

УДК 621.313.323

## Експериментальне дослідження характеристик лінійної машини вібраційної дії в генераторному режимі

Роман Бондар

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, Україна, 03037  
rpbondar@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0198-5548

Отримано 12.11.2018; прийнято 20.12.2018

DOI: 10.31493/gbdmm1892.0501

**Анотація.** Велике значення під час проектування та виготовлення пристроїв з лінійними машинами (ЛМ) відводиться побудові відповідних математичних моделей. Будь-яка модель має обмеження й функціонує в межах прийнятих припущень, що відповідають меті моделювання. З метою спрощення розрахункових рівнянь часто нехтують нелінійними властивостями феромагнітних матеріалів магнітопроводів, неінерційністю в часі параметрів машини, залежністю останніх від струму, частоти або температури, впливом вихрових струмів, гістерезису тощо.

Найбільш надійним способом перевірки розробленої моделі є проведення експериментальних досліджень реально існуючого прототипу пристрою в різних робочих режимах, зокрема в режимі генератора. Під час таких досліджень можна оцінити вплив механічних, електромагнітних чи теплових процесів, що не враховані в математичній моделі. Достовірність отриманих результатів значно залежить від досконалості обладнання, вибору експериментальних методик, точності вимірювальних приладів.

На відміну від традиційних обертових електричних машин, для яких розроблено різноманітне випробувальне й навантажувальне обладнання, для машин вібраційної дії такий досвід поки що відсутній. Тому актуальним лишається питання створення дослідних стендів для отримання електромеханічних характеристик та визначення параметрів ЛМ.

Метою роботи є розробка дослідного стенду для випробувань лінійних машин вібраційної дії в генераторному режимі роботи та проведення експериментальних досліджень характе-

ристик дослідного зразка магнітоелектричної лінійної машини згідно представлених методик.

**Ключові слова:** дослідний стенд, електромеханічні характеристики, лінійна машина, режим генератора.

### ВСТУП

Робочі процеси багатьох машин і механізмів передбачають використання вібраційного руху робочого органа. Лінійні машини досить широко використовуються у якості приводів компресорів, насосів, виконавчих механізмів, вібраторів, електроінструменту [1] тощо. На сьогоднішній день вони є альтернативою традиційним приводам на основі обертових машин з передачами, що перетворюють обертальний рух в прямолінійний. Лінійні електричні генератори використовують в силових установках гібридних автомобілів [2], для перетворення енергії морських хвиль [3] та інших джерел відновлювальної енергії. До переваг лінійних машин відносять відсутність механічних передач, низький рівень шуму, високу надійність та покращену керованість.

Характеристики ЛМ вібраційної дії можна розділити на статичні, квазістатичні та динамічні. До статичних характеристик відносять тягові, навантажувальні, енергетичні (потужність, ККД, амплітуда коливань, коефіцієнт потужності), теплові. До квазістатичних відносять миттєві електромеханічні процеси машини в усталених режимах

роботи. В якості динамічних характеристик необхідно досліджувати перехідні електро-механічні процеси під час зміни режиму роботи машини чи навантаження.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛМ В РЕЖИМІ ГЕНЕРАТОРА

Дослідженням характеристик лінійних машин за допомогою розроблених стендів та методик присвячено роботи [4-7].

Для випробувань машини в режимі генератора до її якоря прикладають періодичну силу. Джерелом останньої в більшості випадків є обертовий двигун з кривошипно-шатунним механізмом [7] або інша вібраційна машина [8, 9]. Перевагою першого способу є можливість незалежної зміни частоти й амплітуди коливань та можливість утворення значних зусиль. Однак, внаслідок нелінійної механічної характеристики приводу, люфтів в механічній передачі та змінного напрямку навантаження, забезпечити гармонічний характер сили складно. Спотворення форми коливань вносить відповідні похибки до експериментальних характеристик.

Приведення в рух дослідної машини за допомогою іншого вібраційного пристрою позбавлено цього недоліку, оскільки відсутня механічна передача (якорі обох машин жорстко з'єднуються між собою). Але через те, що лінійні вібраційні машини чутливі до робочої частоти, забезпечити значний діапазон регулювання швидкостей на різних частотах неможливо (внаслідок перевантажень). Тому методику та тип обладнання доцільно обирати в залежності від мети досліджень.

