

ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОГО ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНОГО ДВИГУНА, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ ФОРМОВКИ АВТОМОБІЛЬНИХ КУЗОВІВ

В.Ф. Болюх, професор, д.т.н., М.О. Рассоха, аспірант, НТУ «ХПІ»

***Анотація.** Описано будову та принцип дії ударного індукційно-динамічного двигуна, призначеного для формовки автомобільних кузовів. Запропоновано методика експериментального визначення основних робочих характеристик привода. Результати експериментів порівняні з даними, обчисленими за допомогою математичної моделі.*

***Ключові слова:** ударний індукційно-динамічний двигун, методика експерименту, експериментальні дослідження, ємнісний накопичувач.*

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОГО ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ФОРМОВКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КУЗОВОВ

В.Ф. Болюх, профессор, д.т.н., М.А. Рассоха, аспирант, НТУ «ХПИ»

***Аннотация.** Описано устройство и принцип действия ударного индукционно-динамического двигателя, предназначенного для формовки автомобильных кузовов. Предложена методика экспериментального определения основных рабочих характеристик двигателя. Проведено сравнение результатов эксперимента и данных, рассчитанных с помощью математической модели.*

***Ключевые слова:** ударный индукционно-динамический двигатель, методика эксперимента, экспериментальные исследования, емкостной накопитель.*

RESEARCH OF THE IMPACT INDUCTIVE ELECTRIC MOTOR FOR CAR METAL SURFACE TREATMENT

V. Bolukh, professor, dr. eng. sc., M. Rassokha, post graduate student, NTU “KhPI”

***Abstract.** The structure and work principle of impact inductive electric motor for car metal surface treatment are described. Experiment research methods of such equipments are proposed. Experiment results and mathematical model numerical solutions are compared.*

***Key words:** impact inductive dynamic motor, experimental technique, experimental investigation, capacitive storage.*

Вступ

Ударні індукційно-динамічні двигуни (УІДД) з ємнісними накопичувачами енергії здатні створювати потужні силові імпульси з необхідними параметрами і широким діапазоном енергій. Це дозволяє використовувати їх як сучасні електромагнітні технології форму-

вання, перфорації нових та рихтування пошкоджених автомобільних кузовів.

Аналіз публікацій

Однією з проблем, що виникає при застосуванні УІДД, є порівняно низький ККД, що пояснюється неузгодженістю імпульсних

електричних, магнітних, механічних та теплових процесів [1]. На основі математичних моделей, що будуються на базі системи диференціальних рівнянь, які описують основні процеси в УІДД та взаємозв'язок між ними, можна оптимізувати параметри і збільшити ККД [2]. Але такі теоретичні результати можуть достатньо суттєво відрізнитись від експериментальних випробувань.

Мета і постановка задачі

Метою цієї роботи є розробка методики експериментальних досліджень УІДД та порівняння отриманих результатів з розрахунковими даними. Інтегральним показником УІДД може виступати швидкість якоря з ударним елементом, що визначає кінетичну енергію, а отже і ступінь впливу на формовану поверхню автомобільного кузова. Швидкість якоря є кінцевим результатом чисельних розрахунків за математичною моделлю, отже добра кореляція обчислених та експериментально отриманих значень цієї величини має свідчити про адекватність застосованої моделі. Крім того, проведені експерименти самі по собі містять цінну інформацію щодо робочих характеристик УІДД за різних умов.

