

# ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.924

**Г. В. КРИВЯКИН**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;

**Е. С. РЕДЧЕНКО**, ассистент НТУ «ХПИ»;

**В. Л. БЕДНАРСКИЙ**, студент НТУ «ХПИ»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЯКОРЬ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Получены величины и распределение влияния сил, которые составляют суммарную электромагнитную силу, на разные поверхности якоря линейного двигателя.

**Ключевые слова:** электромагнитная сила, якорь, линейный двигатель.

**Введение.** Величины составляющих электромагнитной силы, действующих на различные поверхности якоря, существенно различаются, что обусловлено текущей координатой якоря и особенностями распределения МДС в коаксиальном линейном двигателе. Для создания линейного двигателя с тяговой характеристикой, удовлетворяющей условиям работы в составе системы наклона кузова, необходимо знать количественные соотношения составляющих электромагнитной силы, действующих на якорь. Определению этих соотношений и посвящена данная статья.

**Математическая модель и метод расчета.** Процессы электромеханического преобразования энергии, происходящие в линейном двигателе [1], описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} di/dt = (U - i \cdot R - K_3 \cdot V_T)/L; \\ dx/dt = V_T(t); \\ m \cdot dV_T/dt = F_{ЭМ} - F_H. \end{cases}$$

где  $L = F_{ЭМ}(i, x, V_T)$ ,  $K_3 = F_{ЭМ}(i, x, V_T)$ ,  $m$  – масса элементов привода и кузова вагона, приведенная к якорю двигателя,  $F_H$  – суммарная нагрузка, приведенная к якорю двигателя,  $F_{ЭМ}$  – электромагнитная сила, развиваемая линейным двигателем.

Энергетические и силовые показатели линейного двигателя определяются с помощью программного комплекса *FEMM* [2], предназначенного для расчета двухмерных магнитных полей методом конечных элементов.

**Анализ полученных результатов.** В качестве базовой модели двигателя принят коаксиальный линейный двигатель электромагнитного типа [3], устройство которого показано на рис. 1.

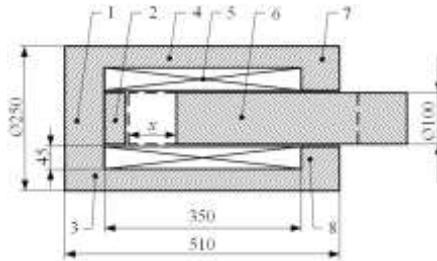


Рис. 1 – Схема базовой модели линейного двигателя: 1 – торцевой упор нижнего ярма статора; 2 – торцевой упор; 3 – нижнее ярмо статора; 4 – корпус статора; 5 – катушка; 6 – якорь; 7 – верхнее ярмо статора; 8 – торцевой элемент верхнего ярма статора.

В процессе моделирования якорь перемещается между двумя крайними положениями. Исходному положению соответствует нулевой угол наклона кузова; при этом расстояние от нижнего торца якоря до торцевого упора двигателя составляет 100 мм. Конечному положению соответствует максимальный угол наклона кузова  $8^\circ$ , при котором нижний торец якоря притянут к упору статора двигателя.

При расчетах были приняты следующие допущения: магнитная система является аксиально-симметричной; корпус и якорь линейного двигателя выполнены из стали Ст3, обмотка – из меди; вихревые токи и гистерезис в магнитопроводе не учитываются; источник питания обладает свойствами идеального источника напряжения. Плотность тока в обмотке двигателя принята  $7 \text{ А/мм}^2$ .

На рис. 2 представлены результаты расчета тяговой характеристики  $F_{ЭМ}(x)$  и составляющих электромагнитной силы на нижнем торце якоря  $F_{низ}(x)$ , на боковой поверхности якоря  $F_{бок}(x)$  и на верхнем торце якоря  $F_{верх}(x)$ .

Как видно на рис 2, а, тяговая характеристика имеет гиперболическую форму. В исходном положении сила тяги  $F_{ЭМ}$  составляет 12,6 кН. В конечном положении максимальное значение силы тяги  $F_{ЭМ}$  составляет 63,8 кН. Такие величина усилия и форма тяговой характеристики определяются, в основном, составляющей силы тяги, действующей на нижнем торце якоря  $F_{низ}$  (рис. 2, б). Резкое возрастание этой силы и линеаризация характеристики в конце хода якоря связано с увеличением проводимости магнитной цепи, обусловленного уменьшением воздушного зазора между якорем и торцевым упором 2.