Під час випробувань ЛМ в режимі генератора виконують дослідження в режимі холостого ходу, а також в режимі навантаження. В останньому випадку до обмотки машини приєднується навантажувальний опір, що дає можливість отримати зовнішні характеристики.

Для отримання характеристик за умови фіксованого значення частоти, більш зручним виявляється привід дослідної машини від іншого лінійного двигуна. Будову стенда для такого режиму показано на Рис. 1.

Якір дослідної машини 1 жорстко з'єднується з якорем привідного лінійного двигуна 2. Останній під час досліду живиться від джерела з регульованою напругою. Частота джерела є фіксованою (в околиці частоти механічного резонансу системи), а швидкість змінюється шляхом зміни амплітуди коливань, яка залежить від напруги джерела живлення привідного двигуна. Також стенд обладнаний акселерометром, що кріпиться до якоря дослідної машини.

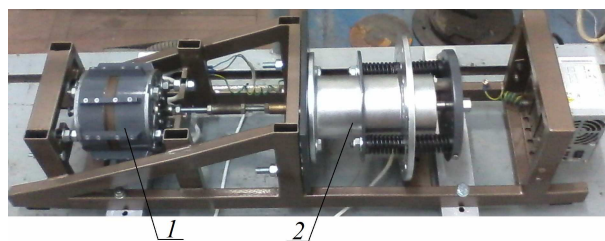


Рис. 1. Зовнішній вигляд дослідного стенду

Fig.1. Design of the experimental setup

Сигнали механічних та електричних величин вимірюються і реєструються за допомогою багатоканального модуля АЦП з подальшою передачею даних на комп'ютер та обробкою результатів вимірів.

Як дослідна, так і привідна машини мають циліндричну конфігурацію. Привідна машина має беззубцевий статор з двома катушками, постійні магніти на якорі та пружну підвіску [5]. Статор дослідної машини (Рис. 2) містить корпус 1, осердя з двома феромагнітними полюсами 2, між якими розміщена обмотка 3. Для покращення питомих силових показників в магнітопроводі статора застосовано постійний магніт 4 торіодної форми з осьовим напрямком намагнічування. Електромагнітна сила машини визначається силою та напрямком струму в обмотці, а також положенням феромагнітного якоря 5 відносно статора. Полюси статора та якір виконані суцільними та мають радіальні розрізи з метою зменшення вихрових струмів.

Конструктивні параметри дослідної та приводної машин наведено в Табл. 1.

Лінійна привідна машина має забезпечувати необхідне значення робочого ходу та потужності. Для визначення останньої мо-

жна використати вираз для електромагнітної потужності.

У даному випадку електромагнітна сила дослідної машини представлена двома складовими. Одна зумовлена протіканням струму в обмотці, інша – наявністю сили зчеплення між зубцями статора та якоря. Остання має місце за відсутності струму в обмотці.

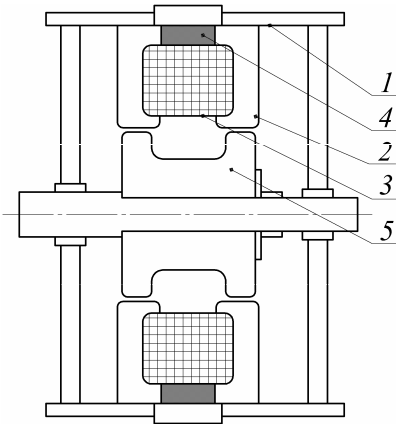


Рис. 2. Будова дослідної машини

Fig. 2. Arrangement of the machine for the testing

Як свідчать попередні дослідження статичних тягових характеристик машини в межах робочого ходу якоря  $l_s$  залежність електромагнітної сили від переміщення є практично лінійною, й може бути представлена виразом

$$F_e = K_{Fe} i_l \frac{2x_a}{l_s} + F_{cog} \frac{2x_a}{l_s}, \quad (1)$$

де  $K_{Fe}$  – коефіцієнт електромагнітної сили;  $i_l$  – струм навантаження;  $x_a$  – поточна координата якоря;  $F_{cog}$  – максимальне значення сили зчеплення, що відповідає положенням якоря  $\pm l_s/2$ .