Експериментальні дослідження

На рис. 1, а зображена схема УІДД з магнітним полем навколо нього в момент максимальної електродинамічної сили. Лінійний імпульсний електродвигун містить нерухомий багатовитковий дисковий індуктор 1, що прикріплений до неметалевої пластини 4 і збуджується аперіодичним імпульсом при підключенні до ємнісного накопичувача, та масивний мідний якір 2, до якого приєднаний ударний сталевий елемент 3. Пружина 5 забезпечує повернення якоря 2 у вихідне положення до тісного контакту з індуктором 1 до і після робочого циклу при будь-якому просторовому положенні електродвигуна. Якір забезпечує швидке переміщення ударного елемента 3 до взаємодії з упорною пластинною 6. Неметалева (гетинаксова) пластина кріпиться між двома масивними сталевими плитами за допомогою опорних штирів бойком догори (рис. 1, б). Верхня плита виконує роль упорної пластини. До неї приєднаний п'єзоелектричний вібровимірювальний перетворювач ДН-4-М1, який перетворює механічні коливання пластини в

електричні сигнали і передає їх до вимірювача шуму та вібрації ВШВ-003.

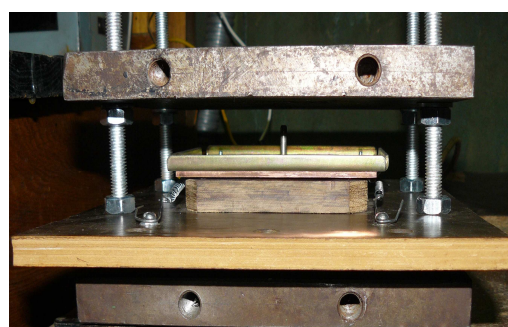
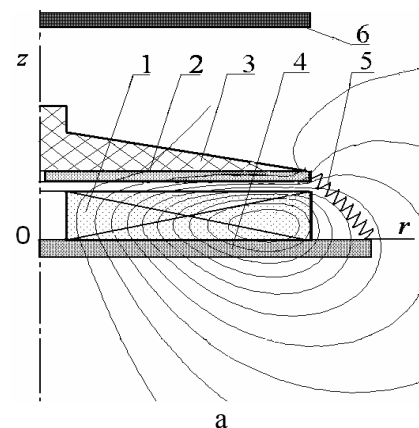


Рис. 1. Ударний індукційно-динамічний двигун: а – схема; б – експериментальна установка

Оброблений пристроєм сигнал виводиться на екран цифрового осцилографа RIGOL DS 522M, що одночасно з вібрацією реєструє й імпульс струму в індукторі. Параметри УІДД представлені в [3]. На рис. 2 показані форми аперіодичного струму в індукторі (канал 1) та віброприскорення (канал 2) за наступних початкових умов для УІДД: ємність накопичувача $C = 4000$ мкФ, зарядна напруга $U_0 = 200$ В, відстань до упору $Z_{end} = 10$ мм.

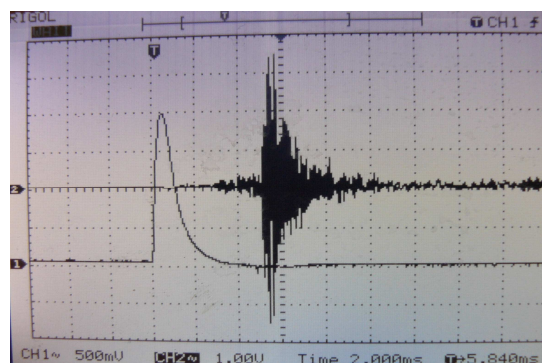


Рис. 2. Аперіодичний імпульс струму (канал 1) та віброприскорення (канал 2)

Час затримки $t_{\text{зат}}$ від початку електромагнітного імпульсу (струму) до початку реєстрації вібраційних процесів характеризує тривалість проходження якорем наперед заданої відстані до упору Z_{end} . Знаючи $t_{\text{зат}}$ і Z_{end} , визначаємо середню швидкість руху якоря з бойком $V_{\text{сер}}$ на даному інтервалі. При проведенні досліджень змінювались ємність батареї конденсаторів C , початкова зарядна напруга U_0 , відстань до упору Z_{end} . Теоретичний розрахунок параметрів та характеристик УІДД проводився за допомогою математичної моделі [3]. На рис. 3 наведені експериментальні (жирні лінії) та розраховані (тонкі лінії) середні швидкості якоря $V_{\text{сер}}$, з якою він проходить відстань до упору Z_{end} за різних U_0 . Ємність конденсаторів фіксована і становить $C=2850$ мкФ; додатковий опір у колі індуктора (опір дротів, діодів) $R_{\text{дод}}=0,08$ Ом.

