+96000(37%)	0,251
2.	Магнітне притягання	+64942 (81%)	+240000(41%)	1,256
3.	Лоренцевське відштовхування	-1648 (2%)	-85000(37%)	0,54
4.	Алгебраїчна сума сил	+80275	+230000	–

Таблиця 2 – Сили різної фізичної природи, що збуджуються в ІСЕР для частоти $f = 2,0$ кГц

№з/п	Параметр сили/Вид сили	Середнє значення за період струму індуктора, Н/м ² (% від суми)	Миттєві значення	
			Максимум амплітуди, Н/м ²	Фаза максимуму, рад
1.	Електродинамічне притягання (сили Ампера)	+177304 (77%)	+760000(105%)	0,376
2.	Магнітне притягання	+72666 (32%)	+290000(40%)	1,256
3.	Лоренцевське відштовхування	-20465 (9%)	-330000(46%)	0,628
4.	Алгебраїчна сума сил	+229505	+720000	–

Проведений аналіз дозволив виділити наступні особливості силових процесів:

– сили, що збуджуються, різної фізичної природи в різний час досягають своїх максимальних значень: так, перший вплив проявляється з боку сили Ампера, яка притягує, далі, слідує Лоренцевське відштовхування і, нарешті, має місце магнітне притягання листової заготовки;

– у разі немагнітних листових металів результуюче притягання або відштовхування обумовлено виключно по черзі зусиллями, що діють, електродинамічної природи (Ампера і Лоренца);

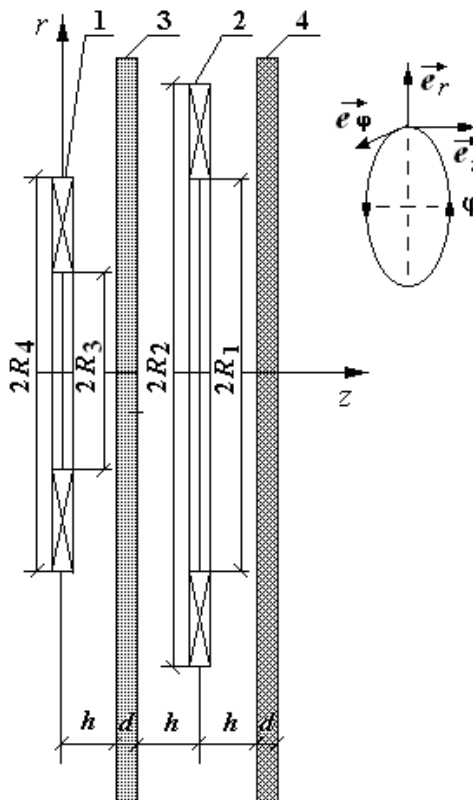
– із зростанням робочої частоти від 0,5 кГц до 2 кГц істотно зростають сили електродинамічної природи (Ампера і Лоренца в $4 \div 8$ разів), сили магнітного притягання змінюються несуттєво (не більше, ніж на $\sim 20\%$);

– для досить низьких робочих частот ($f \leq 0,5$ кГц) найбільший внесок в притягання вносять сили, які обумовлені магнітними властивостями листових металів, але при підвищенні частоти тими, що превалюють в притяганні стають сили електродинамічної природи – сили Ампера;

– як для магнітних, так і для немагнітних листових сталей притягання превалює над відштовхуванням у діапазоні робочих частот полів, що діють – $f \leq 2$ кГц, так, наприклад, при струмі індуктора ~ 50 кА результуюче притягання – рихтувальні зусилля, що збуджуються, як результат усереднення по періоду поля досягає величини 230 кПа;

У третьому розділі проведено аналіз електродинамічних процесів в циліндричному технічному засобі для рихтування кузовних панелей автомобілів. Технічний засіб, який розглядається, являє собою ІСЭП з двома однаковими тонкостінними листовими металами і двома круговими витками, один з яких (основний) розташовується під екраном, у робочій зоні інструменту, а другий (додатковий) над ним. Розрахункова модель в циліндричній системі координат подана на рис. 5.

Аналогічно попередньому розгляду прийняті відповідні припущення та з рівнянь Максвелла складені рівняння для складових вектора електромагнітного поля, що збуджуються, ($E_\varphi \neq 0, H_{r,z} \neq 0$).



