

## **ИНТЕГРАТИВНАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОЙ СИЛЫ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА**

**В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе**  
**Институт транспортных систем и технологий**  
**Национальной академии наук Украины**  
**(Днепропетровск, Украина)**

## **INTEGRATIVE MODEL OF A MAGNETICALLY LEVITATED TRAIN'S TRACTION FORCE**

**V. A. Poljakov, N. M. Hachapuridze**  
**Institute of Transport Systems and Technologies**  
**of Ukraine's National Academy of Sciences**  
**(Dnepropetrovsk, Ukraine)**

Сложность электромеханических процессов в линейных синхронных двигателях (ЛСД) магнитолевитирующих поездов (МЛП) стимулирует поиск возможностей сепаратного изучения слагающих компонентов. Порознь они успешно могут изучаться, например, теорией электрических цепей, либо электромагнитного поля. Поэтому, до настоящего времени, версии математической модели тяговой силы (ТС) МЛП строились [1, 2] исходя из указанных селективных парадигм её моделирования. Анализ свойств таких версий свидетельствует о наличии у каждой из них как преимуществ, так и недостатков. Изложенное делает актуальным [3] создание интегративной модели (ИМ) ТС МЛП, ассимилирующей достоинства имеющихся версий такой модели, но свободной от их недостатков. Синтез парадигмы, позволяющей построить такую ИМ, а также самой модели, являются основными задачами настоящей работы.

Электромеханическое энергопреобразование в двигателе осуществляется взаимно неподвижными полями индуктора и якоря. Поэтому тяга МЛП определена как векторная сумма результатов взаимодействия токов контуров возбуждения с полем якоря. Динамика электрического компонента каждого такого взаимодействия описуема уравнениями второго закона Кирхгофа [4].

Движение мушкетера (подвижных частей) ЛСД относительно статора вызывает переменность многих из взаимных индуктивностей фаз якоря, как между собой, так и с контурами возбуждения. При этом не стационарны коэффициенты уравнений модели ТС, ухудшается её качество. Избежать этого недостатка возможно, выбрав систему отсчёта так, чтобы обеспечить условную взаимную неподвижность обмоток двигателя. В частности, удобна жёсткая связь контура возбуждения с этой системой. Инерциальной она, в общем случае, не является. Однако, желательно, чтобы искомая модель была тензорной, а её форма – инвариантной в отношении координат, в которых она построена. Это достижимо, если в моде-

ли динамики ТС локальные производные заменить абсолютными. Получаемые уравнения имеют постоянные коэффициенты, тензорную форму и удобно описывают токовую динамику. После их (как правило – численного) разрешения относительно переменных, с использованием обратных координатных преобразований, определяются реальные токи в контурах двигателя.

Магнитная цепь двигателя предполагается ненасыщенной [1]. Она может считаться условно-линейной подсистемой. К ней применим принцип аддитивности. Поэтому результирующее поле фазы якоря определимо как сумма полей, создаваемых её отдельными катушками. Выражения для компонентов индукции таких полей получены в [5]. Подстановкой в них значений токов якорных контуров, в конечном итоге, находятся значения индукции поля якоря в целом.

Итак, создана парадигма моделирования ТС МЛП, ассимилирующая достоинства теорий цепей и поля, но свободная от их недостатков. Построена ИМ этого процесса, не имеющая дефектов предыдущих версий модели. Этим исчерпывающе решена задача настоящей части исследования. В качестве примера использования созданных парадигмы и модели, приведена осциллограмма описываемой тяговой силы в режиме разгона поезда. Анализ этого результата свидетельствует о работоспособности парадигмы и модели, а поэтому – их пригодности к использованию в исследованиях динамики МЛП, оснащённых ЛСД.

### Библиографический список

1. Поляков В. А. Динамика тяговой электромагнитной подсистемы магнитолевитирующего поезда / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія “Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління” – № 1015. Вип. 19 – Харків, 2012. – С. 268–273.
2. Поляков В. А. Динамика тяговой подсистемы магнитолевитирующего поезда (полевая парадигма исследования) / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Науковий вісник Херсонської морської академії – 2013. – № 1 (8). С. 258–266.
3. Сипайлов Г. А. Электрические машины (специальный курс) / Г. А. Сипайлов, Е. В. Кононенко, К. А. Хорьков – М.: Высш. шк., – 1987. – 287 с.
4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / Л. А. Бессонов – М.: Высш. шк., 1996. – 578 с.
5. Бирюков В. А. Магнитное поле прямоугольной катушки с током / В. А. Бирюков, В. А. Данилов // Журнал технической физики. – 1961. – Т. XXXI, № 4. – С. 428 – 435.

### References

1. Poljakov V. A. & Hachapuridze N. M. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia “Matematychnе modeliuвання. Informatsiini tekhnolohii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia” – Bulletin of Kharkiv’s University. The series «Mathematical modeling. Information Technology. Automated control systems», 2012, vol. 19, no. 1015, pp. 268-273.

2. Poljakov V. A. & Hachapuridze N. M. Naukovyi visnyk Khersonskoi morskoi akademii – Scientific Bulletin of Kherson Marine Academy, 2013, no. 1 (8), pp. 258 – 266.

3. Sipajlo G. A., Kononenko E. V. & Khor'kov K. A. Jelektricheskie mashiny (special'nyj kurs) [Electric Machines (Special Course)]. Moscow, 1987. 287 p.

4. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy jelectrotehniki: Jelektricheskie cepi [Theoretical Foundations of Electrical Engineering: Electrical Circuits]. Moscow, 1996. 578 p.

5. Biryukov V. A. & Danilov V. A. Zhurnal tehnicheckoj fiziki – Technical Physics, 1961, vol. XXXI, no. 4, pp. 428-435.

**Сведения об авторах:**

Поляков Владислав Александрович, E-mail: p\_v\_a\_725@mail.ru

Хачапуридзе Николай Михайлович, E-mail: itst@westa-inter.com

**Information about authors:**

Vladislav A. POLJAKOV, E-mail: p\_v\_a\_725@mail.ru

Nikolay M. HACHAPURIDZE, E-mail: itst@westa-inter.com