У виразі (1) прийнято, що координата  $x_a = 0$  відповідає положенню, коли полюси якоря розміщуються навпроти полюсів статора й електромагнітна сила дорівнює нулю (положення зображене на Рис. 2).

Для визначення електромагнітної потужності використовуватимемо наступне рівняння:

$$P_e = \frac{1}{T} \int_0^T F_e v_a dt,$$

де  $v_a$  – швидкість якоря.

Врахуємо, що коливання відбуваються відносно положення, в якому полюси якоря дослідної машини розміщуються навпроти полюсів статора. Тому напруга в режимі генератора, а отже і струм навантаження, матимуть частоту вдвічі більшу за частоту коливань  $\omega$  (це, зокрема, показано в [10]).

Таблиця 1. Конструктивні параметри дослідної та привідної машин

Table 1. The main technical parameters of the experimental and driving machines

Дослідна машина	Робоча амплітуда коливань		м	0,01	
	Фізичні параметри				
	Постійний магніт	матеріал		NdFeB (N42)	
		залишкова магнітна індукція		Тл	1,3
	Осердя	матеріал		Ст3	
	Обмотка	кількість витків		380	
		дріт		ПСД, Ø 1,12	
	Основні розміри				
	Повітряний проміжок		мм	0,7	
	Полюсна поділка		мм	36	
Габаритні розміри	діаметр		мм	160	
	довжина		мм	120	
Привідна машина	Статор				
	Магніто-провід	зовнішній діаметр		мм	89
		довжина		мм	165
	Котушки статора	зовнішній діаметр		мм	77
		внутрішній діаметр		мм	65
		перетин проводу		мм <sup>2</sup>	1,06
		кількість витків		-	300
	Полюсна поділка		мм	79	
	Якір				
	Постійний магніт	матеріал		NdFeB (N42)	
залишкова магнітна індукція		Тл	1,3		
Амплітуда коливань (робоча)		мм	10		

Будемо вважати, що струм можна представити синусоїдною функцією вигляду

$$i_l = I_{lm} \sin(2\omega t + \psi_{i_l}),$$

де  $I_{lm}$ ,  $\psi_{i_l}$  – амплітудне значення струму навантаження та його початкова фаза відповідно.

Тоді електромагнітна потужність дорівнює

$$P_e = \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{2K_{Fe}}{l_s} x_a i_l v_a + \frac{2F_{cog}}{l_s} x_a v_a \right) dt = \frac{\omega X_{am}^2 I_l K_{Fe}}{\sqrt{2} l_s} \cos \psi_{i_l}, \quad (2)$$

де  $x_a = X_{am} \sin \omega t$ ,  $v_a = \omega X_{am} \sin(\omega t + \pi/2)$  – переміщення та швидкість якоря відповідно;  $X_{am}$  – амплітуда коливань;  $I_l$  – діюче значення струму навантаження.

Для визначення струму та коефіцієнту потужності навантаження, що входять до виразу (2), розглянемо схему заміщення машини в режимі генератора (Рис. 3).

ЕРС, індуквана в обмотці, врівноважується падінням напруги на активному  $R_s$  та індуктивному  $X_s$  опорах обмотки, а також на зовнішньому навантажувальному опорі  $Z_l$ .

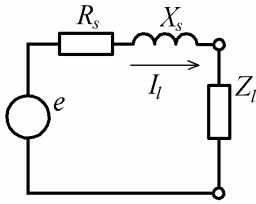


Рис. 3. Схема заміщення машини в режимі генератора

Fig. 3. Equivalent circuit of the machine in generator operation mode

У випадку, якщо до обмотки машини приєднано суто активний опір  $R_l$ , то відповідно до схеми заміщення, значення струму  $I_l$  та потужності  $P_l$  визначаються виразами

$$I_l = \frac{E}{\sqrt{(R_s + R_l)^2 + \omega_e^2 L_s^2}}; \quad (3)$$

$$P_l = I_l^2 (R_s + R_l) = \frac{E^2 (R_s + R_l)}{(R_s + R_l)^2 + \omega_e^2 L_s^2}, \quad (4)$$

де  $\omega_e$  – кутова частота генерованої напруги;  $L_s$  – індуктивність обмотки.