1 – додатковий виток індуктора; 2 – основний виток; 3 – екран; 4 – заготовка

Рисунок 5 – Розрахункова модель ІСЭП з двома круговими витками

У результаті рішення складених рівнянь отримуємо вирази для лінійної щільності струму, що збуджується, в металі екрану витками індуктора (5) і заготовки (6)

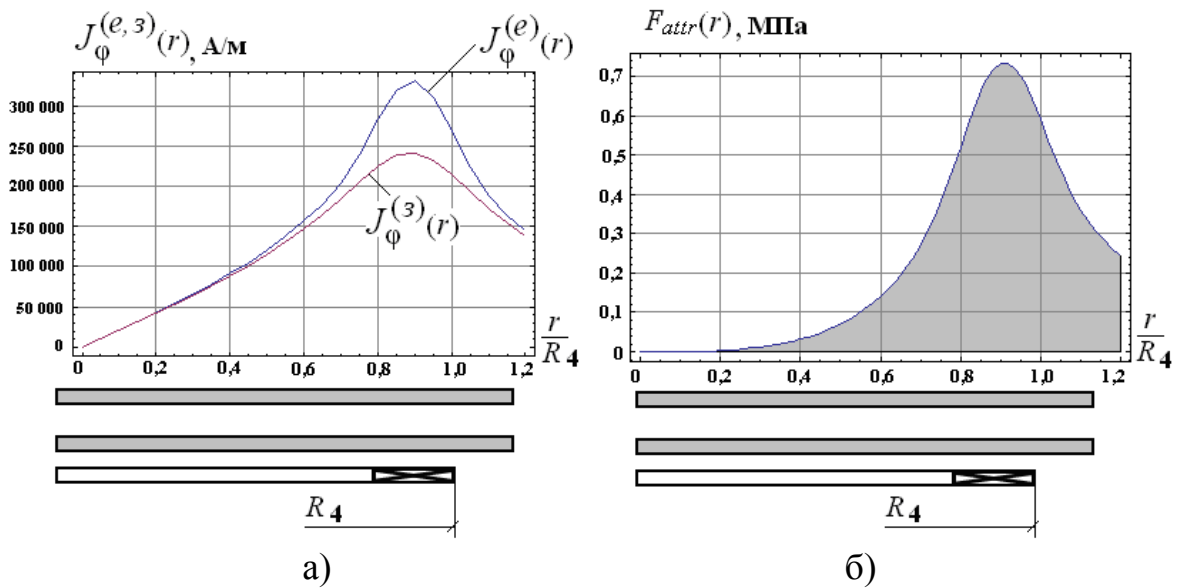
$$J_{\varphi}^{(a)}(\psi, r) = -J_m \int_0^{\infty} \left(\left(\frac{J_{1m}}{J_m} \right) f_1(x) + \left(\frac{J_{2m}}{J_m} \right) f_2(x) \right) \frac{e^{-x \frac{h}{d}} (1 - e^{-x})}{x} J_1 \left(x \frac{r}{d} \right) dx, \quad (4)$$

$$J_{\varphi}^{(c)}(\psi, r) = -J_m \int_0^{\infty} \left(\left(\frac{J_{1m}}{J_m} \right) f_1(x) e^{-x \left(\frac{3h}{d} + 1 \right)} + \left(\frac{J_{2m}}{J_m} \right) f_2(x) e^{-x \frac{h}{d}} \right) \frac{(1 - e^{-x})}{x} J_1 \left(x \frac{r}{d} \right) dx, \quad (5)$$

де $J_m = j_m \cdot \frac{\omega \tau}{2} \cdot \frac{dg(\psi)}{d\psi}$ – «умовна» амплітуда сигналу, $x = \lambda d$, $x \in [0; \infty)$, $\psi = \omega \cdot t$;

$$g(\psi) = e^{-\delta_0 \psi} \cdot \sin(\psi), \quad f_1(x) = \frac{1}{x^2} \int_{x \frac{R_3}{d}}^{x \frac{R_4}{d}} y \cdot J_1(y) dy, \quad f_2(x) = \frac{1}{x^2} \int_{x \frac{R_1}{d}}^{x \frac{R_2}{d}} y \cdot J_1(y) dy.$$

Отримані результати доповнені чисельними оцінками для експериментальних моделей ІСЕП (рис. 6, табл. 3).



а – щільності струмів, що індукують ся, в екрані – $J_{\varphi}^{(a)}(r)$ та заготовці – $J_{\varphi}^{(c)}(r)$,
б – розподілена сила притягання заготовки

Рисунок 6 – Варіант №3. Радіальні розподіли струмів і сил, що збуджуються

Геометрія індукторних систем є такою, що зазори однакові для всіх конструкцій $h = 0,0005$ м.

Варіант №1 – ІСЕП без додаткового зовнішнього витка: $R_1 = 0,025$ м, $R_2 = 0,03$ м, індуктивність ~ 30 нГн.

