

УДК 621.313.33

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ  
КОАКСИАЛЬНО-ЛИНЕЙНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С АКСИАЛЬНЫМ И РАДИАЛЬНЫМ  
РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ЯКОРЕ**

**Г. М. Голенков, М. Аббасян**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
просп. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: mohsen12849@yahoo.com

Представлены результаты экспериментальных исследований распределения магнитной индукции в воздушном зазоре коаксиально-линейного синхронного двигателя возвратно-поступательного движения в пределах половины полюсного деления с аксиальным и радиальным расположением постоянных магнитов на якоре. Определены средние значения магнитной индукции в воздушном зазоре между индуктором и якорем этих двигателей, а также даны их сравнительные характеристики.

**Ключевые слова:** коаксиально-линейный синхронный двигатель, магнитная индукция, магнитопровод, вибропогружатель.

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ В ПОВІТРЯНОМУ ЗАЗОРІ  
КОАКСІАЛЬНО-ЛІНІЙНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА З АКСІАЛЬНИМ І РАДІАЛЬНИМ  
РОЗТАШУВАННЯМ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА ЯКОРІ**

**Г. М. Голенков, М. Аббасян**

Київський національний університет будівництва і архітектури  
просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: mohsen12849@yahoo.com

Надано результати експериментальних досліджень розподілу електромагнітної індукції у повітряному зазорі коаксиально-лінійного синхронного двигуна зворотньо-поступального руху в межах половини полюсного поділу з аксіальним та радіальним розташуванням постійних магнітів на якорі. Визначено середні значення магнітної індукції в повітряному зазорі між індуктором і якорем цих двигунів, а також дані їх порівняльні характеристики.

**Ключові слова:** коаксиально-лінійний синхронний двигун, електромагнітна індукція, магнітопровід, віброзанурювач.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Применение вибрационных машин в строительном производстве [1] и других технологических процессах, связанных с перемещением, уплотнением, разрушением и т.д., является актуальным. Чаще всего в качестве возбудителя колебаний рабочего органа используются асинхронные двигатели с дебалансными системами возмущающих усилий. Эти двигатели с дебалансным расположением возмущающих усилий имеют такие недостатки, как малая надежность работы вибраторов, большая энергоемкость, недостаточная эргономичность и автоматизация систем управления.

В работе [2] предложены вибраторы, приводом рабочего органа которых является коаксиально-линейный синхронный двигатель с постоянными магнитами (NdFeB N44 В=1,2Тл  $\phi 50 \times 20h14$  Китай), аксиально расположенными на якоре (КЛСД-ПМ-А) (рис. 1,а). Предложенная конструкция вибраторов КЛСД-ПМ-А позволяет частично исключить перечисленные недостатки существующих вибрационных машин.

В строительном производстве, в частности, при погружении свай, шпунтов и других строительных изделий в грунт, используют вибропогружатели мощностью от 30 до 155 кВт.

Мощность вибропогружателя КЛСД-ПМ-А установки для погружения свай вибростатическим способом составила 4,8 кВт. Проблемой является сложность изготовления вибраторов большой мощности из-за технологического процесса изготовления магнитов тороидального типа большого диаметра.

В данной работе исследуются вибраторы [2, 3], приводом рабочего органа которых является коаксиально-линейный синхронный двигатель с аксиальным КЛСД-ПМ-А и радиальным расположением постоянных магнитов на якоре (КЛСД-ПМ-Р) (рис. 1). Определены средние значения магнитной индукции в воздушном зазоре между индуктором и якорем этих двигателей, а также даны их сравнительные характеристики.

Конструктивная особенность КЛСД-ПМ-Р с радиальным расположением постоянных магнитов на якоре (рис. 1,б) позволяет увеличить мощность вибраторов и расширить их применение в различных технологических процессах, где используется вибротехника.

