

В.И.ОМЕЛЬЯНЕНКО, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ»;
Б.Г. ЛЮБАРСКИЙ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
Д.И. ЯКУНИН, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
Б.Х. ЕРИЦЯН, ассистент, НТУ «ХПИ»

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА С ЛИНЕЙНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ НАКЛОНА КУЗОВОВ

У статті запропоновано концептуальний проект електромеханічної системи приводу з лінійним двигуном для нахилу кузовів. Наведено загальну компоновку екіпажу, результати цифрового моделювання та проведено порівняльний аналіз електромеханічних приводів систем нахилу.

In the article the conceptual project of the electromechanical system of actuator with a linear engine for inclination of bodies is offered. General arrangement of vehicle is resulted, results of digital modeling and the comparative analysis of electromechanical actuators of the systems of inclination is conducted.

Скоростные поезда с наклоняемыми кузовами представляют собой перспективную технологию повышения скоростей движения на имеющихся железнодорожных линиях. В настоящее время такие поезда эксплуатируются во многих странах мира. Перспективным представляется внедрения поездов с наклоняемыми кузовами и на железных дорогах Украины [1].

Схема конструкции исполнительной части механизма наклона приведена на рис. 1, а).

В качестве исполнительной части механизма наклона взята система с приводом на базе линейного электромеханического преобразователя энергии [2]. Для силового привода выбран коаксиальный электромагнитный двигатель постоянного тока в совокупности с полупроводниковым преобразователем прямоходового типа.

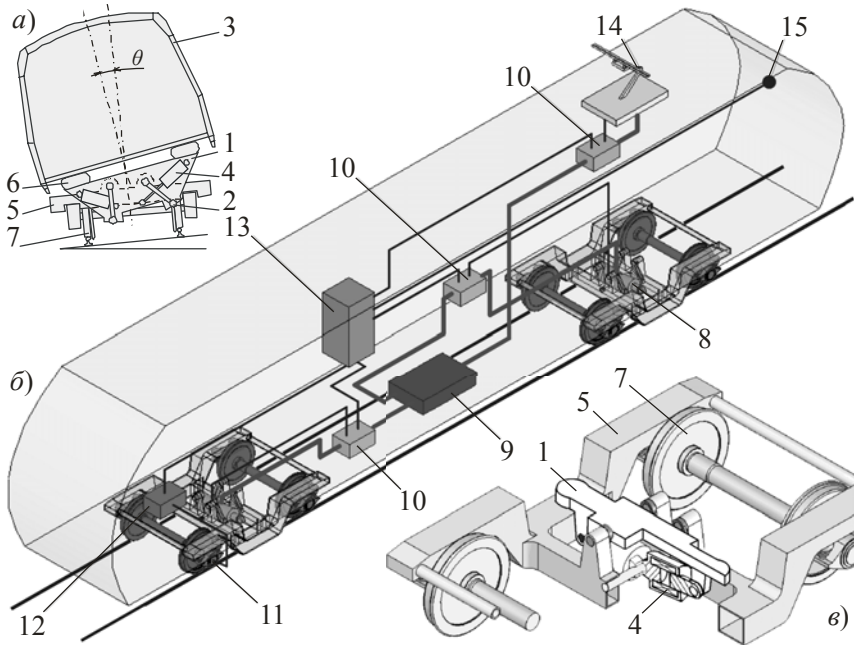
Такая система может быть описана при помощи математической модели (1), дополненной функциями связей (2).

$$\frac{di}{dt} = \frac{U - iR - KV}{L},$$
$$\frac{dx}{dt} = V, \quad (1)$$

$$U = f(U_y, U_u), \quad L = f(x, i), \quad K = f(x, i), \quad F = f(x, i),$$
$$\theta = f(F, x), \quad [U_y] = f\left(\theta, \frac{d\theta}{dt}, \theta_T, V_{\theta \max}\right), \quad (2)$$

где U_u – напряжение источника питания, U – напряжение на ЛД, F – сила тяги ЛД, x – перемещение якоря ЛД, U_y – вектор управляющих

напряжений преобразователя, θ – угол наклона кузова, θ_T – требуемый угол наклона кузова, $V_{\theta \max}$ – максимальная скорость изменения угла наклона, t – время, i – ток обмотки ЛД, R – сопротивление обмотки ЛД, K – коэффициент противоЭДС ЛД, V – скорость перемещения якоря ЛД, L – индуктивность обмотки ЛД.



а) схема, *б)* общая компоновка, *в)* тележка, 1 – наклоняемая балка, 2 – рычаг подвеса, 3 – кузов, 4 – силовой привод (линейный двигатель), 5 – рама тележки, 6 – вторичное подвешивание, 7 – колесная пара, 8 – тележка с наклоняемой балкой, 9 – энергоблок, 10 – блоки силовой электроники, 11 – speedometer, 12 – акселерометр/гироскоп, 13 – вычислительный модуль (включает вычислитель угла наклона, схему управления блоками силовой электроники и контроллер поезда), 14 – наклоняемый токосъемник, 15 – интерфейс поезда.

