

А.М. СІЛЬВЕСТРОВ, Д.К. ЗІМЕНКОВ

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського  
(Просп. Перемоги, 37, Київ 03056; e-mail: zimenkovdk@ukr.net)

## АНАЛІЗ ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТУ Ж. ГУБЕРА

УДК 537.1.538

*Розглянуто історію теоретико-експериментальні дослідження фізичного явища, яке виникає в рухомих колісних чи підшипникових парах за наявності електричного струму в контактах коліс чи кульок з направляючими (ефект Ж. Губера).*

*Ключові слова:* ефект Губера, двигун Косирева–Мільроя, закони електродинаміки.

### 1. Вступ

Як витікає з фундаментальних законів матеріального світу (загальної взаємодії елементів та нерозривності матерії і руху) логічно стверджувати, що не існують в реальних об'єктах ідеальна лінійна залежність між окремими фізичними явищами, автономні (ізолювані) об'єкти, стаціонарні процеси, суто фізичні константи і т.ін. Тому успіх побудови математичних моделей (ММ) причинно-наслідкових зв'язків у досліджуємому об'єкті (виявлення фізико-математичних закономірностей) залежить від розумного компромісу між точністю і складністю ММ. Як відомо [1], “Побудова ММ об'єктів за даними спостережень за їх поведінкою складає предмет теорії ідентифікації”. Отже і фізика, як говориться в [2], “з часів Ньютона і до сьогодні не в змозі описати механізм, схований за законом тяготіння... Так що до цього часу немає іншої моделі для теорії гравітації, окрім математичної”. Це ж стосується і багатьох інших фізичних явищ. Таким чином, у більшості випадків фізика ідентична теорії ідентифікації: вона створює поведінкові ММ. Тому будемо говорити лише про поведінкові аспекти, які наближено відображаються ММ у вигляді законів фізики. Так, ефект Ж. Губера з позицій зовнішнього спостерігача [3] полягає в такому. Якщо колеса ко-

лісної пари Ж. Губера [3] котяться по направляючих або вал і внутрішня шайба підшипників двигуна Косирева–Мільроя [4] обертається, то, за наявності електричного струму в контакті коліс (чи кульок) з направляючими, і як нині з'ясувалося, моменту інерції, виникає додатковий обертальний момент  $M$ . Швидкість  $\Omega$  обертання коліс чи кульок збільшується при збільшенні струму  $I$ , не залежить від його напрямку, постійності чи синусоїдальності; дорівнює 0, якщо матеріал не феромагнітний; за незмінності напруги реального джерела живлення залежність  $M$  від  $\Omega$  екстремальна. Для  $\Omega = 0$ ,  $M = 0$ , далі  $M$  зростає до максимального ( $M_{\max}$ ), якщо механічний момент протидії менше  $M_{\max}$ , далі швидкість  $\Omega$  продовжує зростати, але зменшується  $M$ . Далі, якщо момент протидії змінив знак, за деякої синхронної швидкості  $\Omega_c$ ,  $M = 0$ , і далі, зі зростанням  $\Omega > \Omega_c$ ,  $M < 0$ . Така закономірність нагадує моментну характеристику однофазного асинхронного електродвигуна. Але, як показали дослідження [4], тут мають місце інші процеси.

### 2. Історія досліджень

Австрійський інженер Ж. Губер в 1951 р. вперше виявив ефект утворення обертального моменту в колісній парі, за умови її початкового руху і наявності електричного струму в контактах коліс з рельсами. Ж. Губер вважав, що це явище має

© А.М. СІЛЬВЕСТРОВ, Д.К. ЗІМЕНКОВ, 2017

електромагнітну природу, однак пояснити сутність його не зміг. Тим не менш він, як інженер, застосував цей ефект на залізничній сортирувальній станції. Зкочуючись з гірки вагони рухалися далі не тільки за рахунок інерції, а і завдяки виникненню обертального моменту від струму в контактах коліс вагона з рельсами. Ефект Губера зацікавив багатьох вчених, які впродовж з часу відкриття його і до сьогодні запропонували декілька пояснень.