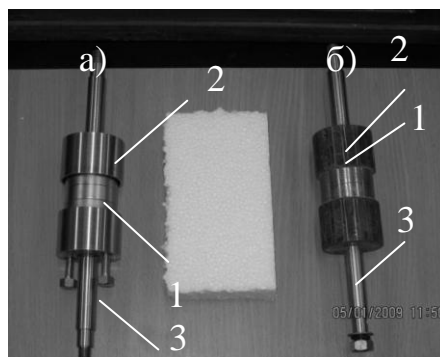


Рисунок 1 – Якорь вибровозбудителя КЛСД:  
а) КЛСД-ПМ-А; б) КЛСД-ПМ-Р

Якорь вибровозбудителя КЛСД-ПМ-А (рис. 1,а) и якорь вибровозбудителя КЛСД-ПМ-Р (рис. 1,б)

состоит из постоянных магнитов – 1, концентраторов магнитных силовых линий, изготовленных из стали (стали 3), – 2, металлического стержня (бронзы) – 3.

В работах [4] представлены математические модели, определяющие параметры электро механических характеристик КЛСД, однако недостаточно полно отображены результаты экспериментальных исследований распределения магнитной индукции в воздушном зазоре коаксиально-линейного синхронного двигателя как с аксиальным, так и с радиальным расположением постоянных магнитов на якоре. Не даны их сравнительные характеристики по распределению магнитной индукции в воздушном зазоре между индуктором и якорем исследуемых двигателей.

Целью данной работы является исследование распределения параметров магнитной индукции в воздушном зазоре коаксиально-линейного синхронного двигателя возвратно-поступательного движения с аксиальным и радиальным расположением постоянных магнитов на якоре, а также их сравнительные характеристики.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Для проведения экспериментальных исследований коаксиально-линейного синхронного двигателя возвратно-поступательного движения КЛСД-ПМ-А и КЛСД-ПМ-Р разработан стенд (рис. 2). Стенд включает коаксиально-линейный синхронный двигатель – 1, где статор (индуктор) – 2; якорь КЛСД – 3; измерительный прибор магнитной индукции (Ш1-8) – 4 со щупом (датчиком) – 5.

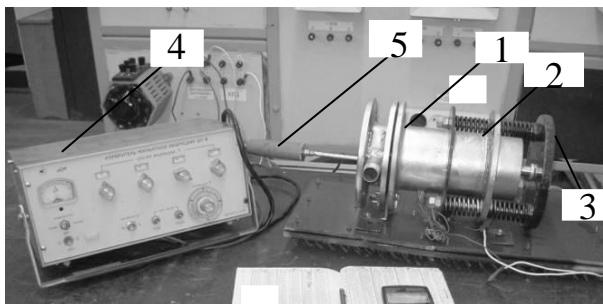


Рисунок 2 – Стенд для исследования коаксиально-линейного синхронного двигателя

Исследуемый коаксиально-линейный синхронный двигатель (рис. 2) имеет следующие конструктивные параметры: воздушный зазор между индуктором и якорем составляет 2 мм; немагнитный зазор – 7 мм; толщина магнитопровода индуктора – 10 мм; толщина токового слоя (обмоток) составляет 5 мм.

Магнитопровод КЛСД выполнен из стальной проволоки диаметром 1 мм и уложен поверх токового слоя индуктора толщиной 10 мм; длина активной части магнитопровода составляет 164 мм; активная длина якоря 112 мм; диаметр якоря 60 мм; масса постоянных магнитов составляет 0,51 кг.

Так как при работе КЛСД якорь совершает колебания в пределах полюсного деления, то измерение параметров магнитной индукции также осуществлялось в пределах полюсного деления.

Измерение параметров магнитной индукции проводилось в следующей последовательности. При помощи щупа измерительного прибора магнитной индукции измерения проводились с шагом  $\Delta x = 2,5$  мм активной

части индуктора. Эти измерения проводились при смещении якоря по координате X с шагом 1 мм по отношению к активной зоне индуктора КЛСД 10 мм.

На рис. 3,а представлено схематичное изображение коаксиально-линейного синхронного двигателя с аксиальным расположением постоянных магнитов на якоре, где индуктор – 1; магнитопровод индуктора – 2; обмотка индуктора (токовый слой) – 3; постоянные магниты – 4; концентраторы магнитных силовых линий – 5; якорь КЛСД-ПМ-А – 6.

