

О. Ф. Дяченко, к.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

**ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БЛОКА-МОДУЛЯ ЛІНІЙНОГО ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ГУСЕНИЧНОЇ МАШИНИ**

У роботі розглядається методика попереднього визначення основних геометричних параметрів конструктивних елементів блока-модуля лінійного тягового електродвигуна перспективної гусеничної машини з електромеханічною трансмісією на основі безпосереднього лінійного електроприводу гусениці, яка відрізняється тим, що при визначенні основних параметрів блоків-модулів лінійного тягового електродвигуна враховуються особливості конструкції гусеничного рушій швидкохідної гусеничної машини, елементи траків якої є рухливою частиною магнітопроводу.

**Ключові слова:** лінійний тяговий електродвигун, гусеничний рушій, електромагнітна сила, блок-модуль, електромеханічний перетворювач, полюсний поділ, повітряний проміжок.

Більшість з багатьох сотень наукових досліджень у галузі лінійних електродвигунів, що були опубліковані раніше, в основному присвячені вивченню крайових (граничних) ефектів, а відносно невелика частина - аналізу конструкцій, методам визначення геометричних параметрів та проектуванню даного типу машин. Серед небагатьох робіт, які присвячені методам математичного моделювання, оптимізації та проектування лінійних магнітоелектричних двигунів постійного струму, заслуговують уваги роботи, що виконані під науковим керівництвом Белікова В.Т. [1-2]. Особливою цінністю для розробки конструкцій гусеничного приводу є ідея модульного принципу побудови лінійних тягових електродвигунів (ЛТЕД).

Необхідність конструктивного поєднання ЛТЕД з зовнішнім виконавчим механізмом, яким є гусеничний рушій (ГР), [3] визначає новизну задачі щодо розробки методики визначення його основних конструктивних елементів. Крім того, у попередніх роботах не розглядалось питання роботи лінійного приводу в умовах змінного робочого повітряного проміжку.

Отримання тягового зусилля польовим шляхом очевидно передбачає перехід до принципово нових підходів конструювання всього механізму гусеничного рушій у цілому. Але, на першому етапі, оцінка можливостей створення тягового зусилля ЛТЕД може бути проведена на базі існуючих конструкцій гусеничних рушій. Основу вихідних даних для проектування елементів ЛТЕД будуть складати: потужність енергетичної установки гусеничної машини (ГМ); параметри гусеничного рушій - крок трака  $l_{Tr}$ , ширина гусениці  $b_2$  і довжина ділянки гусеничного обводу, яка буде взаємодіяти з індуктором ЛТЕД -  $L_i$ ,

і на яку безпосередньо буде діяти електромагнітна сила; потрібні номінальне та максимальне тягове зусилля.

При цьому приймають  $F_{max} \approx 0,585G$ , а  $F_N \approx 0,085G$  за умовою руху ГМ у важкому ґрунті. Тяговий розрахунок ЛТЕД постійного струму, завдяки високій перевантажній здібності двигунів цього типу [1], проводять по номінальному зусиллю. Високий коефіцієнт пристосованості  $k_{ed} \approx 10$  дозволить ЛТЕД надійно працювати у зазначеному для ГМ діапазоні зусиль.

Висота індуктора або блока-модуля однобічного ЛТЕД, при його зовнішньому розміщенні під верхньою віткою гусеничного обводу обмежується необхідним ходом опорних котків і може складати не більше як 0,15 м. Виходячи з умов необхідності забезпечення високої живучості гусеничної машини у цілому та тягового двигуна зокрема, доцільно використовувати багатомодульну конструкцію з високим ступенем резервування. При цьому магнітоелектричні ЛТЕД забезпечують неперевершену, у порівнянні з іншими тяговими пристроями, простоту технічної реалізації таких конструкцій. Варіанти схеми побудови багатомодульного ЛТЕД з паралельним з'єднанням якірних обмоток блоків-модулів показані на рис. 1, де на схемі *a* представлений односторонній варіант розміщення блоків-модулів 3, а саме тільки під гусеничною стрічкою 1, а на схемі *b* двостороння конструкція ЛТЕД, при цьому блоки-модулі 3 розміщуються, як знизу - під гусеничною стрічкою 1, так і зверху над нею. Аналіз проведений у [3] показав, що для ЛТЕД ГМ на сьогодні доцільне використання односторонньої конструкції через її простоту та менші вартість і вагу.