Однак, пояснення ефекту, подані різними вченими [5–12], на жаль, не підтверджувались подальшими експериментальними дослідженнями. Так, вважалося [6, 7], що момент виникає від взаємодії за законом Ампера струмів направляючої і колеса чи кульки, які розташовано під гострим кутом. Це створювало б момент, якби на другому колесі колісної пари Ж. Губера чи другій стороні кульки підшипника такий же момент не мав протилежного знака. Вважалося [5], що момент виникає від іскри і збільшення тиску повітря на збігаючій стороні контакту. Щоб це підтвердити [5], підшипники помістили у вакуумний ковпак і поступово відкачали повітря. Рух припинився. Можливо, мав місце перегрів і заклинювання підшипників внаслідок суттєвого зменшення у вакуумі тепловідбору від розігрітих струмом кульок до 250 °С, і це привело до їх зупинки, а можливо, і відсутність у вакуумі іскри? Автор роботи [8] за 1982 р. стверджує, що іскри не є причиною, а в роботі [5] за 1973 р. він вважав причиною саме їх. Про негативний вплив іскріння на рух говориться в [9]. Термодинамічне пояснення [6] виникнення моменту від теплової деформації направляючих, яка, напевно, створює гірку, з якої скочується кулька чи колесо, не враховує їх значної теплової інерційності і могло б мати місце лише для надмалих швидкостей  $\Omega$ . Але за таких  $\Omega$  момент не виникає. В [12] пропонуються положення, які не відповідають класичним законам фізики, наприклад, наявність магнітної індукції, створеної струмом, і співпадаючої з ним же за напрямком. Додаткові неясності внесли роботи [10, 11], де ефект Губера об'єднано з нез'ясованим ефектом Дж. Серла. Абстрактний математичний варіаційний підхід в роботі [12] теж не розкриває фізику явища. Як показали експериментальні дослідження [5–11] для виникнення моменту  $M$ , окрім руху, необхідно, щоб колеса (кульки) і направляючі були феромагнітними, що вказує на те, що не іскра є причиною руху. Повинно

існувати джерело намагнічування коліс (кульок) і направляючих. Намагнічування тіл повинно бути в сторону руху більшим; матеріал феромагнетику повинен бути магнітом'яким; змазка підшипників, якщо вона не густа, також дещо покращує показники. Однак, струм  $I$  в колі “джерело–споживач” безпосередньо не може створювати магнітне поле, яке б несиметрично намагнічував феромагнетики і, шляхом їх притягання з набігаючої сторони з подальшим розмагнічуванням, створювало б обертальний момент  $M$ .

Таким чином, пояснення ефекту залишалось до 2017 року не вирішеним.

### 3. Модель, яка відповідає експериментальним дослідженням

Як відомо, електродинаміка [13–15] вивчає просторово неоднорідні системи з нерівномірним розподілом зарядів  $q$  і додатковими степенями вільності руху. Силкові показники залежать як від струму  $I$ , так і руху складових систем. Розглянемо [4] систему “направляючі–зона контакту–колесо чи кулька” в умовах, за яких колеса чи кульки радіуса  $r$ , обертаючись з кутовою швидкістю  $\Omega$  проти часової стрілки, котяться по направляючих вліво від точки дотику з швидкістю  $V_0$ :

$$V_0 = \Omega r. \quad (1)$$

Направляючі, колеса (кульки), вісь мають значний поперечний переріз по відношенню до площі контакту. В них опір набагато менший від опору контакту. Тому майже всю напругу прикладено до двох послідовно увімкнених контактів коліс, або чотирьох послідовно і  $n$  паралельно увімкнених контактів двох підшипників, де  $n$  – кількість кульок у підшипнику. Отже, слід проаналізувати процеси саме в зоні контактів.

#### 3.1. Зона нерухомого контакту

Ця зона (див. рис. 1) має область “ $a$ ” електромеханічного контакту, яку оточує область “ $b$ ” суто електричного контакту через повітряний, чи масляний зазор  $\delta$ .

