

УДК 621.318

## ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ЗОВНІШНЬОГО РИХТУВАННЯ КУЗОВІВ АВТОМОБІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ

Граковскі О., PhD, проф.,  
Інститут транспорту і зв'язку, м. Рига  
Аулін В.В., д.т.н., проф.,  
Гриньків А.В., к.т.н.,  
Пяткевич Я.Б., ст.,  
Бобков В.Д., ст.,  
Резніченко В.Ю., ст.

Центральноукраїнський національний технічний університет

### Abstract

From the theoretical point of view the physical substantiation of essence of magnetic-pulse processing is presented. The dependence of the electrodynamic forces excited in the plate metal on the phase of the acting magnetic field at the center of the coil is determined. The scheme of the calculation model of the tool with an internal aperture of a conic profile is offered. The radial distribution of the magnetic field on the metal surface is considered. An experimental approbation of the proposed method of straightening car bodies was carried out.

**Key words:** magnetic pulse processing, straightening of car bodies, working frequency.

### Вступ

Сучасними способами рихтування є холодне та гаряче рихтування та усунення вм'ятин з використанням тимчасових зачепів (рис. 1, а). Більш докладно розглянуто магнітно-імпульсне притягання (рис. 1, б), як операцію, що є актуальною у безконтактному рихтуванні кузовних панелей автомобілів.



а



б

**Рисунок 1** Технології ремонту кузова легкового автомобіля а – PDR-рихтування, б – зовнішнє безконтактне рихтування

Низькочастотний метод електромагнітного впливу дозволяє виконувати операцію зовнішнього рихтування сталевих кузовних панелей завдяки феромагнітним властивостям металу.

### Аналіз попередніх досліджень

На основі ефекту магнітно-імпульсного притягання тонкостінного металу розроблюються нові варіанти конструкцій інструментів зовнішнього

рихтування. При зниженні робочої частоти імпульсу струму, силовий вплив магнітного поля призводить до притягання ділянки рівної поверхні кузовної панелі до індуктора-інструмента та утворення на ній вм'ятини сферичної форми. Зазначене вже не є відомим в традиційній магнітно-імпульсній обробці металів тиск на оброблюваний об'єкт.

### Постановка проблеми

У прагненні до найбільшої концентрації електродинамічних зусиль до центру робочої зони і, отже, більш ефективного усунення вм'ятин при магнітно-імпульсному рихтуванні автомобільних кузовів, спроектовано та розроблено інструмент, робоча зона якого має конічний профіль. Така форма внутрішнього отвору дозволяє зрушити максимум вертикальних складових сил магнітного впливу до центру системи і забезпечує більш інтенсивну силову дію на оброблювану ділянку кузовної панелі автомобіля.

### Мета та завдання

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування можливості рихтування кузовів автомобілів магнітно-імпульсною обробкою ділянок деталей.

Реалізація мети передбачає розв'язання завдань:

1. З фізичної точки зору з'ясувати сутність магнітно-імпульсної обробки.
2. Провести експериментальну апробацію запропонованого методу рихтування кузовів автомобілів.

### Результати вирішення основних завдань

Представлено фізичне обґрунтування основних співвідношень і дослідження сил, що діють на тонкостінний алюмінієвий та сталевий фрагмент кузовної панелі автомобіля в інструменті з одновитковим циліндричним соленоїдом.

У випадку циліндричної системи з аксіальною симетрією та азимутальним струмом в інструменті в металі оброблюваної панелі кузова автомобіля збуджуються  $H_r$  тангенціальна,  $H_z$  нормальна складові вектора напруженості магнітного поля та, відповідно, азимутальна компонента густини індукованого струму –  $j_{in}$ . Фізично причиною появи електродинамічних зусиль, тобто сил Лоренца, в немагнітному провіднику є взаємодія індукований струмів та зовнішнього магнітного поля з напруженістю –  $H_3$ . Вираз для магнітного тиску враховує обидві компоненти поля:

$$P_L = \frac{\mu_0}{2} \cdot H_{3r0}^2 - H_{3rd}^2 + \mu_0 \int_0^d \frac{\partial H_{3z}}{\partial r} H_{3r} \cdot dz, \quad (1)$$

$$H_r(\varphi, \rho, z) = -\frac{2j_m}{\omega \cdot \tau} \int_0^\infty f(x) X e^{-x \frac{h}{d}} J_1 \left( X \left( \frac{R_2}{d} \right) \cdot \rho_r \right) \cdot \sum_{k=0}^\infty \frac{\beta_k^2 F_{lk}(x, \beta_k, z) \cdot f_k(x, \varphi)}{\Phi_{lk}(X)} dx, \quad (2)$$