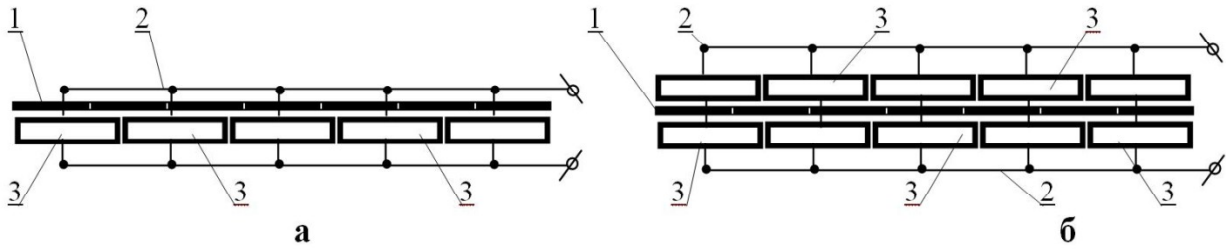


Рисунок 1 – Схеми підключення блоків-модулів ЛТЕД:  
а – для ЛТЕД односторонньої конструкції, б – для ЛТЕД двосторонньої конструкції

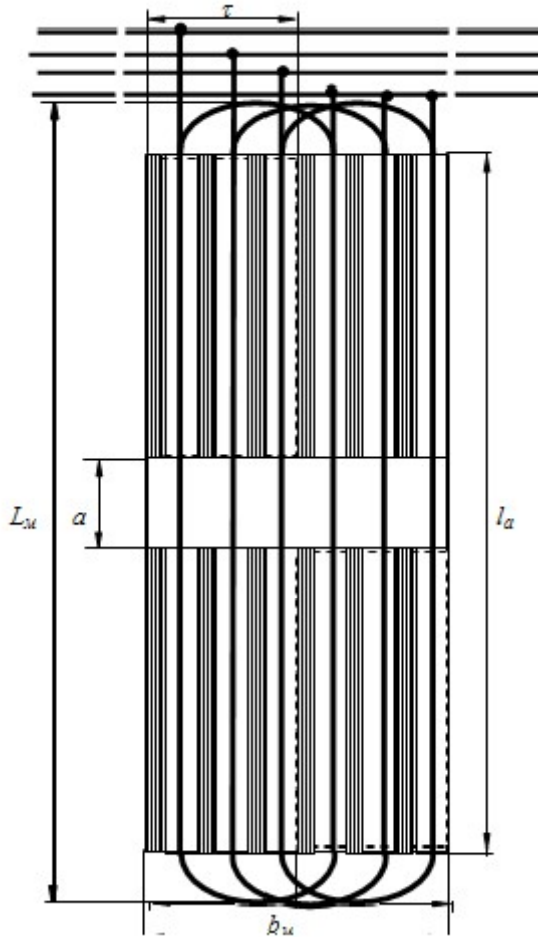


Рисунок 2 - Індуктор блока-модуля ЛТЕД з три-фазною обмоткою(вид зверху)

У свою чергу, керування проміжком буде забезпечувати роботу ЛТЕД у оптимальному діапазоні характеристики.

Але для досягнення всіх теоретично обґрунтованих переваг, які дає безпосередній електромагнітний вплив на гусеницю, необхідно розробляти також і найефективнішу двосторонню конструкцію, не зупиняючись перед необхідністю зміни звичного для нас традиційного вигляду гусеничного рушія. Саме двостороння конструкція ЛТЕД, завдяки наявності двох паралельних віток якірної обмотки, дозволяє вдвоє підвищити можливі лінійні навантаження і максимальні тя-

гові можливості, а також декілька підвищити к.к.д.