В межах  $\pm x_1$  в зоні “ $a$ ” має місце механічний контакт з резистивним опором  $R_a$  і повітряний – з ємністю  $C_a$ . Опір  $R_a$  залежить від площі безпосереднього контакту поверхонь, питомого опору  $\rho_k$

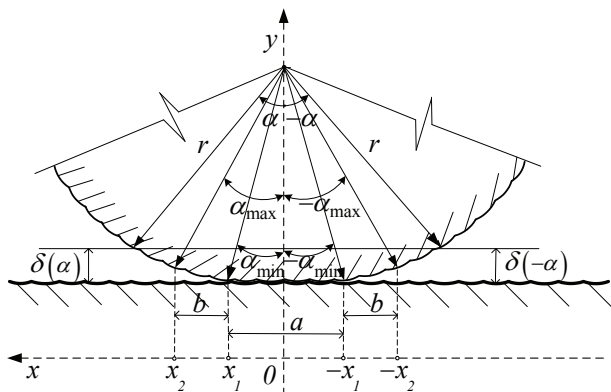


Рис. 1. Зона "a" – електромеханічного і "b" – електричного контактів [3]

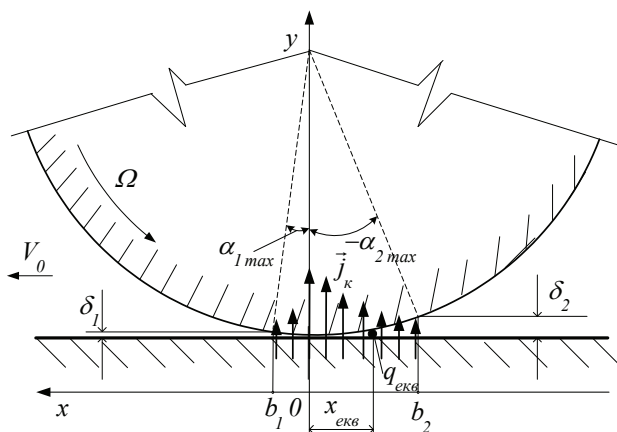


Рис. 2. Асиметричний розподіл густини  $j_k$  струму  $I$

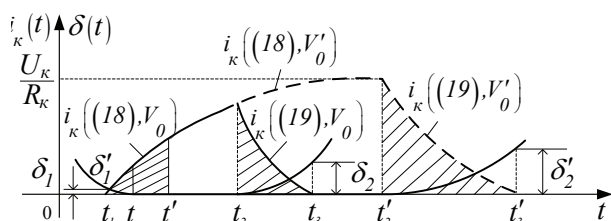


Рис. 3. Перехідні процеси (7), (8) в колі  $k$ -ї трубки для швидкостей  $V_0$  і  $V'_0$ , де  $V_0 > V'_0$  [3]

контактного середовища і середньої товщини  $l_k$  зони механічного контакту:

$$R_a \cong \frac{\rho_k l_k}{S_k} \tag{2}$$

Ємність  $C_a$  в зоні "a" з'являється внаслідок наявності мікрозазорів між поверхнями. Вона пропорційна частині  $S_a$  площі  $S_k$ , діелектричній прони-

кності  $\epsilon$  повітря чи мастила і зворотно пропорційна мікрозазору  $\delta(\alpha)$ . Ємність  $C_b$  в зоні "b" пропорційна площі  $S_b$  і зворотно пропорційна вже більшому зазору  $\delta(\alpha)$ . Напряга  $U_k$  (різниця потенціалів  $\phi_1$  і  $\phi_2$ ) на контакті, визначається опором (2) і струмом  $I$ :

$$U_k = \phi_1 - \phi_2 = I R_k, \tag{3}$$

де, внаслідок наявності двох або чотирьох (у підшипниковій парі) послідовно увімкнених контактів між ( $\pm$ ) полюсами джерела постійної напруги  $U$ , потенціали  $\phi_1$  і  $\phi_2$  будуть одного знака для чотирьох або  $\phi_2$  буде нульовим для двох послідовних контактів. У випадку змінної напруги ця закономірність теж зберігається. Для підшипників сумарна ємність становитиме приблизно долі, для коліс – одиниці пікофарад. Заряди  $q_1$  і  $q_2$  розташовані на контактуючих поверхнях становитимуть тисячні долі кулона:

$$q_1 = C \phi_1, \quad q_2 = C \phi_2. \tag{4}$$

### 3.2. Зона рухомого контакту

Електричний струм  $I$ , як потік електрики  $q$ , розподілено в зонах "a" і "b" (рис. 1) симетрично. Зона "b" обмежена координатами  $\pm x_2$ , за яких явище пробоя зазору  $\delta(\alpha)$  зникає. Ситуація змінюється (рис. 2), якщо колесо чи кулька обертаються зі швидкістю  $\Omega$ .

Подано потік  $I$  сумою електричних трубок густини  $j_k$  через перерізи  $\Delta S$  сумарної площі  $S_k$  контакту:

$$I = \int_{S_k} \mathbf{j}(S) dS \cong \sum_{k=1}^N j_k \Delta S. \tag{5}$$

Кожна  $k$ -та трубка струму  $I_k = j_k \Delta S$  утворюється в момент  $t_1$  виникнення розряду в зазорі  $\delta_1$  і зникає в момент  $t_3$  згасання розряду в зазорі  $\delta_2$  (рис. 3). Маючи кінцеву довжину і розташування у феромагнітному середовищі, трубка є  $L_k R_k$  – колом, де  $R_k$  і  $L_k$  – електричний опір і індуктивність. Якщо прийняти  $R_k$  і  $L_k$  сталими, то миттєве значення  $i_k(t)$  струму  $I_k$  визначається як рішення рівняння:

$$L_k \frac{di_k}{dt} + R_k i_k = U_k \tag{6}$$

для  $t_2 > t \geq t_1$

$$i_k(t) = \frac{U_k}{R_k} \left(1 - e^{-\frac{t-t_1}{\tau_k}}\right) \cdot 1(t-t_1); \quad (7)$$

для  $t_2 \leq t < t_3$

$$i_k(t) = \frac{U_k}{R_k} \left(1 - e^{-\frac{t_2-t_1}{\tau_k}}\right) e^{-\frac{t-t_2}{\tau_k}} \cdot 1(t-t_2), \quad (8)$$

де  $1(t-t_1)$ ,  $1(t-t_2)$  – функції Хевісайда,  $\tau_k = L_k/R_k$  – стала часу.

Струм  $i_k(t)$  за час  $(t_2 - t_1)$  експоненційно зростає і досягає усталеного значення  $\frac{U_k}{R_k}$  для швидкості  $V_0'$  або його частини  $i_k(t_2)$  для  $V_0$ . Після розмикання механічного контакту ( $t \geq t_2$  або  $t \geq t_2'$ ), струм експоненційно зменшується (8) до нуля. Напруженість  $\varepsilon_{\text{пр.}}$ , за якої виникає пробій зазору  $\delta$  з набігаючої сторони, дорівнює відношенню  $U_k$  до  $\delta_1$  (рис. 2). В момент  $t_1$  виникає струм (7). Заштрихована площа під кривою  $i_k(t)$  дорівнює заряду  $q'$ , що пройшов через зазор за час  $[t_1, t_3]$  для  $V_0$  або  $[t_1, t_3']$  для  $V_0'$ , де  $t_3$  – момент виникнення механічного контакту. На інтервалах  $[t_3, t_2]$  чи  $[t_3', t_2']$ , має місце електромеханічний контакт. В момент часу  $t_2$  чи  $t_2'$  механічний контакт розмикається і виникає струм (8). Він експоненційно зменшується до моменту  $t_3$  чи  $t_3'$ , за якого відношення  $U_k + L_k \left| \frac{di_k}{dt} \right|$  до зазору  $\delta_2$  чи  $\delta_2'$  зрівнюється з  $\varepsilon_{\text{пр.}}$ . Тобто  $\delta_2$  буде більшим за  $\delta_1$  (рис. 2, 3). Заштрихована площа під кривою (8) струму  $i_k(t)$  – це заряд  $q''$ , що пройшов за час  $[t_2, t_3]$  чи  $[t_2', t_3']$ . Як бачимо (рис. 3), він значно більший від заряду  $q'$  з набігаючої сторони.