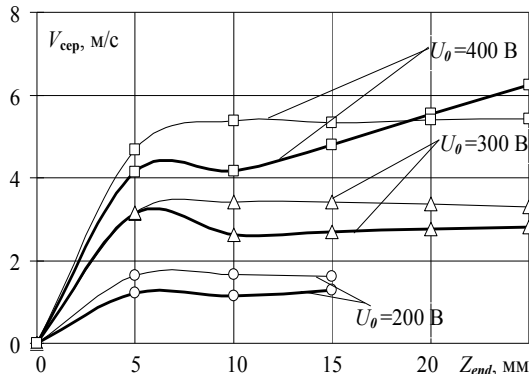


Рис. 3. Середня швидкість якоря за різних U_0

На рис. 4 аналогічно до попередньої ілюстрації наведені експериментально визначені (жирні лінії) та розраховані (тонкі лінії) середні швидкості якоря $V_{\text{сер}}$.

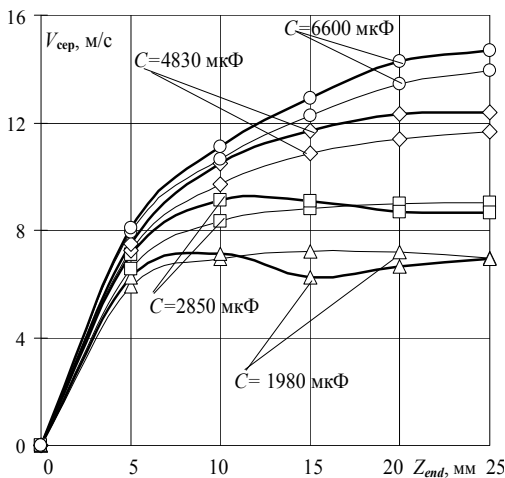


Рис. 4. Середня швидкість якоря за різних C

В цьому випадку фіксованою є зарядна напруга конденсаторів $U_0 = 400$ В, змінюється ж їх ємність C . Постає питання, наскільки визначена середня швидкість на інтервалі корелює з реальною (миттєвою) швидкістю якоря V_{real} . На рис. 5 показана обчислена за допомогою математичної моделі V_{real} (пунктирна лінія) має дещо інший характер, ніж $V_{\text{сер}}$, експериментальна (жирна лінія) чи розрахована (тонка лінія). Дані наведені для випадку з $U_0 = 400$ В; $C=2850$ мкФ. Оскільки для середньої швидкості розрахунок добре узгоджується з експериментом, ми можемо припустити, що і обчислена миттєва швидкість відповідає дійсності.

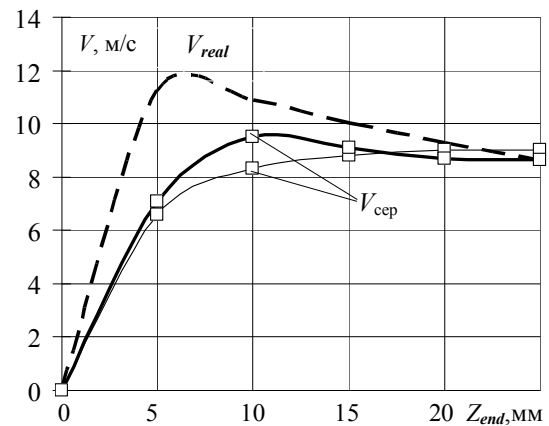


Рис. 5. Порівняння експериментального визначення середньої швидкості (жирна лінія)