На рис. 3,б изображено семейство характеристик распределения параметров магнитной индукции в воздушном зазоре двигателя  $B=f(x)$  в пределах изменения положения якоря по отношению к индуктору на величину половины полюсного деления (а – б).

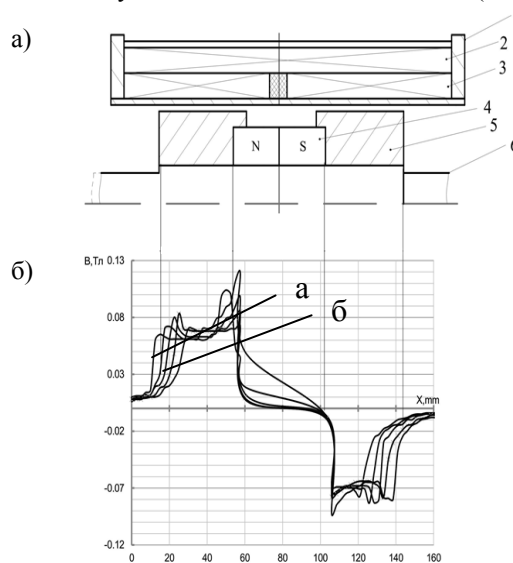


Рисунок 3 – Схематичное изображение коаксиально-линейного синхронного двигателя: а) – с аксиальным расположением постоянных магнитов на якоре; б) – характер распределения параметров магнитной индукции в воздушном зазоре двигателя

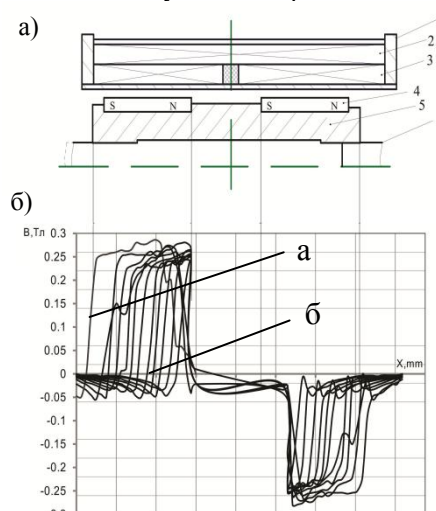


Рисунок 4 – Схематичное изображение коаксиально-линейного синхронного двигателя: а) – с радиальным расположением постоянных магнитов на якоре; б) – характер распределения параметров магнитной индукции в воздушном зазоре двигателя

На рис. 4,а представлено схематичне зображення коаксіально-лінійного синхронного двигача з радіальним розташуванням постійних магнітів на якорі, де індуктор – 1; магнітопровід індуктора – 2; обмотка індуктора (токовий слой) – 3; постійні магніти – 4; концентратори магнітних силових ліній – 5; якорь КЛСД-ПМ-Р – 6.

На рис. 4,б зображено сімейство характеристик розподілу параметрів магнітної індукції в повітряному зазорі двигача  $B=f(x)$  в межах зміни положення якоря по відношенню до індуктора на величину половини полюсного ділення (а – б).

По результатам дослідження сімейства характеристик розподілу параметрів магнітної індукції в зазорі КЛСД (рис. 3, 4) були побудовані графіки (рис. 5), де а – середнє значення магнітної індукції в зазорі КЛСД з радіальним розташуванням постійних магнітів на якорі; б – середнє значення магнітної індукції в зазорі КЛСД з аксіальним розташуванням постійних магнітів на якорі.

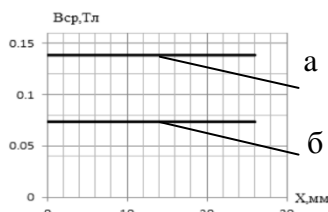


Рисунок 5 – Графік значень магнітної індукції

Середнє значення магнітної індукції визначається по формулі:

$$B_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{|B_n| + |B_{n+1}|}{2} \times \Delta x}{L}$$

де  $B_{cp}$  – середнє значення магнітної індукції, Тл;  $N$  – кількість виміряних значень параметрів індукції в зоні активної частини індуктора;  $B_n$  – значення

магнітної індукції в момент його вимірювання в заданній точці, Тл;  $L$  – довжина активної зони індуктора КЛСД.