Варіант №2 – ІСЕП з додатковим зовнішнім витком:

а) $R_1 = 0,025$ м, $R_2 = 0,03$ м, $R_3 = 0,02$ м, $R_4 = 0,025$ м, індуктивність зовнішнього витка ~ 30 нГн, внутрішнього $\sim 22,7$ нГн, індуктивність системи $\sim 12,9$ нГн, амплітуди струмів у витках індуктора розподілені відповідно їх індуктивностям;

б) $R_1 = 0,025$ м, $R_2 = 0,03$ м, $R_3 = 0,015$ м, $R_4 = 0,02$ м, індуктивність зовнішнього витка ~ 30 нГн, внутрішнього $\sim 15,9$ нГн, сумарна індуктивність при паралельному з'єднанні $\sim 10,4$ нГн, амплітуди струмів у витках індуктора розподілені відповідно їх індуктивностям.

Варіант №3 – ІСЕП, яка збуджується, зовнішнім витком (внутрішній виток відсутній), $R_3 = 0,025$ м, $R_4 = 0,03$ м, індуктивність ~ 30 нГн.

Допоміжний екран і листова заготовка – нержавіюча сталь з товщиною $d = 0,001$ м та питомою електропровідністю $\gamma = 0,4 \cdot 10^7$ 1/(Ом·м).

На вхід індуктора подається поодинокий струмовий імпульс з робочою частотою – $\omega = 2\pi \cdot 1500$ Гц; відносним декрементом загасання – $\delta_0 = 0,2$; амплітудою – $I_m = 50$ кА.

Таблиця 3 – Результати досліджень

№з/п	Варіант конструкції в розрахунках	Площа ділянки, м ²	Індуктивність системи, нГн	Сила притягування, Н	Середнє значення розподіленої сили притягування, МПа
1.	Варіант №1	0,004072	30	900,94(1628)	0,22 (0,40)
2.	Варіант №2а	0,004072	12,9	710,30(1118)	0,17 (0,28)
3.	Варіант №2б	0,004072	10,4	460,91(674,7)	0,13 (0,17)
4.	Варіант №3	0,004072	30	1375,38	0,33

Проведений аналіз процесів в ІСЕП з двома круговими витками дозволяє сформулювати наступні висновки:

– введення додаткового витка, який розміщений поверх допоміжного екрану, дозволяє сконцентрувати сили притягання, які забезпечують проведення рихтувальних операцій на кузовних панелях автомобілів, в центральній частині робочої зони індукторної системи;

– при введенні додаткового витка має місце зниження амплітуд сил, що діють, це пояснюється сталістю величини струму, який подається на вхід індукторної системи, і прийнятим в розрахунках розподілом струму по витках, обернено пропорційним їх індуктивностям;

– більш висока силова ефективність системи при наявності тільки зовнішнього витка в порівнянні з системою, де виток розташований у внутрішній порожнині, пояснюється відсутністю «провалу» в радіальному розподілі сил, що збуджуються. Даний «провал» в конструкції з витком між листовими металами обумовлений його екрануючою дією в відносності сил притягання між індуктованими струмами.

У четвертому розділі описано експерименти по вимірюванню характеристик і силовій апробації ІСЕП – технічних засобів зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування, які збуджуються соленоїдами з зовнішньої і внутрішньої сторони допоміжного екрану в робочій зоні технічного засобу.

Як показали теоретичні дослідження, даний спосіб збудження системи дозволяє значно збільшити ефективність ІСЕП, яка в рамках поставлених завдань повинна визначатися двома основними складовими: а) максимумом однорідності просторового розподілу індукованих струмів; б) максимумом передачі енергії в обмотку технічного засобу.

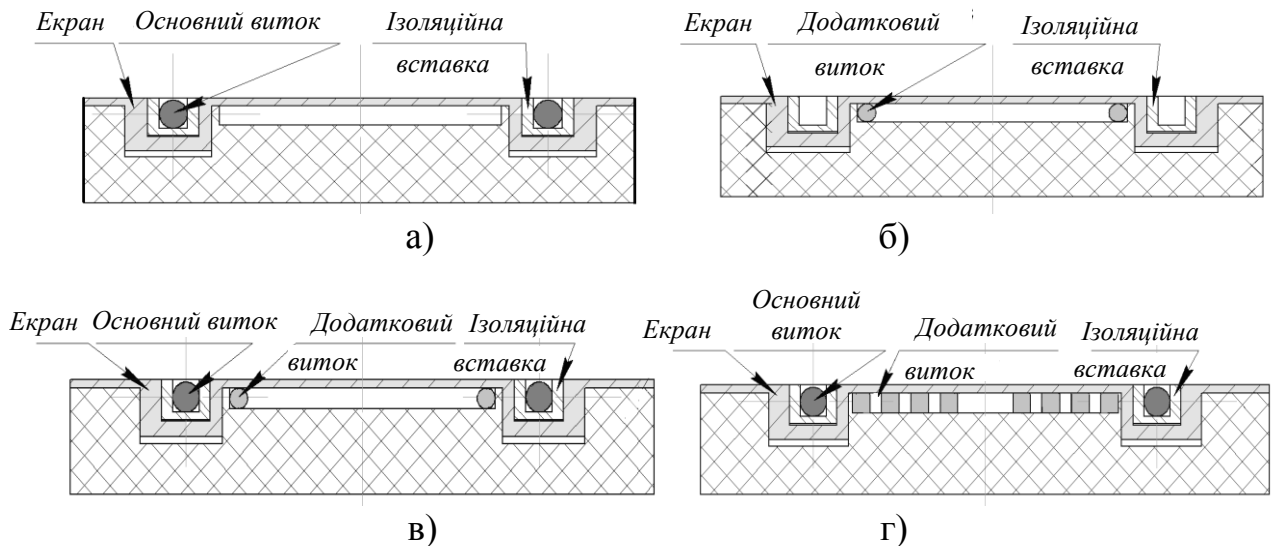
У ході проведення експерименту були проведені модельні та силові дослідження електродинамічних процесів, які протікають при магнітно-імпульсному рихтуванні з ІСЕП.