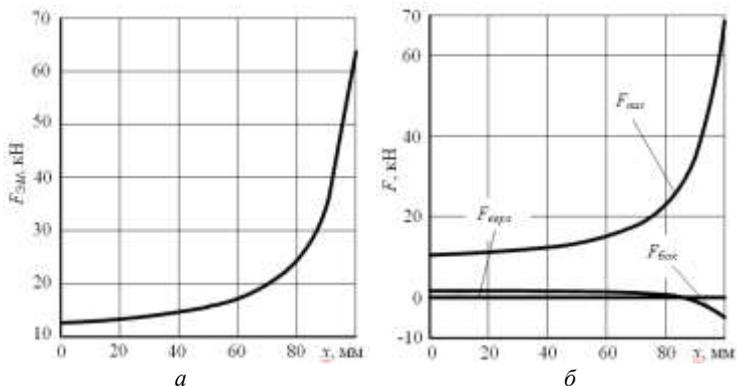


Рис. 2 – Тяговая характеристика (а) и составляющие силы тяги (б)

Сила на боковой поверхности якоря  $F_{бок}$  на протяжении хода изменяет величину и направление своего действия (рис. 2, б). Так, в начале хода ее величина составит 1,48 кН; в конце хода – 4,9 кН. Сравнительно небольшая величина силы  $F_{бок}$  объясняется малым значением суммарного потока тангенциальной составляющей вектора магнитной индукции, замыкающегося через боковую поверхность якоря. Отрицательное значение силы  $F_{бок}$  в конечном положении якоря связано с её притяжением к торцевому элементу верхнего яра статора 8. Сила меняет знак при прохождении якорем положения, в котором суммарный поток тангенциальной составляющей вектора магнитной индукции через боковую поверхность становится равным нулю.

Как видно на рис. 2, б, сила на верхнем торце якоря  $F_{верх}$  изменяется от -1,5 до -4 Н, то есть практически отсутствует. Это связано с тем, что магнитный поток замыкается в основном через торцевой элемент верхнего яра 8.

На рис. 3 представлены диаграммы количественных соотношений составляющих электромагнитной силы. Как видно, в исходном положении якоря основной вклад вносит сила, действующая на нижний торец якоря  $F_{низ}$ , которая составила 82,5 % от суммарной электромагнитной силы. Вклад силы, действующей на боковую поверхность якоря  $F_{бок}$ , составил 11,8 %. Сила, действующая на верхний торец якоря  $F_{верх}$ , практически равна нулю. В конечном положении якоря составляющие электромагнитной силы распределяются так: сила, действующая на нижний торец якоря  $F_{низ}$ , составила 107,5 %, сила, действующая на боковую поверхность якоря  $F_{бок}$ , составила -7,68 % и сила, действующей на верхний торец якоря  $F_{верх}$ , близка к нулю.

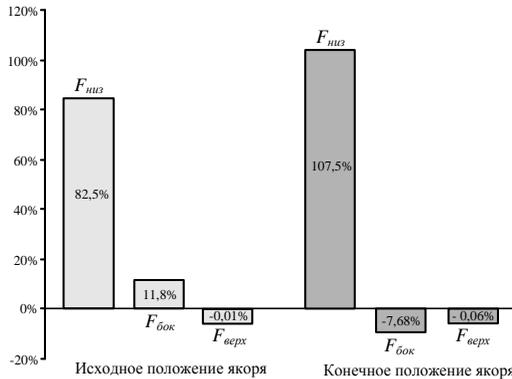


Рис. 3 – Количественные соотношения составляющих электромагнитной силы

**Выводы.** Основной вклад в создание тягового усилия в линейном двигателе рассмотренной конструкции вносит составляющая электромагнитной силы, действующая на нижний торец якоря  $F_{низ}$ , форма зависимости которой в конце хода якоря имеет практически линейный характер.

Для создания линейного двигателя, который имел бы необходимую величину тягового усилия и линейную форму тяговой характеристики необходимо проводить исследования в направлении увеличения площади нижнего торца якоря с одновременным уменьшением величины его хода.

**Список литературы:** 1. Кривякин Г. В., Редченко Е. С. Влияние элементов конструкции линейного двигателя на тяговую характеристику привода механизма наклона кузовов скоростных поездов. 2. <http://www.femm.info/wiki/HomePage>. 3. Омеляненко В. И., Якунин Д. И., Редченко Е. С. Привод наклона кузовов на базе линейного двигателя. //Залізничний транспорт України. – 2010. - №6. – С.23-25.

Поступила в редколлегию 30.04.2013

УДК 621.924

**Определение величины составляющих электромагнитной силы, действующих на якорь линейного двигателя / Г. В. Кривякин, Е. С. Редченко, В. Л. Беднарский // Вісник НТУ «ХП». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 32 (1005). – С. 56–59. – Бібліогр.: 3 назв.**

Отримано величини та розподіл впливу сил, що складають сумарну електромагнітну силу, на різні поверхні якоря лінійного двигуна.

**Ключові слова:** електромагнітна сила, якор, лінійний двигун.

The value and distribution influence electromagnetic force rectangular components on the keeper different surface of linear motor is received.

**Keywords:** electromagnetic force, anchor, linear motor.