де  $\rho_r = \frac{r}{R_2}$  – відносна радіальна координата,

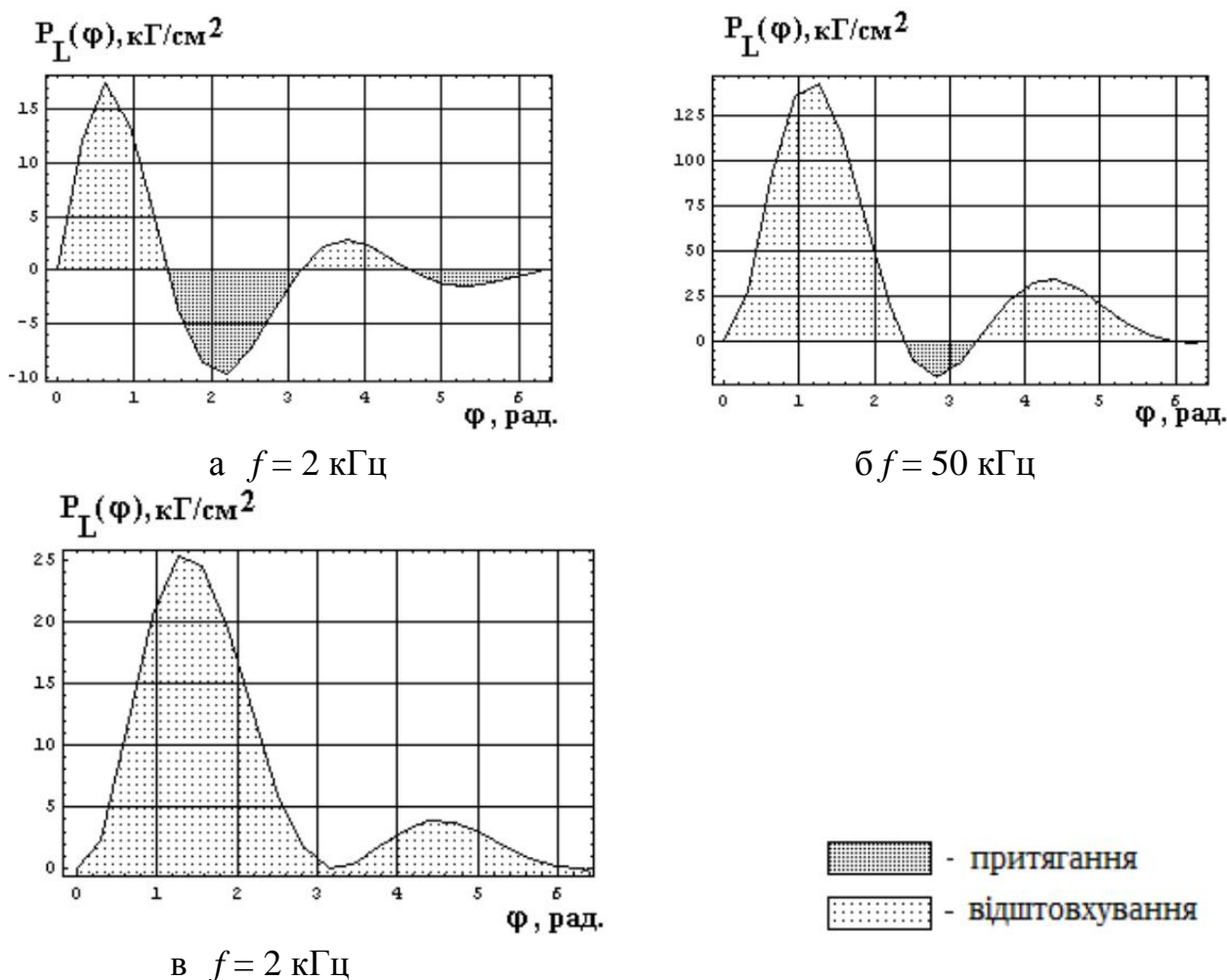
$$\beta_k - \text{корінь рівняння: } ctg \beta_k = 0.5 \left( \frac{\beta_k}{X} - \frac{X}{\beta_k} \right) f(x) = \frac{1}{X^2} \cdot \int_{x \cdot \frac{R_1}{d}}^{x \cdot \frac{R_2}{d}} y J_1(y) dy, \quad (3)$$

$$F_{1k}(X, \beta_k, z) = x \cdot \cos\left(\beta_k \left(1 - \frac{z}{d}\right)\right) - \beta_k \cdot \sin\left(\beta_k \left(1 - \frac{z}{d}\right)\right), \quad (4)$$

$$f_k(X, \varphi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\beta_k^2 + x^2}{\omega\tau} - \delta_0\right]^2} \cdot \left[ e^{-\delta_0\varphi} \left\{ \left[\frac{\beta_k^2 + x^2}{\omega\tau} - \delta_0\right] \sin\varphi - \cos\varphi \right\} + e^{-\frac{\beta_k^2 + x^2}{\omega\tau}\varphi} \right], \quad (5)$$

$$\Phi_{1k}(X) = \cos\beta_k \cdot [X^2 + 2X - \beta_k^2] - 2\beta_k \sin\beta_k + x, \quad (6)$$