Перелік обладнання в проведених модельних експериментах включає наступні позиції:

- джерело потужності в модельних експериментах – низьковольтний генератор струмових імпульсів;
- силове джерело потужності – магнітно-імпульсна установка, МІУС-2 з енергією, що запасається до ~ 2 кДж та максимумом напруги ~ 2000 В;
- модельні варіанти ІСЕП (конструкції з внутрішнім та зовнішнім соленоїдами, рис. 7);
- зразки листової немагнітної сталі з однаковою товщиною ~ 1 мм.

Узгоджувальні пристрої, що забезпечують реалізацію низькочастотного режиму до $\sim 1,8 \div 2$ кГц.

Основна мета модельних досліджень – визначення ефективності введення в конструкцію ІСЕП додаткового джерела магнітного поля у вигляді плоского кругового соленоїда, розміщеного з зовнішнього боку допоміжного екрана.

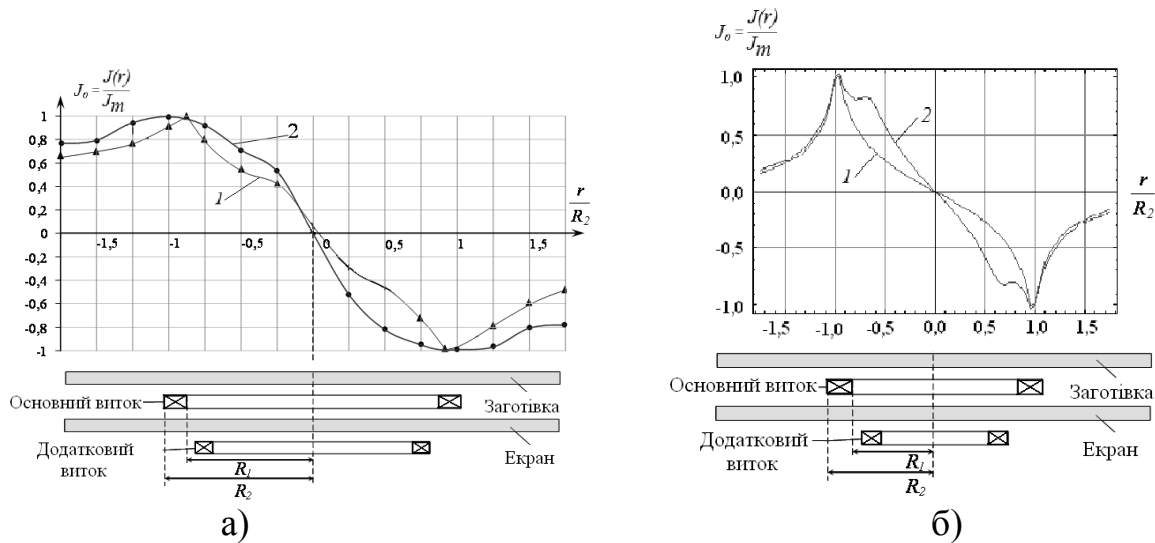


- а – включення основного індуктора; б – включення окремого додаткового одновиткового індуктора; в – включення основного і додаткового одновиткових індукторів; г – включення основного одновиткового індуктора і додаткового кругового соленоїда з 4-х паралельних гілок

Рисунок 7 – Модельні варіанти ІСЕП

Результати вимірювань на графіках рис. 8, а показують, що підключення додаткового соленоїда із зовнішнього боку допоміжного екрана дозволяє сформуванню більш рівномірний просторовий розподіл індукованих струмів і, як

наслідок, більш рівномірний просторовий розподіл порушуваних сил притягання. Ілюстрацією позитивного впливу додаткового соленоїда на характер електромагнітних процесів, що протікають, є також розрахункові залежності, представлені для порівняння на рис. 8,б.