В рівняннях (3) та (4) прийнято, що ЕРС змінюється за синусоїдним законом, індуктивність обмотки не залежить від положення якоря, а потужність навантаження зумо-

влена як зовнішнім опором  $R_l$ , так і активним опором обмотки дослідної машини  $R_s$ .

Миттєве значення генерованої ЕРС може бути визначене згідно виразу

$$e = \frac{d\Psi_s}{dt} = \frac{d\Psi_s}{dx_a} v_a,$$

де  $\Psi_s$  – потокозчеплення обмотки.

З виразу (1) випливає, що в межах робочого ходу машини похідна від потокозчеплення за переміщенням дорівнює

$$\frac{d\Psi_s}{dx_a} = K_{Fe} \frac{2x_a}{l_s} = K_E \frac{2x_a}{l_s},$$

де  $K_E = K_{Fe}$  – коефіцієнт ЕРС.

Тоді миттєве значення ЕРС запишеться, як

$$e = K_E \frac{2x_a}{l_s} v_a = \frac{K_E \omega X_{am}^2}{l_s} \sin 2\omega t, \quad (5)$$

звідки видно, що амплітуда ЕРС лінійно залежить від частоти й пропорційна квадрату амплітуди коливань.

Діюче значення цієї ЕРС визначиться згідно з виразом

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left( \left( \frac{K_E \omega X_{am}^2}{l_s} \right)^2 \sin^2 2\omega t \right) dt} = \frac{K_E \omega X_{am}^2}{\sqrt{2} l_s}. \quad (6)$$

Якщо вважати, що в представленій на Рис. 3 схемі заміщення падіння напруги на індуктивному опорі обмотки  $2\omega L_s I_l$  набагато менше ніж ЕРС, то фаза останньої практично співпадатиме з фазою струму (в даному випадку початкова фаза ЕРС, як це впливає з (5), дорівнює нулю) й  $\psi_{i_l} \approx 0$ .

Такого режиму також можливо досягти приєднавши до обмотки машини активно-емнісне навантаження.

Як показано в [10], такий характер навантаження дозволяє підвищити потужність ЛМ порівняно із суто активним наванта-

женням. В цьому випадку маємо максимальну електромагнітну потужність і вираз (2) запишеться у вигляді

$$P_e = \frac{\omega X_{am}^2 I_l K_{Fe}}{\sqrt{2} I_s}$$

Експериментальна залежність вихідної напруги холостого ходу від швидкості якоря (середньоквадратичні значення) показана на Рис. 4, *a* трикутним маркером (частота коливань  $f = 23,9$  Гц). Швидкість якоря змінюється шляхом зміни амплітуди коливань, що досягається регулюванням напруги живлення привідного двигуна.

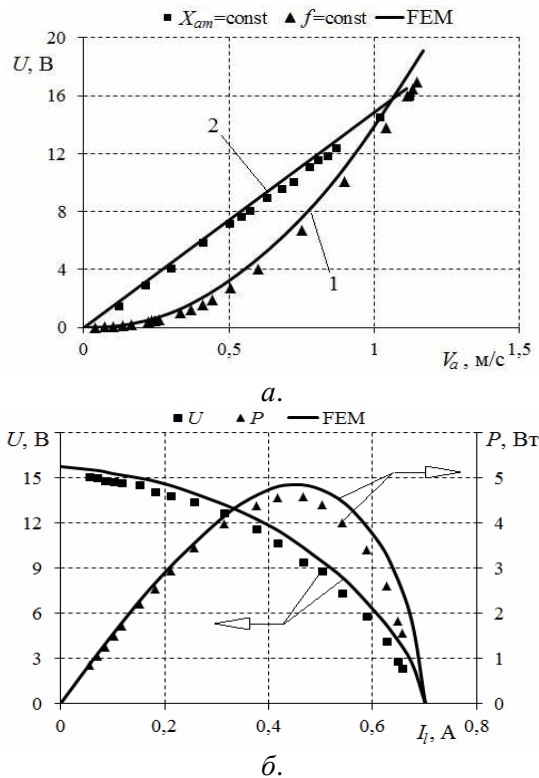


Рис. 4. Характеристики дослідної машини

Fig. 4. Characteristics of the tested machine

Для порівняння також показано результати чисельного розрахунку за допомогою польової моделі з використанням методу скінченних елементів (крива 1). Задача вирішується в осесиметричній постановці згідно рівнянь електромагнітного поля в часовій області. Розрахунок проводився за умови рухомої сітки в області якоря та синусо-

їдним характером руху із заданою амплітудою та частотою.