Результатом розрахунків є фазові залежності, представлені на рис. 2.2



**Рисунок 2** Залежність електродинамічних зусиль, збуджуваних в металі пластини від фази діючого магнітного поля по центру витка

Для оцінки отриманих результатів слід провести розрахунок по класичній формулі для сил Лоренца:

$$P = \frac{\mu_0}{2} \cdot H_1^2 - H_2^2. \quad (7)$$

Проведені обчислення показали, що:

– при зниженні робочих частотах діючих полів осциляції електродинамічних зусиль у часі підсилюється, їх інтегральна дія подає та,

зрештою, прагне до нуля (рис. 2, а, б,  $\bar{P}_L \Big|_{f=50\text{кГц}}^{(1)} \approx 34\text{кГц} / \text{см}^2 \rightarrow \bar{P}_L \Big|_{f=50\text{кГц}}^{(1)} \approx 0,85\text{кГц} / \text{см}^2$ );

– розрахунок за традиційною методикою (3) при низьких значеннях робочих частот не адекватно описує протікаючий процес (рис. 2, а, в,  $\bar{P}_L \Big|_{f=2\text{кГц}}^{(1)} \approx 0,85\text{кГц} / \text{см}^2 \square \bar{P}_L \Big|_{f=2\text{кГц}}^{(3)} \approx 6,76\text{кГц} / \text{см}^2$ );

– при підвищенні частот діючих полів часові форми збуджуваних зусиль, обчислені без врахування (3) та з урахуванням (1) нормальних компонент напруженості магнітного поля, наближається один до одного.

Величина зусилля рихтування в локальній області поверхні кузова автомобіля залежатиме від магнітної проникності металу, а також від відстані між інструментом та кузовною панеллю.

Проведений аналіз електромагнітних процесів дозволив визначити аналітичний вираз для густини індукованого струму в металі кузовної панелі.

$$j_\varphi(z, r, t) = \frac{2j_m}{d} \cdot \int_0^\infty f(\lambda) \cdot e^{-\lambda h} \lambda J_1(\lambda r) \sum_{k=0}^\infty \frac{\beta_k F_{1k}(\mu_r(\lambda d), z)}{\Phi_k(\mu_r(\lambda d))} \cdot \frac{dj(t)}{dt} e^{-\frac{\beta_k + (\lambda d)^2}{\tau} t} d\lambda, \quad (8)$$

де  $j_m$  і  $j(t)$  – амплітуда та частота залежність струму в індукторі,

$$f(\lambda) = \int_{R_1}^{R_2} f(r) r J_1(\lambda r) dr, \quad f(r) – \text{радіальний розподіл струму в індукторі,}$$

$$F_{1k}(\mu_r(\lambda d), z) = \mu_r(\lambda d) \sin\left(\beta_k \left(1 - \frac{z}{d}\right)\right) + \beta_k \cos\left(\beta_k \left(1 - \frac{z}{d}\right)\right), \quad (9)$$

$$\Phi_k(\mu_r(\lambda d)) = \cos \beta_k \left[ (\mu_r(\lambda d))^2 + 2(\mu_r(\lambda d)) - \beta_k^2 \right] - 2\beta_k^2 \sin \beta_k + (\mu_r(\lambda d)). \quad (10)$$

Для проведення чисельних оцінок задамо параметри інструменту:  $R_1 = 0,025\text{м}$ ,  $R_2 = 0,03\text{м}$ ; зазор між витком індуктора та кузовною панеллю –  $h = 0,0005\text{м}$ ,  $\gamma = 0,4 \cdot 10^7 \text{ 1}/(\text{Ом} \cdot \text{м})$ , товщина кузовної панелі  $d = 0,00075\text{м}$ . Величина відносної магнітної проникності складає  $\mu_r \approx 2,5$ . Амплітуда струму в індукторі –  $I_m = 50\text{кА}$ , частота в імпульсі –  $f = 2...8 \text{ кГц}$ , відносний декремент затухання –  $\delta_0 = 0,3$ .