Для остаточного визначення характеру миттєвої швидкості було проведено досліди з використанням тензодатчиків. Вони реєструють зусилля деформації упорної пластини $F(t)$ та час удару $t_{\text{уд}}$. Проінтегрувавши $F(t)$ впродовж часу удару $t_{\text{уд}}$, отримаємо ударний імпульс сили, що прямо пропорційний швидкості V якоря в момент удару

$$FI_{\text{exp}} = \int_0^{t_{\text{уд}}} F(t) dt, \quad (1)$$

$$FI = mV = K_{\text{imp}} \int_0^{t_{\text{уд}}} F(t) dt = K_{\text{imp}} FI_{\text{exp}}, \quad (2)$$

де m – маса якоря й ударного елемента; K_{imp} – коефіцієнт пропорційності.

Ударний імпульс сили, визначений за формулою (1), пропорційний кількості руху якоря mV , але менший за нього, оскільки енергія

руху якоря спрямовується не лише на деформацію пластини, яку реєструють тензодатчики, відбувається деформація ударного елемента, і частина енергії розсіюється. K_{imp} пов'язує ці два параметри. Таким чином, можемо порівнювати дві величини: імпульс сили, обчислений за експериментально визначеними зусиллями деформації, та імпульс сили, обрахований через миттєву швидкість якорю. На рис. 6 наведено подібне порівняння для різних відстаней до упору Z_{end} та зарядних напруг U_0 при $C=2850$ мкФ. Характер імпульсу сили, обчисленого за експериментом з тензодатчиками, відображений жирними лініями; тонкі лінії позначають імпульс сили, розрахований через миттєву швидкість. Ці величини добре узгоджуються.

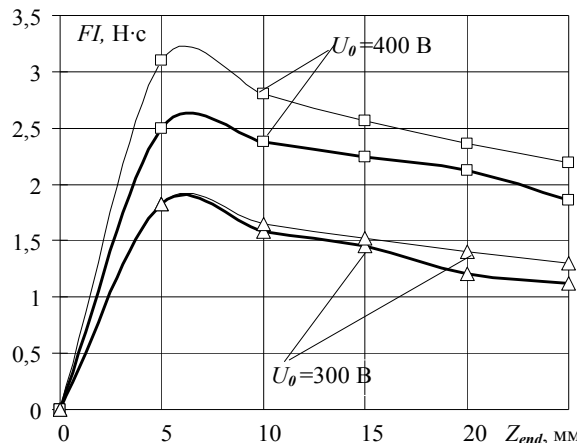


Рис. 6. Імпульс сили якоря за різних U_0 якоря

Отже, можемо говорити про адекватність розрахованої миттєвої швидкості за допомогою математичної моделі. Обчислення миттєвої швидкості якоря можна проводити на основі експериментально отриманої $V_{сер}$, по-

множивши її на коефіцієнт пропорційності між $V_{сер}$ та V_{real} , визначеними розрахунково.

Висновки

1. Запропоновано методику експериментальних досліджень параметрів УІДД, таких як швидкість якоря та ударний імпульс.
2. Показано характер зміни швидкості якоря при зростанні ємності і зарядної напруги конденсаторів у схемі живлення УІДД.
3. Доведено адекватність математичної моделі в межах досліджених енергій ємнісних накопичувачів.

Література

1. Тютькин В.А. Магнитно-импульсный способ разрушения сводов и очистки технологического оборудования от налипших материалов // Электротехника. – 2002. – № 11. – С. 24–28.
2. Болюх В.Ф., Данько В.Г. Лінійні електро-механічні перетворювачі імпульсної дії. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – 260 с.
3. Болюх В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукин И.С. Синтез параметров высокоэффективного электромеханического преобразователя ударного действия // Техническая электродинамика. Тем. выпуск: Проблемы современной электротехники. – 2008. – Ч. 2. – С. 63–68.

Рецензент: В.І. Клименко, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 21 серпня 2009 р.