Кожен з блоків-модулів 3 (рис. 1) можна розглядати як окремий електромеханічний перетворювач, що має власну систему збудження магнітного потоку та якірну обмотку, живлення на яку подається від загальної системи керування за допомогою електрокомунікацій 2.

Якщо розміри блока-модуля за висотою –  $h_m$  та довжиною  $L_m$  (рис. 2) задаються у відповідності з вертикальним ходом опорних котків та шириною гусениці  $b$ , то ширина модулів  $b_m$  підбирається виходячи із можливості заміни пошкодженого блока-модуля на новий не більше, ніж двома членами екіпажу. Ергономічні вимоги, які підтвержені особистим практичним досвідом роботи автора з діючим прототипом, показують, що доцільна маса блока-модуля повинна бути у межах  $m_\delta = 35 \div 45$  кг.

Попередню масу блока-модуля визначаємо за формулою:

$$m_m = \rho_m L_m b_m h_m, \quad (1)$$

де  $\rho_m \approx 7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> - приведена питома густина блока-модуля.  $b_m$  – ширина,  $h_m$  – висота,  $L_m$  – довжина блока-модуля. Використовуючи формулу (1) знаходимо доцільну ширину блока-модуля  $b_\delta$  як

$$b_\delta = \frac{m_\delta}{\rho \cdot L_m \cdot h_m}, \quad (2)$$

де  $m_\delta$  – доцільна маса блока-модуля. Тоді, для  $L_m \approx 0,5$  м та  $h_m = 0,07$  м,  $b_\delta \approx 0,14..0,18$  м. Визначаємо кількість полюсів  $2p$  блока-модуля

$$2p = \frac{b_\delta}{\tau}, \quad (3)$$

де  $p$  – кількість пар полюсів,  $\tau$  – полюсний поділ. Отриманий результат округляємо до найближчого парного числа. Розрахункова активна ширина блока-модуля  $b_m$  визначається як

$$b_m = 2p \cdot \tau. \quad (4)$$

При цьому, для визначення розрахункового полюсного поділу  $\tau$  необхідно забезпечити виконання наступних умов:

можливість розміщення багатофазної якірної обмотки, яка дозволяє забезпечити надійне керування рухом гусеничного рушія без зниження розрахункових параметрів тягового зусилля, при будь-яких положеннях призматичних формувачів магнітного потоку, які розташовані на траках гусениці, відносно зубців концентраторів магнітного потоку блоків-модулів;

довжина лобових частин якірної обмотки повинна бути якнайменша з метою зменшення кількості та ваги меді, що використовується для виготовлення обмотки;

втрати на перемагнічування феромагнітних призматичних формувачів магнітного потоку, або магнітних ділянок у безтраковій гусениці, та на вихрові струми у цих елементах та зубцях якору повинні бути мінімальними.

Залежність розміру полюсного поділу від технологічних та конструкційних параметрів якірної обмотки визначається формулою:

$$\tau = 3n_n \cdot \tau_z, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість паралельних трифазних віток якірної обмотки ( $n=1\dots3$ ),  $\tau_z$  – зубцевий поділ, який визначається за формулою

$$\tau_z = (b_n + b_z), \quad (6)$$

де  $b_n$  – ширина пазу,  $b_z$  – ширина зубця. Як правило  $b_n = 2/3\tau_z$ , а  $b_z = 1/3\tau_z$ . При цьому відомо, що укладка обмотки у пази, ширина яких менша за 4 мм пов'язана з технологічними труднощами. Тому, виходячи зі сказаного, та згідно з формулами (5) та (6), отримуємо мінімальне значення полюсного поділу для лінійного блока-модуля  $\tau_{min} = 0,018$  м. При малих полюсних поділах покращуються умови охолодження обмотки, але погіршується коефіцієнт заповнення пазу. Крім того, зменшення полюсного поділу обумовлює відповідне підвищення частоти роботи електронного комутатора  $f$  (табл. 1). Як відомо, електричні машини з частотою більшою за 500 Гц належать до машин підвищеної частоти, а поєднання високих лінійних навантажень з високою частотою веде до підвищення внутрішніх втрат у електроприводі.