Як свідчать отримані дані, за умови  $f = \text{const}$  залежність напруги від швидкості є нелінійною, що також впливає з (6).

Внаслідок чітко виражених резонансних властивостей вібраційних машин привід з лінійним двигуном не здатний забезпечити стабільність амплітуди коливань дослідної машини в широкому діапазоні частоти. Конструкція стенда з обертовим двигуном та кривошипно-шатунним механізмом для перетворення обертового руху в зворотно-поступальний знімає це обмеження. Перевагою такої передачі є можливість підтримання стабільної амплітуди коливань дослідної машини під час зміни швидкості.

Залежність напруги холостого ходу від швидкості знімалась шляхом регулювання частоти обертання привідного двигуна й вимірювання генерованої напруги та швидкості якоря з подальшою передачею даних на комп'ютер та обробкою результатів вимірів.

Діюче значення вихідної напруги для цього випадку показано на Рис. 4, *a* чотирикутним маркером. Для порівняння також показано результати чисельного розрахунку за допомогою польової моделі (крива 2). Характеристика знімалась для сталого значення амплітуди  $X_{am} = 0,01$  м.

Як видно з отриманих даних, залежність напруги холостого ходу від швидкості є лінійною, що також впливає з виразу (6).

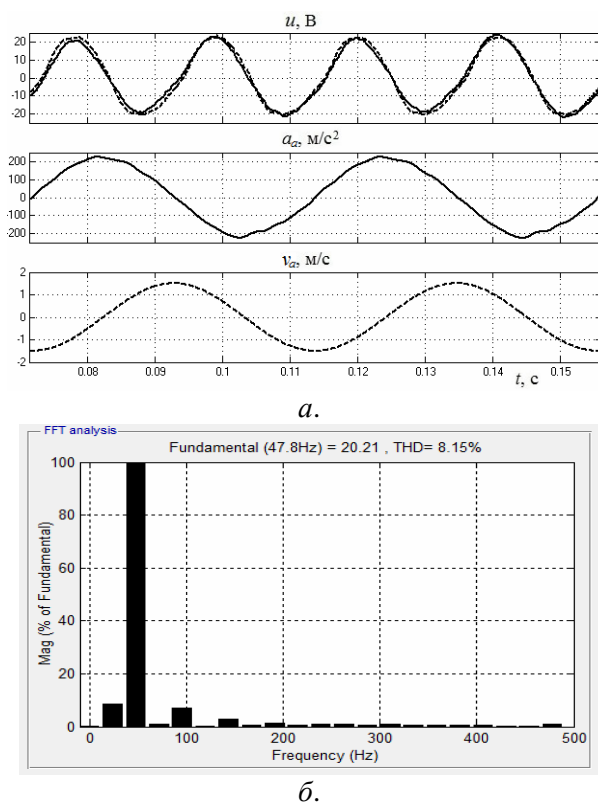
На Рис. 4, *б* представлено зовнішню характеристику машини  $U(I_l)$  для суто активного навантаження. Крива вихідної потужності  $P(I_l)$  отримана шляхом перерахунку згідно виразу  $P = I_l^2 R_l$  і має максимум, який відповідає оптимальному значенню опору  $R_l$ , що наближено був визначений в [10]. Маркером позначено дані експерименту, суцільними лініями – розрахунок за допомогою методу скінченних елементів.

На Рис. 5, *a* представлено осцилограми миттєвих значень напруги навантаження  $u$ , прискорення  $a_a$  та швидкості  $v_a$  якоря. Суцільні лінії відповідають даним, отриманим за результатами експерименту. Напруга та прискорення реєструвались за допомогою

багатоканального модуля АЦП з подальшою передачею даних на комп'ютер.

Штриховими лініями показано результати чисельного розрахунку напруги навантаження та швидкості  $v_a$  якоря за допомогою методу скінченних елементів.