**ВИВІДИ.** В результаті експериментальних досліджень по розподілу параметрів магнітної індукції в повітряному зазорі КЛСД з аксіальним і радіальним розташуванням постійних магнітів на якорі виявилось, що з радіальним розташуванням магнітів магнітна індукція в середньому на 40 % більше, ніж в разі з аксіальним розташуванням постійних магнітів на якорі.

Следовательно, при визначенні механічних характеристик, а саме тягового зусилля, більш ефективним двигачем є КЛСД з радіальним розташуванням постійних магнітів на якорі.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. – М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
2. Патент на корисну модель № 24757. Вибровозбудитель E02D7/10(2007.01).E02D7/18(2007.01). E02D7/20 (2007.01) / Богазинко М.В., Голєнков Г.М., Голубь В.П., Попков В.С., Пархоменко Д.И. Видано відповідно до закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" 10.07.2007, Бюл. № 10.
3. Патент на винах. № 93168. Лінійний електродвигун зворотньо-поступального руху, МПК (2011.01) H02K33/00 H02K41/025 / Богазинко М.В., Голєнков Г.М., Голубь В.П., Попков В.С. Видано відповідно до закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" 10.01.2011, Бюл. № 1.
4. Голєнков Г.М., Бондарь Р.П., Макогон С.А. и др. Моделирование работы электрического вибратора с коаксиально-линейным двигателем при разных законах регуляции // "Техническая электродинамика". Институт электродинамики НАН Украины. – К., 2007. – Вып. 2. – С. 54–59.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF DISTRIBUTION OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION IN AIR-GAP OF COAXIAL-LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR WITH AXIAL AND RADIAL LOCATION OF CONSTANT MAGNET ON KEEPER ARE PRESENTED

G. Golenkov, M. Abbasian

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA)  
 prosp. Povitroflotskyi, 31, Kyiv, 03680, Ukraine. E - mail: mohsen12849@yahoo.com

The results of experimental investigations of distribution of electromagnetic induction in air-gap of coaxial-linear synchronous motor with alternate/reciprocal motion within the limits of half of polar graduation with axial and radial location of constant magnet on keeper are presented. Determined the average values of the magnetic induction in the air gap between the inductor and the armature of the motor, and given their relative performance.

**Key words:** coaxially-linear synchronous motor, the magnetic induction, magnetic circuit, vibrator.

#### REFERENCES

1. Bauman V.A., Bykhovskiy I.I. *Vibratory equipment and processes in construction*. – M.: Vysshaya shkola, 1977. – 255 p. [in Russian]
2. Patent for utility model number 24757. Vibration exciter. E02D7/10(2007.01)E02D7/18 (2007.01). E02D7/20(2007.01) / Bohazynko M.V., Holenkov G.M., Golub V.P., Popkov V.S., Parkhomenko D.I. Issued under the law of Ukraine "On Protection of Rights to Inventions and Utility Models" 10.07.2007, Bull. № 10. [in Ukrainian]
3. Patent number 93168. Linear motor backward-forward movement, IPC (2011.01) H02K33/00 H02K41/025 / Bohazynko MV, Holenkov G.M., Golub V.P., Popkov V.S. Issued under the law of Ukraine "On Protection of Rights to Inventions and Utility Models" 10.01.2011, Bull. № 1. [in Ukrainian]
4. Golenkov G.M, Bondar R.P., Makogon S.A. and oth. Simulation of the electric vibrator with a coaxial-line engine with different laws of regulation // *Technical Electrodynamics*. Institute of Electrodynamics NASU. – K., 2007. – Iss. 2. – PP. 54–59. [in Russian]

Стаття надійшла 13.01.2012.  
 Рекомендовано до друку  
 к.т.н., доц. Прусом В.В.