Таблиця 1 - Значення частоти комутації для різних полюсних поділів (для  $b_m = 0,18$  м;  $v = 19,4$  м/с)

Показники	Значення полюсного поділу блока-модуля					
	$\tau$ (м)					
	0,09	0,045	0,03	0,0225	0,018	0,015
$2p$	2	4	6	8	10	12
$f$ (Гц)	216	432	648	864	1080	1296

Аналіз за частотою комутації показує, що для блока-модуля ЛТЕД гусеничного рушія ГМ з вказаними вище ваговими та габаритними параметрами доцільною буде чотирьохполюсна конструкція ( $2p=4$ ) з полюсним діленням  $\tau = 45$  мм.

Таким чином, визначилися наступні основні геометричні параметри блока-модуля: кількість полюсів  $2p = 4$ ; кількість пазів  $n_n = 12$ ; ширина зубця  $b_z = 5$  мм; ширина пазу  $b_n = 10$  мм; глибина пазу  $h_n = 40$  мм; розрахункова ширина такого модуля складає  $b_m \approx 18$  см; довжина  $L_m \approx 54,5$  см; маса  $m_m \approx 48$  кг. У подальшому процесі розрахунку вказані геометричні величини будуть при необхідності уточнені та скориговані.

Методику попереднього визначення основних конструкційних параметрів блока-модуля ЛТЕД, яка пропонується, можна використовувати також для розрахунків конструкційних параметрів блоків-модулів, у яких використовуються зосереджені обмотки на основі мідної або срібної фольги і для розрахунків безпазових конструктивів.

#### Список використаних джерел

1. Беликов В. Т. Исследование форсируемого линейного электродвигателя / В. Т. Беликов [и др.] // Электричество. – 1991. – № 4. – С. 31-36.

2. Беликов В. Т. Модульное построение конструкций индукторных линейных двигателей постоянного тока с применением ЭВМ / В. Т. Беликов // Создание и применение линейных электродвигателей в машинах, оборудовании и транспортно-технологических системах: Сб. науч. тр. ВНИИВЭ. – Донецк, 1987. – С. 85-93.

3. Беликов В. Т. Экспериментальні дослідження автономного магнітоелектричного гу-

сеничного рушія для пересування по сталевим поверхням / В. Т. Беликов, О. Ф. Дяченко // Збірник наукових праць ОІСВ. – Одеса, 2005. – № 10. – С. 16-20.

*Надійшла до редакції 15.11.2013*

**Рецензент:** к.т.н, доцент Беликов В. Т., Військова академія, м.Одеса.

**А. Ф. Дяченко**, к.т.н.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА-МОДУЛЯ ЛИНЕЙНОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

*В работе рассматривается методика предварительного определения основных геометрических параметров конструктивных элементов блока-модуля линейного тягового электродвигателя перспективной гусеничной машины с электромеханической трансмиссией на основе непосредственного линейного электропривода гусеницы, которая отличается тем, что при определении основных параметров блоков-модулей линейного тягового электродвигателя учитываются особенности конструкции гусеничного движителя быстроходной гусеничной машины, элементы траков которой являются подвижной частью магнитопровода.*

**Ключевые слова:** линейный тяговый электродвигатель, гусеничный движитель, электромагнитная сила, блок-модуль, электромеханический преобразователь, полюсное деление, воздушный зазор.

**A. F. Diachenko**, PhD

## DEFINITION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE TRACTIVE LINEAR ELECTROMOTOR BLOCK MODULE OF VEHICLE

*The method of preliminary determination of the basic geometric parameters of vehicle tractive linear electromotor block module structural elements is examined in the article. The vehicle is equipped with electromechanical transmission which based on direct linear electric drive of the track. The preliminary determination of the basic parameters of the linear tractive electromotor block-module is considered by the design features of the high-speed vehicle track mover. And the track-link elements of track mover are the moving parts of the magnetic circuit. These are the characteristic features of described method.*

**Keywords:** Linear tractive electromotor, track mover, electromagnetic force, block-module, electromechanical converter, pole pitch, air gap.