Для проведення порівняння експериментальних та розрахованих значень обидва масиви даних передавались до програмного забезпечення Matlab, де проводилась їх синхронізація та візуалізація. Амплітуда коливань становить  $X_{am} = 0,01$  м, частота  $f = 23,9$  Гц, опір навантаження  $R_l = 170$  Ом.



**Рис. 5.** Осцилограми миттєвих процесів дослідної машини (а), спектр генерованої напруги (б) в режимі навантаження

**Fig.5.** Time record of voltage, acceleration and velocity (а) and spectrum (б) of the voltage

З наведених осцилограм видно, що нульові значення напруги відповідають моментам, коли переміщення дорівнює нулю (фази переміщення та прискорення відрізняються на  $180^\circ$ , а отже їх значення рівні нулю в тих самих точках), а також точкам, що відповідають нульовим значенням шви-

дкості. Тому крива вихідної напруги має подвоєну частоту відносно частоти коливань, причому форма генерованої напруги є близькою до синусоїдної, що ілюструє спектральний аналіз, результати якого подано на Рис. 5, б. В спектрі присутні незначна гармоніка частоти механічних коливань (23,9 Гц), яка становить 8,6% по відношенню до основної, а також друга та третя гармоніки зі значеннями відповідно 6,8%, 2,8%.

Наведені результати експериментальних досліджень свідчать про добре узгодження миттєвих електромагнітних процесів дослідної машини з даними розрахунку.

## ВИСНОВКИ

Наведена методика та конструкція дослідного стенду дозволяють проводити дослідження електромеханічних характеристик лінійних машин вібраційної дії в режимі генератора.

Проведене випробування дослідного зразка лінійної машини в режимі генератора свідчить про залежність характеристик від параметрів навантаження та режиму роботи. Вихідна напруга машини лінійно зростає зі збільшенням швидкості якоря коли амплітуда коливань є сталою, а за фіксованої частоти залежність є нелінійною.

Отримані за допомогою розробленого стенда результати експериментальних досліджень свідчать про добре узгодження як статичних, так і квазістатичних електромагнітних процесів дослідної машини з даними розрахунку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Boldea I., Syed A. Nasar.** Linear Electric Actuators and Generators. Cambridge University Press, 2005, 237 p.
2. **Cawthorne W. R., Famouri P., Chen J., Clarke N. N., McDaniel T. I., Atkinson R. J., Nandkumar S., Atkinson C. M., and Petreanu S.** Development of a linear alternator-engine for hybrid electric vehicle applications. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 48, no. 6, 1999, pp. 1797-1802.
3. **Baker N.** Linear Generators for Direct Drive Marine Renewable Energy Converters. A the-