а – виміри; б – розрахунки,

1 – основний індуктор – включений, додатковий індуктор – відключений,
2 – основний і додатковий індуктори – включені

Рисунок 8 – Радіальні розподіли відносної щільності індукovanого струму в листовій заготівці (нормування на максимум)

Результати вимірювань при різних варіантах включення і конструкціях індукторів, що збуджують, у дослідженій індукторній системі з екраном, що притягає, зведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати вимірювань

Індуктори, що збуджують	Електричний вхід узгоджувального пристрою $J_{ВХ}$, А	Електричний вхід ІСЕР $J_{ІСЕР}$, А	K
Одновитковий основний	4678,1	14095,8	3,01
Одновитковий додатковий	3656,9	10156,9	2,78
Одновитковий основний і одновитковий додатковий	4469,4	13000	2,91
Одновитковий основний і додатковий круговий з 4-х паралельних гілок	4504,5	18075,2	4,01

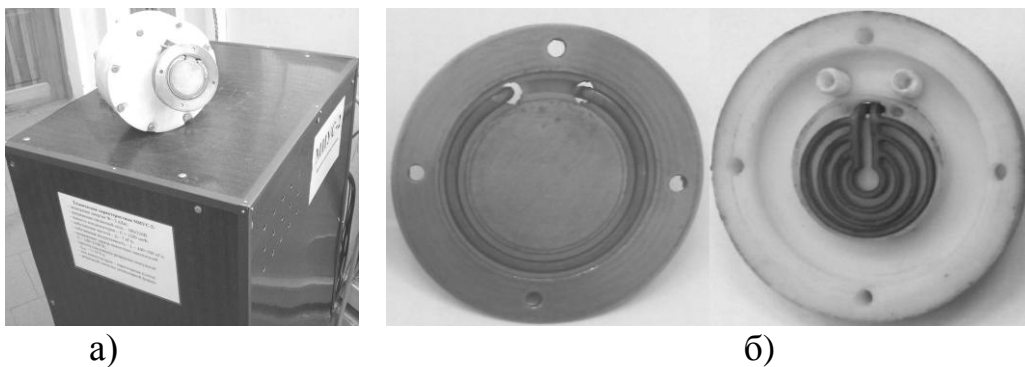
З даних табл. 4 слідує, що додатковий одновитковий індуктор, практично, не впливає на коефіцієнт трансформації. Відхилення його величини від найбільшого значення не перевищує ~ 8%.

Введення в схему ІСЕР додаткового кругового соленоїда з 4-х паралельних гілок призводить до підвищення рівня енергії, що трансформується в обмотку, на ~ 25%. Фізично, дана обставина пояснюється досить значимим зменшенням повного опору обмотки ІСЕР, представленої кількома паралельними гілками, у порівнянні з можливими шляхами замикання індукovanого струму в металі вторинної обмотки

узгоджувального пристрою. Оцінки показують, що при $K \approx 4$ в обмотці ІСЕП при напрузі на ємнісному накопичувачі $U = 1800$ В, $C = 1200$ мкФ, частоті $f = 2000$ Гц та відносному декременті $\delta \approx 0,3$ в обмотці ІСЕП можливо отримати струм з амплітудою $\sim I_{\text{ІСЕП}} \approx 67770$ А.

Основною метою силових експериментів була практична апробація дієвості розробленої конструкції технічного засобу в операції рихтування вм'ятин магнітно-імпульсним притяганням заданої ділянки на поверхні тонкостінного листового металу кузовної панелі автомобіля.

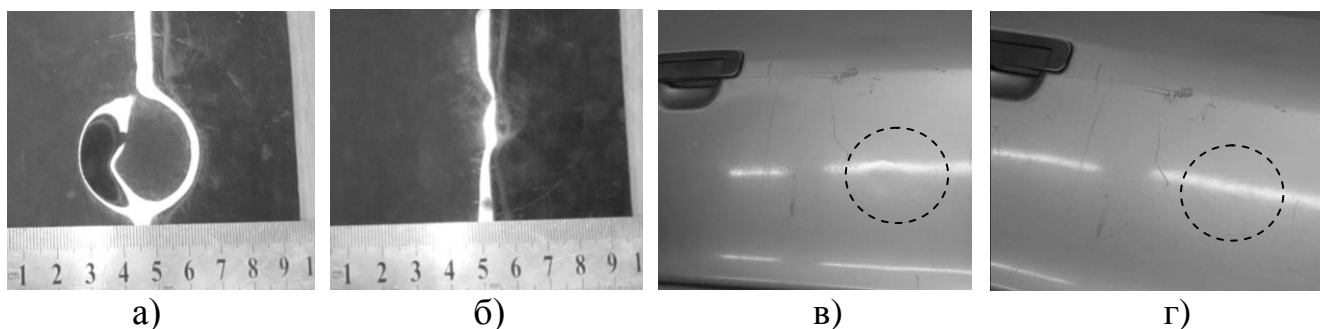
Експериментальне обладнання включало джерело потужності – магнітно-імпульсну установку МІУС-2 з узгоджувальним пристроєм дискового типу (рис. 9,а) та технічний засіб – модельну конструкцію ІСЕП. Робоча обмотка останньої була представлена паралельно з'єднаними основним одновитковим соленоїдом і додатковим плоским круговим соленоїдом з 4-х паралельних гілок рис. 9,б.