Визначимо відстані  $b_1$  і  $b_2$ . Для  $b_1$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пр.}} &= \frac{U_k}{\delta_1} = \frac{U_k}{r(1 - \cos \alpha_1)} \cong \frac{U_k}{r\alpha_1^2} = \\ &= \frac{U_k}{r(\arcsin \frac{b_1}{r})^2} \cong \frac{U_k}{b_1^2} r, \end{aligned} \quad (9)$$

звідси

$$b_1 = \sqrt{\frac{U_k r}{\varepsilon_{\text{пр.}}}}; \quad (10)$$

для  $b_2$ :

$$\varepsilon_{\text{пр.}} = \frac{U_k + L_k \left| \frac{di_k(t_3)}{dt} \right|}{\delta_2} = \frac{U_k + L_k \left| \frac{di_k(t_3)}{dt} \right|}{b_2^2} r,$$

звідси

$$b_2 = \sqrt{\frac{U_k + L_k \left| \frac{di_k(t_3)}{dt} \right|}{\varepsilon_{\text{пр.}}}} r. \quad (11)$$

Чим більша  $V_0$ , тим більше модуль  $\frac{di_k}{dt}$  і, відповідно, більше відношення  $b_2$  до  $b_1$ , тобто, несиметрія. Напряга  $U_k$  на ємності і, відповідно, заряди  $q_1, q_2$  (4) не можуть змінюватись миттєво. Тому також відбувається зміщення зарядів  $q_1, q_2$  праворуч. Струми  $i_k$  трубок долають за скінчений час  $\Delta t_k$  повітряний зазор  $\delta_k$  зі швидкістю  $V_k$ , пропорційною напруженості  $\varepsilon_k$ :

$$V_k = \beta \varepsilon_k, \quad (12)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт рухомості заряджених частинок у зазорі  $\delta_k$ . Відповідно до розмірності ( $A \cdot c = \text{Кл}$ ), є припущення, що не тільки на поверхнях, а і в зазорі  $\delta_k$   $k$ -х трубок утворюється незбалансований (внаслідок динамічності процесу) заряд  $q_k$ :

$$q_k = i_k \Delta t_k = i_k \frac{\delta_k}{\beta \varepsilon_k} \cong i_k \frac{\delta_k^2}{U_k}. \quad (13)$$

Заряд  $q_\Sigma$  можна подати еквівалентним точковим зарядом  $q_e$ , розташовано праворуч від точки дотику на відстані  $x_{\text{екв.}}$  (рис. 2), де

$$x_{\text{екв.}} = \frac{\sum_{k=1}^N q_k x_k}{q_\Sigma}. \quad (14)$$

Взагалі, за розмірністю ( $\text{Кл} = A \cdot c$ ) сумарний заряд  $q_\Sigma$  можна також визначити через ширину контакту  $l_k$  ( $b_1 - b_2$ , рис. 2) і час  $t_k$  проходження її зі швидкістю  $V_0$ :

$$q_\Sigma = I t_k = I \frac{l_k}{V_0}. \quad (15)$$

Заряди, що утворилися в зоні контакту, рухаються відносно тіл колеса (кульки) і направляючої зі швидкістю  $V_0$ . Добуток сумарного заряду  $q_\Sigma$  на швидкість  $V_0$  можна подати як елемент  $I_y dx$  умовного струму  $I_y$ :

$$q_\Sigma V_0 \cong I_y dx, \quad (16)$$

де

$$I_y = \frac{q_\Sigma}{dt}, \quad V_0 = \frac{dx}{dt}.$$

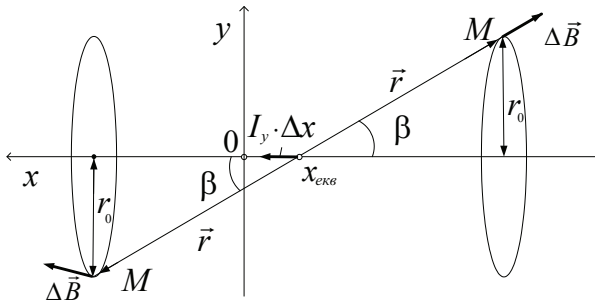


Рис. 4. Закон Біо–Савара–Лапласа [3]