- sis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD). University of Durham, 2003.
4. **Голенков Г. М., Пархоменко Д. І.** Електромеханічні тягові характеристики коаксіально-лінійного двигуна з постійними магнітами та магнітним підвісом // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 6. – С. 56-59.
  5. **Голенков Г.М., Аббасян Мохсен.** Электромеханические характеристики коаксиально-линейного двигателя с аксиальным и радиальным направлениями намагничивания постоянных магнитов // Технічна електродинаміка. – 2014. – №3. – С. 64-69.
  6. **Болюх В.Ф., Кочерга А.И., Олексенко С.В., Шукин И.С.** Методика экспериментальных исследований линейных импульсных электромеханических преобразователей // Електротехніка і електромеханіка. – 2017. – № 2. – С. 18-27.
  7. **Palomera-Arias Rogelio.** Passive electromagnetic damping device for motion control of building structures. A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD). Massachusetts Institute of Technology, 2005. 146p.
  8. **Babak Ebrahimi.** Development of Hybrid Electromagnetic Dampers for Vehicle Suspension Systems. A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD). Waterloo, Ontario, Canada, 2009. 172 p.
  9. **Seok Myeong Jang and Jang-Young Choi.** Analytical Prediction for Electromagnetic Characteristics of Tubular Linear Actuator with Halbach Array Using Transfer Relations // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2007. – vol. 2. – no. 2. – pp. 221-230.
  10. **Подольцев А.Д., Козырский В.В., Петренко А.В.** Анализ динамических процессов в однофазном магнитоэлектрическом линейном генераторе возвратно-поступательного движения // Технічна електродинаміка. – 2009. – №5. – С. 22-30.
  3. **Baker N., 2003.** Linear Generators for Direct Drive Marine Renewable Energy Converters. A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD), University of Durham.
  4. **Golenkov G. M., Parkhomenko D. I., 2014.** Elektromekhanichni tiahovi kharakterystyky koaksialno-liniinoho dvyhuna z postiinymy mahnitamy ta mahnitnym pidvisom [The electromechanical propulsion performance characteristics of tubular linear motor with permanent magnet bracket]. Tekhnichna elektrodynamika, no 6, 56-59.
  5. **Golenkov G.M., Abbasyan Mohsen, 2014.** Elektromekhanicheskiye kharakteristiki koaksialno-lineynogo dvigatelya s aksialnym i radialnym napravleniyami namagnichivaniya postoyannykh magnitov [Electromechanical characteristics of tubular linear motor with axial and radial direction of the permanent magnet magnetization]. Tekhnichna elektrodynamika, no. 3, 64-69.
  6. **Bolyukh V.F., Kocherga A.I., Olexsenko S.V., Schukin I.S., 2017.** Metodika eksperimentalnykh issledovaniy lineynykh impulsnykh elektromekhanicheskikh preobrazovateley [A technique of experimental investigations of linear impulse electromechanical converters.]. Elektrotehnika i elektromekhanika, no 2, 18-27.
  7. **Palomera-Arias Rogelio, 2005.** Passive electromagnetic damping device for motion control of building structures. A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD). Massachusetts Institute of Technology, 146.
  8. **Babak Ebrahimi, 2009.** Development of Hybrid Electromagnetic Dampers for Vehicle Suspension Systems. A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD). Waterloo, Ontario, Canada, 172.
  9. **Seok Myeong Jang and Jang-Young Choi, 2007.** Analytical Prediction for Electromagnetic Characteristics of Tubular Linear Actuator with Halbach Array Using Transfer Relations. Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 2, no. 2, 221-230.
  10. **Podoltsev A.D., Kozyirskiy V.V., Petrenko A.V., 2009.** Analiz dinamicheskikh protsessov v odnofaznom magnitoelektricheskom lineynom generatore vozvratno-postupatel'nogo dvizheniya [Analysis of dynamic processes in a single-phase electromagnetic linear generator of a reciprocal motion]. Tekhnichna elektrodynamika, no 5, 22-30.

## REFERENCES

1. **Boldea I., Syed A. Nasar., 2005.** Linear Electric Actuators and Generators. Cambridge University Press, 237.
2. **Cawthorne W. R., Famouri P., Chen J., Clarke N. N., McDaniel T. I., Atkinson R. J., Nandkumar S., Atkinson C. M., and Petreanu S., 1999.** Development of a linear alternator-engine for hybrid electric vehicle applications. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 48, no. 6, 1797-1802.



## **Experimental investigations of linear oscillatory machines characteristics in generator operating mode**

*Roman Bondar*

**Abstract.** The great importance during design and production of devices with linear machines is given to develop of the corresponding mathematical models. Any model has its restrictions. The model functions within the accepted assumptions which are corresponding to the modeling purpose. For the simplification of the calculation equations, the nonlinear properties of ferromagnetic materials of magnetic conductors often are neglected, as well as not inertance of parameters of the machine in time, their dependence from current, frequency or temperature, influence of Eddy currents, etc.

The most reliable way for validation of the developed model is carrying out experimental studies of a real prototype of the device. During such researches it is possible to estimate influence of mechanical, electromagnetic or thermal processes which are not considered in mathematical model.

Reliability of the received results considerably depends on quality of the equipment, a choice of experimental techniques, and the accuracy of measuring devices. For the testing of linear oscillatory machines, simultaneous registration of mechanical and electrical characteristics, as functions of time is essential.

Unlike traditional rotary electrical machines for which the different test and load equipment is developed, for linear oscillatory machines such experience is absent so far. Therefore the problem of creation of experimental setups for obtaining operation properties and determination of parameters of linear machines is important today.

The purpose of this work is development of the experimental setup for researches of linear oscillatory machines in generator operating modes and carrying out experimental studies of characteristics of the test specimen of magnetoelectric linear motor in according with the provided techniques.

**Key words:** experimental setup, electromechanical characteristics, generator operating mode, linear machine.