а – джерело потужності, узгоджувальний пристрій та технічний засіб методу;
б – ІСЕП, зліва – вид зі сторони основного одновиткового соленоїда, справа – вид зі сторони додаткового кругового соленоїда з 4-х паралельних гілок

Рисунок 9 – Устаткування в силовому експерименті

Експерименти з видалення вм'ятини проводилися в режимі багаторазового повторення силових імпульсів (розрядних імпульсів струму) магнітно-імпульсного притягання при напрузі на ємнісному накопичувачі ~ 2000 В. Для здійснення заданої виробничої операції було потрібно 4 серії з 10 імпульсів в кожній і частотою повторення ~ 10 Гц. Результати рихтування представлені на рис. 10.



а – до рихтування; б – після рихтування в – кузовна панель автомобіля з вм'ятиною;
г – кузовна панель автомобіля, вм'ятини видалена

Рисунок 10 – Елементи кузовної панелі автомобілів Субару (ліворуч) та Ауді (праворуч)

У процесі експерименту проявилися відмінні особливості запропонованої виробничої операції:

- рихтування здійснено із зовнішнього боку вм'ятини, яка видалялася, що в реальній практиці означає відсутність необхідності в розбиранні пошкодженої конструкції кузовного покриття автомобіля;
- рихтування здійснено без пошкодження захисного лакофарбового покриття;
- найбільш ефективним режимом рихтування є режим з багаторазовим повторенням силових імпульсів притягання. При одноразовому впливі видимих змін в конфігурації вм'ятини не спостерігалось.

Якість рихтування, як ступінь вирівнювання до рівня недеформованої частини поверхні, встановлюється робочою площиною технічного засобу, яка механічно обмежує процес притягання металу вм'ятини.

В результаті проведена успішна практична апробація технічного засобу зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування – ІСЕР, конструкція якої відрізняється наявністю двох джерел магнітного поля, розміщених на поверхнях додаткового екрану.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз, як традиційних методів рихтування, так і прогресивних магнітно-імпульсних методів відновлення кузовних елементів автомобілів. Визначено, що сучасне промислове виробництво вимагає подальшого розширення переліку операцій ремонту, де магнітно-імпульсні методи мають незаперечні переваги. Особливе місце тут займають виробничі операції по магнітно-імпульсному притягання заданих ділянок плоских металевих поверхонь – зовнішнє безконтактне магнітно-імпульсне рихтування. Показано, що виникла потреба в розробці, створенні та удосконаленні як методів зовнішнього кузовного ремонту з використанням енергії імпульсних магнітних полів, так і технічних засобів, які дозволяють ефективно реалізувати дані методи.

2. Проведено теоретичні дослідження електромагнітних процесів при низьких частотах $f = 2$ кГц сили притягання, зумовлені дією закону Ампера (66%), істотно перевищують сили магнітного притягання (26%) і сили Лоренцевського відштовхування (8%). Отримано, що в діапазоні робочих частот від 0,5 кГц до 2 кГц істотно зростають сили електродинамічної природи (Ампера і Лоренца в $4 \div 8$ разів), сили магнітного притягання змінюються несуттєво (не більше, ніж на $\sim 20\%$). Показано, що як для магнітних, так і для немагнітних листових сталей кузовних панелей автомобілів притягання превалює над відштовхуванням в діапазоні робочих частот діючих полів – $f \leq 2$ кГц, так при струмі індуктора ~ 50 кА результуюче притягання для рихтування може досягати 230 кПа.

3. Розроблено рішення по конструктивному виконанню технічного засобу зовнішнього безконтактного рихтування – індукторної системи з екраном, що притягає, порушувана полем двох кругових витків. Проведено чисельні оцінки в результаті яких визначено, що введення додаткового витка, розміщеного поверх допоміжного екрану дозволяє сконцентрувати сили притягання в центральній частині робочої зони індукторної системи. Саме при подачі струму на вхід з

амплітудою ~ 75 кА і розподілі по виткам в співвідношенні 3/2 (внутрішній / зовнішній) сумарна величина сили складає вже $\sim 1,04$ кН при середньому значенні розподіленої сили $\sim 0,25$ МПа. Виконання додаткового витка у вигляді кругового соленоїда з 4-х паралельних гілок дозволяє збільшити рівень енергії, трансформованої в обмотку інструменту притягання, на $\sim 25\%$.