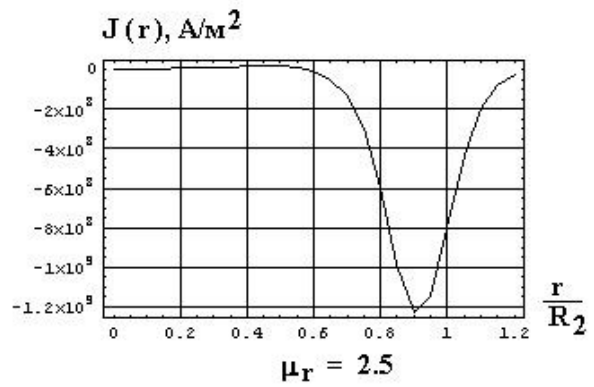
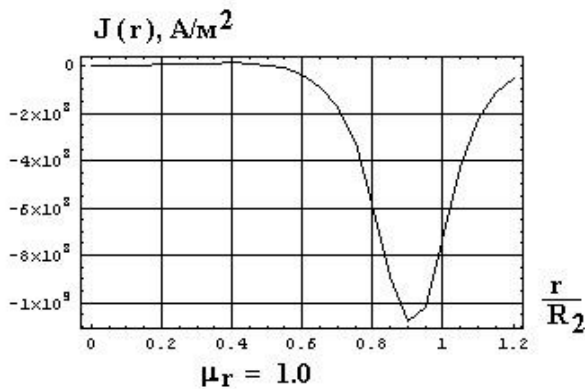
Представляє інтерес оцінка впливу магнітних властивостей на основі параметрів індукованих струмів. На рис. 3 представлені результати проведених обчислень:

– з порівняння відповідних графічних залежностей на рис. 3 випливає, що на рівні заданої відносної магнітної проникності металу пластини істотного впливу на характер електромагнітних процесів її магнітні властивості не чинять;

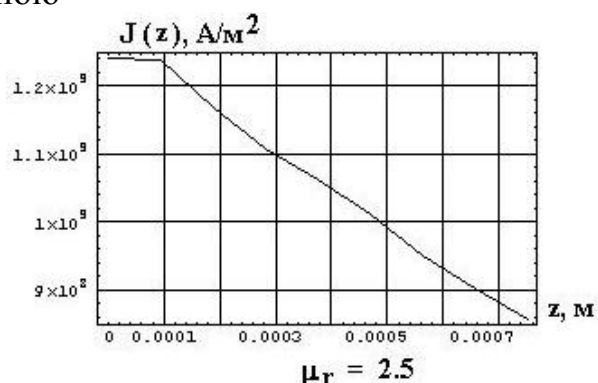
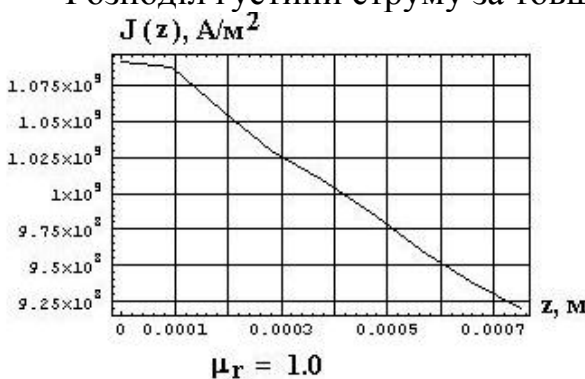
– необхідно відмітити, що збільшення  $r$  до 5 позначає зменшення величини скін-шару в  $\sim 1,6$  разів.

Це в свою чергу, як видно з ілюстрацій рис. 3,б, знижує дієвість дифузійних ефектів и веде до збільшення амплітуд індукованих струмів та зосередженню їх поблизу поверхні зі сторони джерела магнітного поля – індуктора.

### Радіальний розподіл густини струму



### Розподіл густини струму за товщиною



**Рисунок 3 Розподіл густини струмів індукованих в металі тонкостінного листового зразку при варіації магнітних характеристик в полі з частотою 2кГц**

За отриманими розрахунковими співвідношеннями проведено розрахунок зусиль тиску та рихтування від радіусу отвору інструмента. Проведені розрахунки показали, що при робочій частоті біля 8 кГц превалює зусилля відштовхування (проявляється сила Лоренца), але при зниженні частоти до 2 кГц сили відштовхування змінюється на сили притягання і з'являється зусилля рихтування.

Для порівняння в цифрах слід перейти до усереднених характеристик (табл.1): розподілених сил за часом, протягом період діючого поля (табл.1, поз.1, 2), а також за радіусом на інтервалі, де величини сил складають не менш  $\sim 0,05$  максимального значення (табл. 1, поз. 3, 4). Інтерес представляє власне сила як інтеграл за площею. (табл. 1, поз. 5, 6).