За законом Біо–Савара–Лапласа елемент струму (16) в точці  $M$  повітряного простору утворює магнітне поле індукції  $dB$  (рис. 4):

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_y dx \sin \beta}{r^2}. \quad (17)$$

Для розрахунку всього поля  $\Phi(r, r_0)$  достатньо проінтегрувати (17) в межах  $\{0, \pm r_{\max}\}, \{0, r_{0\max}\}$ . Однак, якщо у цей простір внесено феромагнітні тіла колеса (кульки) і направляючої, то вони локально намагнітяться, збільшуючи в  $\mu_r$  разів магнітну індукцію  $B$  (в 1000–10000) і, маючи повітряний зазор  $\delta(\alpha)$ , з метою мінімізації втрат  $W_M$  магнітного поля [5], утворять механічні сили  $F_M$ :

$$F_M = \frac{dW_M}{d\delta}, \quad (18)$$

пропорційні квадрату струму  $I_y$ , зворотно пропорційні квадрату зазору  $\delta(\alpha)$  і які діють на зменшення  $\delta$ .

Однак зсув вправо координати  $x_{\text{екв}}$  (рис. 4 і рис. 2) за однакових зазорів  $\delta(\alpha)$  зліва і справа (на момент часу “0”) створює дещо кращі умови для намагнічування і притягування тіл на збігаючій (правій) стороні від точки дотику. Якби система, що рухається, мала нульову масу, то рух вліво миттєво б припинився. Асиметрія (рис. 2) вирівнялась би до симетрії (рис. 1). Але маємо для моменту  $t_0$  часу  $t$  взаємодію чотирьох моментів: момент  $M_1$ , що зменшує зазор  $\delta(\alpha(t))$  зліва від точки дотику; момент  $M_2$ , що бажає зменшити зазор справа; динамічний момент  $M_3$ , який утворюється від руху маси  $m$  і швидкістю  $V_0$  рухомої частини системи;  $M_4$  – момент навантаження. Якщо швидкість  $V_0 > 0$ , то справедлива нерівність:

$$M_1 + M_3 \geq M_2 + M_4. \quad (19)$$

Чим більше маса  $m$  і швидкість  $V_0$ , тим більший  $M_3$ , але чим більша  $V_0$ , тим більше  $x_{\text{екв}}$  і, відповідно,  $M_2$ . Для конкретного струму  $I$  існує максимальна швидкість  $V_{\max}$ , за якої зрівнюються усереднена за час  $\Delta t$  дія моментів  $M_1 + M_3$  і протидія моментів  $M_2 + M_4$ . Для кінцевого інтервалу  $\Delta t$  часу  $t$ , за якого нерівність (19) виконується завдяки наявності руху зі швидкістю  $V_0$ , на шляху  $\Delta x$ , усереднене за час  $\Delta t$  значення моменту  $M_1$  (внаслідок зменшення  $\delta(\alpha(t))$  зростає, а  $M_2$  – навпаки (внаслідок збільшення  $\delta(\alpha(t))$  – зменшиться) і створює рух. Несиметрія сил і моментів призводить до прискорення руху. Однак, за майже незмінної сталої часу  $\tau_k$  зростає несиметрія. Центр  $x_{\text{екв}}$  (14) розташування заряду  $q_{\text{екв}}$  зміщується праворуч від точки  $(0, 0)$  дотику. Це призводить до збільшення несиметрії дії сил і, відповідно, зменшення сумарного моменту. Якщо далі штучно збільшувати швидкість  $\Omega$ , то момент буде зменшуватись до нуля, а далі змінить знак, подібно до моменту однофазного асинхронного двигуна.