4. Проведена експериментальна апробація розроблених конструкцій технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування елементів кузовних панелей автомобілів, у запропонованій конструкції технічного засобу досягнутий максимум коефіцієнта трансформації становить $3,85 \div 4,01$, а це дозволяє здійснити операцію без пошкодження захисного лакофарбового покриття без розбирання і з контрольованим ступенем витягування вм'ятини в залежності від умов поставленої виробничої задачі.

В результаті проведених досліджень мета дисертаційної роботи була досягнута – розроблено та удосконалено технічні засоби зовнішнього рихтування на основі методів магнітно-імпульсної дії, що дозволяють підвищити ефективність рихтування кузовних панелей легкових автомобілів, виготовлених як з феромагнітних, так і немагнітних металів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Батыгин Ю. В. Расчет полей и токов в индукторной системе с притягивающим экраном и дополнительным витком как инструмента рихтовки / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, С. А. Шиндерук // Електротехніка і електромеханіка. – Х., 2015. – № 1. – С. 57–62.

2. Батыгин Ю. В. Анализ электромагнитных процессов в индукторной системе – инструменте рихтовки автомобильных кузовов / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, С. А. Шиндерук // Електротехніка і електромеханіка. – Х., 2015. – № 2. – С. 53–56.

3. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования процессов в индукторной системе с притягивающим экраном при введении дополнительного витка / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, С. А. Шиндерук // Електротехніка і електромеханіка. – Х., 2014. – № 5. – С. 58–61.

4. Рихтовка кузовных панелей индукционной индукторной системой цилиндрической геометрии с тонкостенным экраном / А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук, Е. А. Чаплыгин, О. С. Сабокар // Вестник ХНАДУ. – Х., 2014 – Вып. 64. – С. 30 – 36.

5. Шиндерук С. А. Универсальный инструмент магнитно-импульсной рихтовки в низкочастотном режиме действующих полей / С. А. Шиндерук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 29 (1002). – С. 86–92.

6. Пат. 92037 України, В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного притягання тонкостінних листових металів багатовитковою круговою індукційною індукторною системою / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Шиндерук С. О., Сабокар О. С.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u 2014 02116 ; заявл. 03.03.2014 ; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14.

7. Шиндерук С. А. Традиционные технологии рихтовки кузовных панелей автотранспортных средств / С. А. Шиндерук, А. В. Пидгора // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание – Х.: ХНАДУ, 2014. – № 1. – С. 82–86. – ISSN 2226-9266 – Режим доступа к журн.: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/index.html. – Название с экрана.

8. Батыгин Ю. В. Расчет электродинамических процессов в индукционной индукторной системе с немагнитными металлами / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова». – Белгород, 2014. – № 3. – С. 169–174.

9. Анализ процессов в индукционной индукторной системе с идентичными листовыми немагнитными металлами: materialy X Mezinarodni vedecko-prakticka conference [«Moderni vymozenosti vedy- 2014» Technicke vedy]. (Praha, 27 ledna – 05 unora 2014 roku) / А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук, М. В. Барбашова. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2014. – Dil 39. – 88 stran. – S. 8 – 13.

10. Расчет распределения индуцированных токов по толщине листового металла в симметричной индукционной индукторной системе: сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов [«Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов»], (Тольятти, 15 – 17 апреля 2014 г.) / А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук. – Тольятти: ТГУ, 2014. – 371 с. – С. 243–247.

11. Расчет индуцированных токов и напряженностей в симметричном универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки: збірка матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013)»], (Херсон, 28–30 травня, 2013 р.) / Шиндерук С. А. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2013. – Т.2. – 240 с. – С. 167 – 170.

12. Импульсные магнитные поля в ремонтных технологиях современности [«Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте ‘2014»] сб. научн. трудов по материалам научно-практической интернет-конференции (Одесса, 16-26 декабря 2014г.) / А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук // Сборник научных трудов SWorld. Вып. №4(37). Т. 2. – Иваново : Научный мир, 2014. – 106 с. – С. 40 – 44.

АНОТАЦІЯ

Шиндерук С. О. Вдосконалення технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування автомобільних кузовів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, МОН України, Харків, 2016.