**Таблиця 1 Залежність середніх силових показників від робочої частоти**

№	Робочі частоти		
	Усереднені силові показники	2,0 кГц	8,0кГц
1	Розподілена сила відштовхування за період діючого поля (в радіальному максимумі)	19,8 Н/см <sup>2</sup>	182,7Н/см <sup>2</sup>

2	Розподілена сила притягання за період діючого поля (в радіальному максимумі)	-98,6Н/см <sup>2</sup>	83,7Н/см <sup>2</sup>
3	Розподілена сила відштовхування на площині $r/R_2 \in [0,7, \dots, 1,1]$ (в часовому максимумі)	128Н/см <sup>2</sup>	428Н/см <sup>2</sup>
4	Розподілена сила притягання на площині $r/R_2 \in [0,8, \dots, 1,2]$ (в часовому максимумі)	-169Н/см <sup>2</sup>	-138,5Н/см <sup>2</sup>
5	Сила відштовхування на площині $r/R_2 \in [0,9, \dots, 1,3]$ (в часовому максимумі)	2605,6Н	8716Н
6	Сила притягання на площині $[1,0, \dots, 1,4]$ (в часовому максимумі)	-3448,6Н	-2819Н

Розрахунки проведені в табл.1 дозволяють визначити наступне:

– різні фізичні механізми збудження сил в розглянутому інструменті призводять до того, що максимуми сил відштовхування та притягання представлені, як у часі так і у просторі. Ця обставина є причиною неоднорідного деформування феромагнітних листових заготовок при дії імпульсних магнітних полів;

– амплітуди сил відштовхування істотно зростають при підвищенні робочих частот діючих полів. В свою чергу, амплітуди сил магнітного притягання падають.

Запропонований конічний профіль внутрішнього отвору індуктора повторює форму торцевих поверхонь концентраторів магнітного потоку, що широко використовуються для підвищення сил тиску на порожні металеві труби. Принципова відмінність індуктора в досліджених сил притягання від вказаного аналогу присутня у відмінності їх робочих зон. В концентраторі – це внутрішня циліндрична порожнина між торцями, де розташовується оброблювана труба, в інструменті з отвором конічного профілю – це поверхня більшої основи зрізаного. Сила з розрахункової моделі інструменту з внутрішніми отвором конічного профілю конусу наведено на (рис. 4).



Рисунок 4 Схема розрахункової моделі інструменту з внутрішнім отвором конічного профілю

Представлена на рис.4 розрахункова модель відрізняються від попередньої геометрією робочої зони та відповідними збуджуваними зусиллями. Для розрахункової моделі рис.4 складено систему рівнянь Максвела (11-13) для збуджуваних складових поля над інструментом індуктором.

$$\begin{cases} \frac{\partial H_r(p, z, r)}{\partial z} - \frac{\partial H_z(p, z, r)}{\partial r} = j_\varphi(p, r, z) \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r E_\varphi(p, z, r) = -\mu_1 p_l H_z(p, z, r) \\ \frac{\partial E_\varphi(p, z, r)}{\partial z} = \mu_1 p H_z(p, z, r) \end{cases} \quad (11)$$

де  $p_l$  – параметр перетворення Лапласа;

$$E_\varphi(p, r, z) = L E_\varphi(t, r, z); H_{r,z}(p, r, z) = L H_{r,z}(t, r, z);$$

$$j_\varphi(p, r, z) = L j_\varphi(t, r, z); j_\varphi(p, r, z) \approx \gamma E_\varphi(p, r, z)$$

$j_\varphi(t, r, z)$  – густина струму, збудженого в металі листової заготівки,

$$\mu_1 = \mu_0 \mu_r.$$

Розв'язуючи представлені рівняння Максвела відомими методами математичного аналізу, отримано вирази для компонент напруженості магнітного поля (12), (13) та густини індукваного струму в металі листової заготівки (14):

$$H_r^{(2)}(\varphi, r, \zeta) = -\frac{L_l I(\varphi)}{2\pi(1 - \cos \beta) d^2} \times \\ \times \int_0^\infty \frac{X \cdot \left( \mu_r \operatorname{ch} X \left( \frac{\zeta}{d} - 1 \right) - \operatorname{sh} X \left( \frac{\zeta}{d} - 1 \right) \right)}{\left( \mu_r^2 \operatorname{ch} \left( X \frac{h}{d} \right) + \operatorname{ch} \left( X \frac{h}{d} \right) \right) + \mu_r e^{X \frac{h}{d}} \operatorname{ch}(X)} \int_0^{R_2} \frac{r (R_2 \operatorname{ctg} \beta + h) J_0 \left( X \frac{r}{d} \right) dr}{\left( r^2 + (R_2 \operatorname{ctg} \beta + h)^2 \right)^{3/2}} J_1 \left( X \frac{r}{d} \right) dX, \quad (12)$$