Рисунок 1 – Экипаж с наклоняемым кузовом

Приведенная математическая модель исследовалась путем создания на ее базе имитационной модели механизма наклона кузова с приводом на базе линейного двигателя, позволяющей изучить влияние параметров системы на ее рабочие свойства (рис. 2).

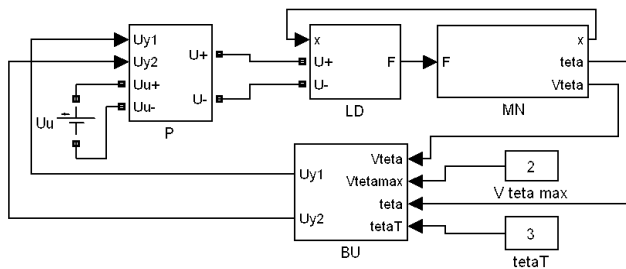


Рисунок 2 – Блок-схема общей имитационной модели устройства наклона кузова

Имитационная модель, созданная в среде Matlab Simulink, включает преобразователь P, линейный двигатель LD, механизм наклона кузова MN и блок управления BU. Определение параметров линейного двигателя производится по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов, аппроксимированных полиномами Чебышева на множестве равноудаленных точек. Достоверность результатов, полученных при использовании имитационной модели, подтверждена физическим моделированием исполнительного механизма и линейного двигателя [3].

В данной статье описывается концептуальный проект электромеханической системы привода с линейным двигателем для наклона кузовов. Общая компоновка экипажа приведена на рис. 1, б).

Информация о скорости движения, которая поступает со скоростемера 11, как и информация о боковом ускорении, позволяющая оценить радиус кривой и о возвышении наружного рельса, получаемая посредством гироскопа 12, поступает к вычислительному модулю 13, который рассчитывает необходимый угол наклона кузова.

В том случае, если расчетный угол превышает максимальное значение (8°), модуль выдает команду на понижение скорости движения. Сигналы управления от вычислительного модуля 13 по информационной шине 15 подаются на блоки силовой электроники 10 которые управляют подачей энергии от энергоблока 9 на механизмы наклона тележки 8 и токосъемника 14.

Информация о достигнутом угле наклона снимается с датчиков исполнительных механизмов. В случае нарушения функционирования механизма, информация об этом передается от блоков силовой электроники на вычислительный модуль, программа которого предусматривает, в зависимости от уровня опасности, или ограничение функциональности механизмов, или полное их отключение при соответствующем снижении максимальной скорости движения. Датчик реализованного угла наклона может быть конструктивно объединен или с якорем линейного электромагнитного двигателя (тогда величина угла наклона будет функцией

его линейного перемещения), или с шарниром рычага подвеса (тогда величина угла наклона будет функцией угла его поворота).

Модель тележки, оснащенной механизмом наклона, с силовым приводом на базе линейного двигателя, представленная на рис. 1 в). Параметры тягового коаксиального линейного двигателя постоянного тока электромагнитного типа броневого конструкции, который использован в приводе наклона кузова, выбраны согласно рекомендациям, приведенным в [3]. Внешний диаметр линейного двигателя выбран максимальным по условиям компоновки в тележке с учетом ограничения, которое вносится требованиями габарита 1-Т по ГОСТ 9238-59 для обрессоренных подвижных частей, $D_K = 390$ мм. При этом диаметр якоря двигателя $D_я = 170$ мм, а количество витков обмотки $w = 2000$.

На рис. 3 приведена естественная тяговая характеристика двигателя электромагнитного типа, полученная при разной МДС в его обмотке (1, 2, 3 – тяговые при МДС 130, 110 та 90 кА – соответственно); а также нагрузочная кривая 4, соответствующая принятому расположению линейного двигателя и конфигурации исполнительного механизма.

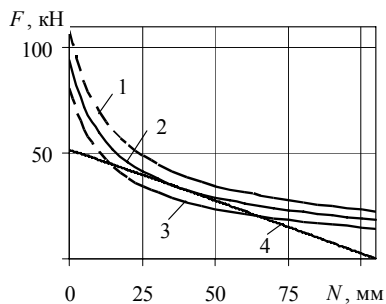


Рисунок 3 – Характеристики наклона

Как видно из рисунка, на участке рабочего хода двигателя, соответствующего рабочему зазору 28 – 44 мм, магнитодвижущая сила в обмотке может поддерживаться на уровне 110 кА, на участках 0 – 28 и 44 – 105 мм требуется понижение величины МДС путем регулирования с помощью полупроводникового преобразователя энергии.

С использованием имитационной модели, приведенной на рис. 2, проведено цифровое моделирование наклона кузова электропоезда на заданный угол $\theta = 7^\circ$ при заданной максимальной скорости наклона $2^\circ/\text{с}$. Результаты цифрового моделирования приведены на рис. 4.