Дисертаційна робота присвячена створенню технічних засобів зовнішнього рихтування, що дозволяють підвищити ефективність рихтування кузовів легкових автомобілів. В роботі вперше визначені закономірності протікання електродинамічних процесів при зовнішньому рихтуванні кузовних панелей

легкових автомобілів технічними засобами з екраном, що притягає, з урахуванням впливу магнітних властивостей металу, які дозволяють реалізувати операцію зовнішнього рихтування листового металу з будь-якими фізичними властивостями, вдосконалений метод зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування кузовних панелей автомобілів заснований на використанні індукторної системи з екраном, що притягає, з додатковим джерелом магнітного поля, а також отримали подальший розвиток методи дослідження електромагнітних процесів у технічних засобах магнітно-імпульсного силового впливу, які враховують вплив додаткових джерел магнітного поля.

У дисертаційній роботі проведено теоретичні дослідження та чисельні оцінки електромагнітних процесів, які протікають, в розглянутих технічних засобах зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування в процесі рихтування. Розроблено рішення по конструктивному виконанню технічного засобу зовнішнього безконтактного рихтування. Проведено експериментальну апробацію розроблених конструкцій технічних засобів магнітно-імпульсного рихтування, в результаті якої було виконано ефективне усунення вм'ятин на реальних зразках кузовних панелей автомобілів.

Ключові слова: зовнішнє рихтування, технічні засоби магнітно-імпульсного рихтування, індукторна система, відновлення кузовних панелей.

АННОТАЦІЯ

Шиндерук С. А. Совершенствование технических средств магнитно-импульсной рихтовки автомобильных кузовов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, МОН Украины, Харьков, 2016.

Диссертационная работа посвящена созданию технических средств внешней рихтовки, которые позволяют повысить эффективность рихтовки кузовов легковых автомобилей. В работе впервые определены закономерности протекания электродинамических процессов при внешней рихтовке кузовных панелей легковых автомобилей техническими средствами с притягивающим экраном с учетом влияния магнитных свойств металла, позволяющие реализовать операцию внешней рихтовки листового металла с любыми физическими свойствами, усовершенствован метод внешней магнитно-импульсной рихтовки кузовных панелей автомобилей основанный на использовании индукторной системы с притягивающим экраном с дополнительным источником магнитного поля, а также получили дальнейшее развитие методы исследования электромагнитных процессов в технических средствах магнитно-импульсного силового воздействия, учитывающих влияние дополнительных источников магнитного поля.

В диссертационной работе проведен анализ существующих методов рихтовки кузовов легковых автомобилей и возможностей применения методов магнитно-импульсного притяжения для внешней бесконтактной рихтовки, в результате которого определено, что возникла потребность в разработке, создании и усовершенствовании как методов внешнего кузовного ремонта с использованием энергии импульсных

магнитных полей, так и технических средств, которые позволяют эффективно реализовать данные методы. Проведены теоретические исследования электромагнитных процессов в рассматриваемых технических средствах внешней магнитно-импульсной рихтовки. Разработаны решения по конструктивному исполнению технического средства внешней бесконтактной рихтовки. Проведены численные оценки протекающих электродинамических процессов при рихтовке, в результате которых определено, что ведение дополнительного витка, размещённого поверх вспомогательного экрана позволяет сконцентрировать силы притяжения в центральной части рабочей зоны индукторной системы. Проведена экспериментальная апробация разработанных конструкций технических средств магнитно-импульсной рихтовки, в результате которой было произведено эффективное устранение вмятин на реальных образцах кузовных панелей легковых автомобилей.

Ключевые слова: внешняя рихтовка, технические средства магнитно-импульсной рихтовки, индукторная система, восстановление кузовных панелей.

ABSTRACT

S. Shinderuk. Technical facilities development of the external straightening of a car body panels. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Engineering. Speciality 05.22.20 – Maintenance and repair of vehicles. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kharkiv, 2016.

The thesis is dedicated to the creation of technical facilities of the external straightening which make it possible to improve the efficiency of car body straightening., In the paper there for the first time have been determined the regularities of the flowing electrodynamic processes in the operation of the external straightening of the cars body panels by technical facilities with an attractive screen with a glance of the influence of magnetic properties of the metal, that allow to implement an operation of external straightening of a sheet metal with any physical properties, the method of external magnetic-pulse straightening of car body panels based on the use of an inductor system with screen attracting additional source of magnetic field has been improved, and the methods research of electromagnetic processes in technical facilities magnetic-pulse of force, influence that take into account the impact of additional sources of a magnetic field have get further developments.

In the thesis there has been carried out the theoretical research and numerical estimates of the electromagnetic processes that flow in these technical facilities of an external magnetic-pulse straightening during a straightening. The decision on a design of the technical facility of the external contactless straightening has been developed. The experimental approbation of developed constructions of technical facilities of magnetic-pulse straightening has been carried out as the result of which the effective elimination of dents on real models of car body panels has been performed.

Key words: external straightening, technical facilities of a magnetic-pulse straightening, inductor system, renewal of body panels.