$$H_r^{(2)}(\varphi, r, \zeta) = -\frac{L_l I(\varphi)}{2\pi(1 - \cos \beta) d^2} \times \\ \times \int_0^\infty \frac{X \cdot \left( \mu_r \operatorname{ch} X \left( \frac{\zeta}{d} - 1 \right) - \mu_r \operatorname{sh} X \left( \frac{\zeta}{d} - 1 \right) \right)}{\left( \mu_r^2 \operatorname{ch} \left( X \frac{h}{d} \right) + \operatorname{ch} \left( X \frac{h}{d} \right) \right) + \mu_r e^{X \frac{h}{d}} \operatorname{ch}(X)} \int_0^{R_2} \frac{r (R_2 \operatorname{ctg} \beta + h) J_0 \left( X \frac{r}{d} \right) dr}{\left( r^2 + (R_2 \operatorname{ctg} \beta + h)^2 \right)^{3/2}} J_1 \left( X \frac{r}{d} \right) dX, \quad (13)$$

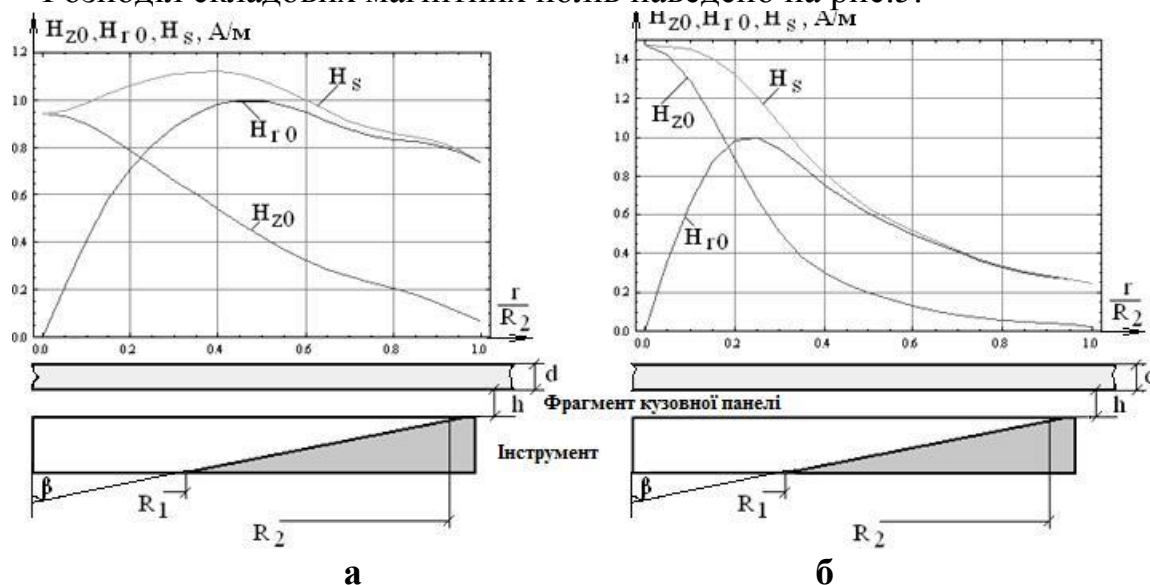
$$j_{\varphi}^{(2)}(\varphi, r, \zeta) = \frac{\gamma L_i \omega}{2\pi(1 - \cos \beta)d} \cdot \frac{\partial I(\varphi)}{\partial \varphi} \times$$

$$\times \int_0^{\infty} \frac{chX \left( \frac{\zeta}{d} - 1 \right) - \mu_r shX \left( \frac{\zeta}{d} - 1 \right)}{\left( \mu_r^2 ch \left( X \frac{h}{d} \right) + ch \left( X \frac{h}{d} \right) \right) + \mu_r e^{X \frac{h}{d}} ch(X)} \int_0^{R_2} \frac{r(R_2 ctg \beta + h) J_0 \left( X \frac{r}{d} \right) dr}{\left( r^2 + (R_2 ctg \beta + h)^2 \right)^{3/2}} J_1 \left( X \frac{r}{d} \right) dX \quad (14)$$

Зусилля рихтування, обумовлене магнітними властивостями металу кузовної панелі, описується залежністю:

$$F_M(\varphi, r) = \frac{\mu_0}{2} (\mu_r - 1) \left( \mu_r \cdot \left[ H_z^2(\zeta = 0) - H_z^2(\zeta = d) \right] + \left[ H_r^2(\zeta = 0) - H_r^2(\zeta = d) \right] \right). \quad (15)$$

Розподіл складових магнітних полів наведено на рис.5.