Очевидно, что максимальное значение напряжения на транзисторах составляет 230В, а тока – 80А, следовательно, в качестве силовых ключей следует выбрать IGBT-транзисторы, рассчитанные на напряжение и ток не менее указанных. Это могут быть, например, модули фирмы Fuji Electric 2MBI 100N-060 или 2MBI 100TA-060, имеющие схожие параметры. Модули

предназначены для коммутации цепей напряжением до 600 В с током до 100 А и являются полумостами IGBT, позволяющими на одном модуле реализовать всю силовую часть преобразователя. Такие модули применяются для коммутации цепей большой мощности, управления двигателями постоянного и переменного тока, а также в источниках бесперебойного энергоснабжения.

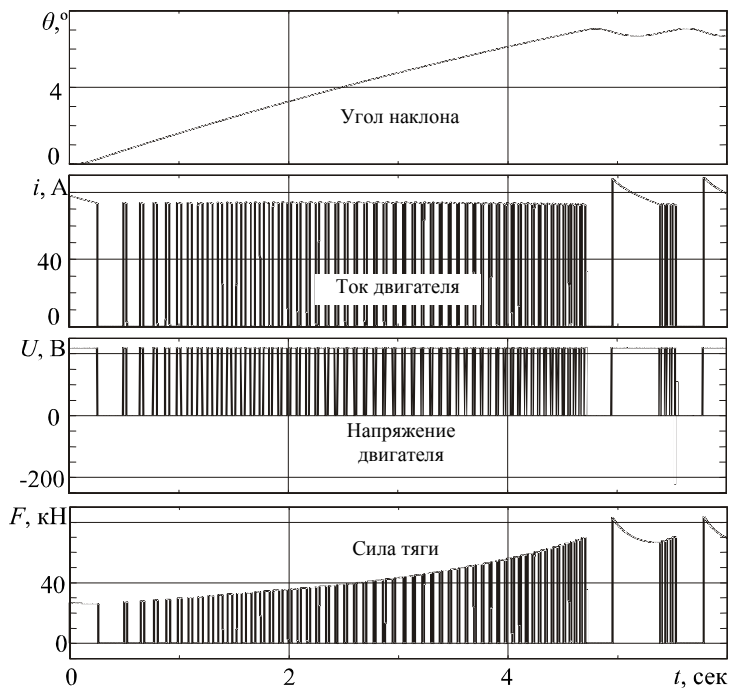


Рисунок 4 – Результаты цифрового моделирования

В предлагаемом приводе электромотор, редуктор и винт, присущие традиционному электромеханическому, заменяются линейным электродвигателем. Очевидно существенное упрощение конструкции, что ожидаемо положительно скажется на ее надежности. Значительно упрощается также и схема питания, представляющая собой прямоходовой инвертор с двумя ключами – традиционный асинхронный двигатель требует инвертора с шестью ключами.

Основные характеристики каждого из рассматриваемых приводов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики электромеханических приводов

системы наклона кузова на базе различных типов двигателей

Характеристика	Тип двигателя	
	ротационный	линейный
Максимальная развиваемая сила, кН	91	166
Максимальная скорость, мм/с	100	22*
Максимальная мощность, кВт	10	17
Длина по осям шарниров, мм	от 671 до 955	от 575 до 680
Удельная сила кН/кг	0,758	0,467

* принудительно ограничена системой управления

Сравнительный анализ традиционного и предложенного электромеханических приводов системы наклона показывает выигрыш в мощности (1,7 раза), максимальной силе (1,8 раза). Ожидаемое увеличение надежности за счет упрощения конструкции и наличие самовозврата выявляют целесообразность использования предложенной системы привода наклона кузова, невзирая на некоторый рост удельных весовых показателей.

Выводы

1. Предложен концептуальный проект электромеханической системы привода с линейным двигателем для наклона кузовов, отличительной особенностью которой является применение линейного двигателя.

2. В результате цифрового моделирования показана работоспособность предлагаемой системы. Определены требуемые значения токов и напряжений в двигателе, что позволило выработать рекомендации по применяемой элементной базе для реального подвижного состава.

3. Сравнительный анализ этого привода с традиционным электромеханическим приводом на базе ротационного двигателя и винтовой пары показал, что предлагаемый двигатель имеет выигрыш в мощности (1,7 раза) и максимальной развиваемой силе (1,8 раза). Кроме того, ожидается повышение надежности и безопасности системы благодаря наличию самовозврата кузова в исходное положение при отказах системы электроснабжения.

Список литературы: 1. Корниенко В.В., Омеляненко В.И. Высококоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с. 2. Омеляненко В.И. Привод наклона кузовов на базе линейного двигателя / В.И. Омеляненко, Д.И. Якунин, Е.С. Редченко // Залізничний транспорт України. – Київ: Транспорт України, 2010. – № 6. – С. 23-25. 3. Омеляненко В.И. Моделирование механизма наклона кузова с приводом на базе линейного электродвигателя / В.И. Омеляненко, Б.Г.Любарский, Д.И. Якунин // Залізничний транспорт України. – Київ: Транспорт України, 2011. – № 2. – С. 48-52.

Поступила в редколлегию 02.05.2011