#### 4. Висновок

Подане в [11] пояснення ефекту Ж. Губера повністю відповідає експериментальним дослідженням. В ефекті Ж. Губера має місце утворення зарядів у зоні контакту, які рухаються відносно феромагнітних тіл, нерівномірно локально намагнічують колеса (кульки) і направляючі. Останні, притягаючись з більшою енергією з набігаючої сторони, утворюють додатковий до динамічного моменту  $M_3$  обертальний рух. Збільшення струму  $I$  збільшує заряди і момент. Збільшення швидкості збільшує зсув праворуч від точки дотику координати  $x_{\text{екв}}$  заряду  $q_{\text{екв}}$ , що призводить до зменшення моменту. Іншими словами, система (на відміну від двигуна Серла [8]) має властивість самобалансування. Намагнічування може відбутися як від сталого, так і синусоїдного струму, оскільки сила  $F_M$  (18) залежить від його квадрата. Необхідною умовою несиметрії є рух, який забезпечує умову (19). На збігаючій стороні контакту за зоною “b” (рис. 1) відбувається розмагнічування феромагнетиків і поступове зникнення надлишкових поверхневих зарядів. Ефект збільшується, якщо повітряний зазор з  $\epsilon_0$  замінити масляним з  $\epsilon \gg \epsilon_0$ .

Автори щиро вдячні вченим-дослідникам ефекту Ж. Губера. Саме завдяки результатам їх екс-

периментів вдалося отримати фізико-математичну модель даного ефекту. Становлять інтерес подальші експериментальні дослідження ефекту на великих швидкостях  $\Omega$  з метою перевірки можливості існування рекуперативного режиму, оптимізація конструкції двигунів Ж. Губера і Косирева–Мільроя.

1. Л. Льюнг. *Идентификация систем*. Под ред. Я.З. Цыпкина (Наука. Гл. ред. физ.-мост. лит., 1991).
2. Р. Фейман. *Характер физических законов* (Наука, 1987), с. 33–34.
3. A.M. Silvestrov, D.K. Zimenkov. Interaction of the laws of electrodynamics in the Huber effect. *EUREKA. Physics and Engineering* № 3, 12 (2017).
4. Р. Калман, П. Фалби, М. Орбиб. *Очерки по математической теории систем* (Мир, 1971).
5. К.М. Поливанов, Н.В. Татарина, А.В. Нетушил. Электромеханический эффект Губера. *Электричество* № 8, 72 (1973).
6. В.В. Кузьмин, В.С. Шпатенко. О природе появления вращающегося момента в двигателе Косырева–Мильроя. *Вісник КДРУ ім. Остроградського* № 3, 41 (2008).
7. А.Н. Сильвестров, Д.К. Зименков. О природе эффекта Губера. *Вісник КДРУ ім. Остроградського* № 4, 33 (2010).
8. П. Демин. Эффект Губера и летающие тарелки. *Наука и жизнь* № 7, 21 (1991).
9. С.С. Воронков. Электродинамические силы Николаева [<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/arts>].
10. А.В. Нетушил. Изобретение Дж. Серла, как развитие эффекта Губера. *Электричество* № 4, 50 (1994).
11. В.А. Эткин. Термодинамический вывод уравнений Максвелла [<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7628.html>], 07.06.2004.
12. М.И. Грамм. Принцип минимума и возможные объяснения эффекта Губера. *Электричество* № 12, 57 (2002).
13. Д.И. Пеннер, В.А. Угаров. *Электродинамика и специальная теория относительности* (Просвещение, 1980).
14. А.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Теоретическая физика, т. 8: Электродинамика сплошных сред* (Наука, 1982).
15. Дж.К. Максвелл. *Избранные сочинения по теории электромагнитного поля* (Гостехиздат, 1954).

Одержано 26.10.17

A.M. Silvestrov, D.K. Zimenkov

ANALYSIS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE HUBER EFFECT

S u m m a r y

The history of theoretical and experimental researches of a physical phenomenon that emerges in moving wheel or bearing pairs, when an electric current flows through the contacts between the wheels or balls and their guides (the Huber effect) has been reviewed.