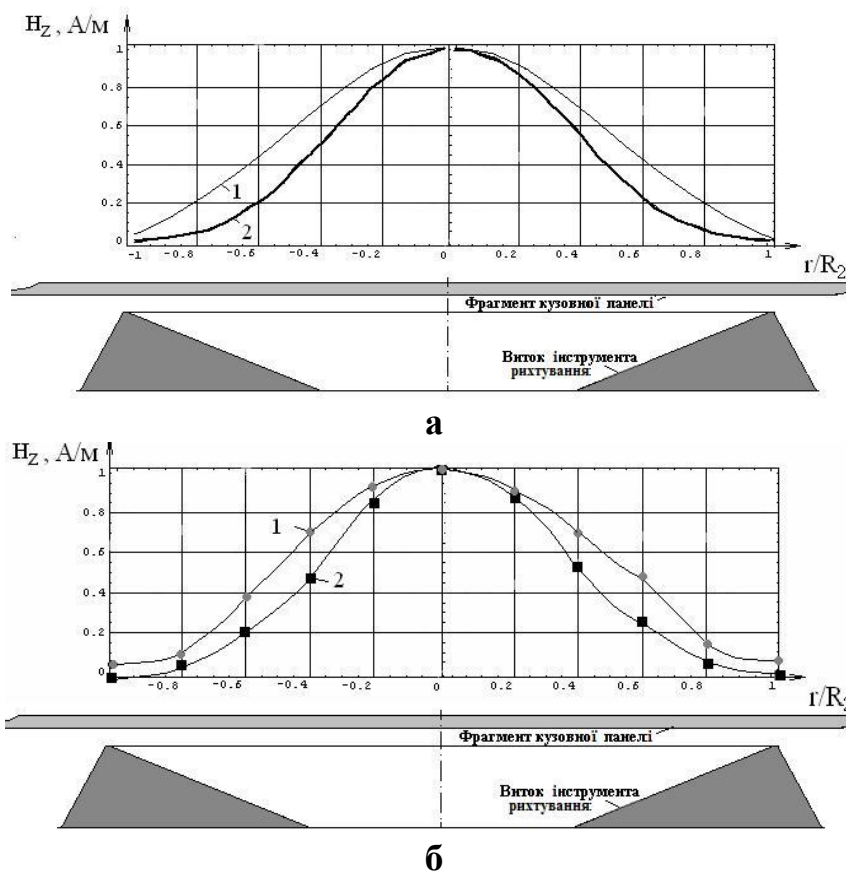


**Рисунок 5** Радіальний розподіл магнітного поля на поверхні металу:  $\beta = 60^\circ$  (а);  $\beta = 75^\circ$  (б)

Можна бачити, що результати проведених обчислень для індуктора з внутрішнім отвором у вигляді зрізаного конуса показали, що індуктивність в діапазоні розглянутих кутів досить слабо залежить від куту нахилу твірних конічної поверхні внутрішнього вікна, розбіжності складають не більш  $\sim 9\%$ .

Моделльні експерименти проводили з круговим масивним інструментом конічного профілю та сталевую кузовною панеллю автомобіля з питомою електропровідністю  $\gamma = 0,4 \cdot 10^7$  1/(Ом·м) і товщиною  $d = 0,001$ м. Відстань від витка індуктора до заготовки  $h = 0,001$ м.

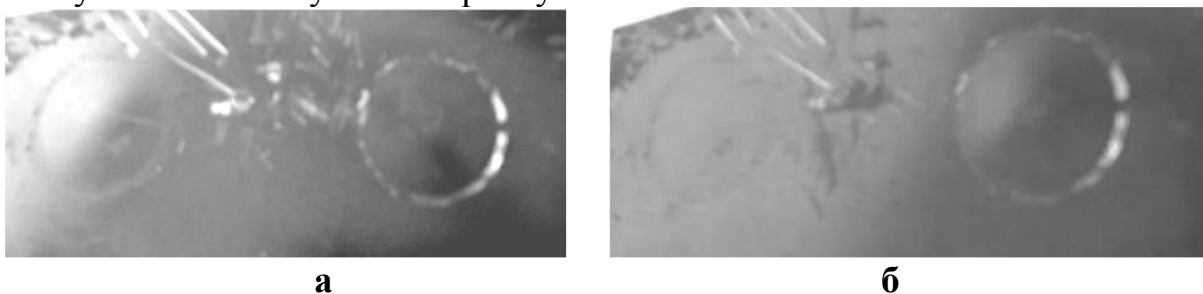
Результати експериментальних досліджень та теоретичної оцінки наведені на рис.6.



**Рисунок 6** Радіальний розподіл нормальної компоненти магнітного поля за експериментальними даними

Ідентичність експериментальних та розрахункових даних підтверджується графічними залежностями на рис. 6, де 1 – залежність поля від радіусу при куті нахилу твірної конічного отвору  $60^\circ$ , а 2 – залежність поля від радіусу при куті нахилу твірної конічного отвору  $75^\circ$ .

Експериментальні зразки операцій "отримання-усунення" вм'ятин на поверхні листових сталей кузовної панелі автомобіля приведені на рис. 7, де зображено дві ідентичні вм'ятини (а) до та після (б) видалення їх за допомогою способу магнітно-імпульсного рихтування.



**Рисунок 7** Експериментальні зразки обшивки кузова легкового автомобіля: а – зразок з двома ідентичними вм'ятинами, отриманими магнітно-імпульсним притяганням на рівній поверхні пластини; б – той же зразок з видаленою магнітно-імпульсним притяганням вм'ятиною – зліва, справа – контрольна вм'ятинка

Можна бачити що використання магніто-індукційної обробки кузова легкового автомобіля для його ремонту є ефективним методом, що дозволяє з мінімальними енерговитратами виконувати рихтування вм'ятин і нерівностей.

### **Висновки**

1. Експериментально підтверджені висновки теорії про природу виявленого ефекту, зумовленого превалюванням зусиль рихтування за рахунок магнітних властивостей оброблюваної деталі в порівнянні з силами фундаментального відштовхування, відомими в традиційній магнітно-імпульсній обробці металів та названими "силами магнітного тиску".

2. Експериментально показано, що при значенні робочої частоти  $\sim 1,8\text{кГц}$  феромагнітна деталь корпуса автомобіля відчуває виключно притягання зі сторони магнітного поля інструмента, відштовхування не відчуває.

3. Інтегральна дієвість фундаментальної сили прагне до нуля для немагнітної тонкостінної деталі кузова автомобіля відсутні як відштовхування, так і притягання.

4. Концентрація поля в центрі системи призводить до зосередження діючих сил в центральній області оброблюваної частини кузова автомобіля, про що свідчить геометрична форма вм'ятини, отриманої методом магнітно-імпульсного рихтування.

### **Література**

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підхід до забезпечення надійності транспортних засобів та системи агропромислового виробництва шляхом оптимізації парку рухомого складу. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 15-17.

2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Критерії оцінки в організації системи технічної діагностики для дослідження технічного стану засобів транспорту. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців", 19–20 жовтня 2017 р., Харків.: ХНАДУ, 2017. – С.55-56.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №8. – С. 9-20.

4. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.36-41.

5. Аулін В.В., Жилова І.В., Рубан О.Є., Лисенко С.В. Керування мікрогеометрією робочих поверхонь деталей концентрованими потоками енергії. Збірник тез доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С.73-75.

6. Аулін В.В., Каліч В.М., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.28-36.

7. Аулін В.В., Панарін Д.Є. Сучасні проблеми та шляхи оптимізації роботи станції гарантійного та постгарантійного технічного обслуговування автомобілів. Зб. тез доповідей ІХ Всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів, аспірантів та молодих учених "Підвищення надійності машин і обладнання". – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.58-62.

8. Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В. Керування характеристиками і властивостями моторних оливок комбінованим модифікуванням. Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2014. – Вип. 148. – С.148-155.

9. Аулін В.В., Гриньків А.В. Лівіцький О.М. Підвищення надійності мобільної та автотранспортної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. Матеріали Х Міжнар. наук.-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки. Кіровоград: КНТУ, 2015. С.163-164.

10. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Дослідження технічного стану системи транспортних засобів "агрегат-олива". Матеріали VIII міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 19-21 жовтня 2015 року: зб. наук. праць. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 16-19.

11. Аулін В.В., Гриньків А.В. Лівіцький О.М. Математичний апарат для оцінки діагностичних параметрів та визначення оптимальної їх кількості. Матеріали IV міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Автомобіль і електроніка. сучасні технології", 17-19 листопада 2015 р., Харків, Україна, 2015. С. 126-128.

12. Аулін В.В., Гриньків А.В. Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів на основі теорії чутливостей функції. Збірник тез дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016)", 17-18 травня 2016 року, Київ, Україна. – К.: НАУ, 2016. – С. 196-197.

13. Аулін В.В., Гриньків А.В. Технічний стан систем, агрегатів транспортних засобів у сільськогосподарському виробництві, як міра інформації. Зб. тез доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції "Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь". – Житомир: ЖАТК, 2016. С.129 – 131