

Синтез энергоэффективных алгоритмов управления движением электропоезда в условиях преодоления неоднородностей профиля пути

В.Х. Пшихопов, М.Ю. Медведев, В.А. Шевченко

Повышение энергоэффективности железной дороги является актуальной задачей в настоящее время, что связано с развитием теоретической и технической базы, позволяющей внедрять в процесс управления движением электроподвижного состава новые алгоритмы и методы. В работе [1] рассмотрены различные вариации профиля пути, предложены модели экономичного движения электропоезда и сделан вывод о энергоэффективности таких моделей на численном примере. Проведем моделирование движения электропоезда по этим моделям на примере одного из профилей и определим энергетический эффект от использования планирования движения такого типа.

Согласно [2] при прохождении криволинейных планов для снижения энергопотребления необходимо изменять мгновенную скорость, поддерживая среднюю скорость постоянной. На рис. 1 представлен рассматриваемый профиль пути.

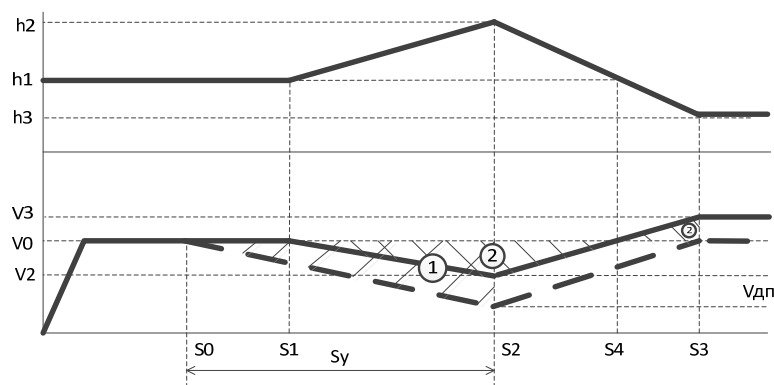


Рисунок 1 – Профиль пути 1

В соответствии с [2] необходимо разогнать поезд до подъема до скорости, достаточной для преодоления вершины пути и разгона до скорости V_0 под действием потенциальной энергией при движении на участке S2-S3. Если выполнено $V_0 > \sqrt{2gh_2}$, то необходимо понизить скорость поезда для того, чтобы скорость в точке S3 была приближена к V_0 .

Из [2] мы знаем следующие выражения:

$$S_y = [V_0(2S_4 - S_1 - S_3) + V_2(S_1 - S_4) + V_3(S_3 - S_4)] / (V_3 - V_0) \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{4V_0V_3 - V_3^2 - 3V_0^2}{2S_y} \quad (12)$$

Таким образом, для достижения большей энергоэффективности при прохождении электропоездом профиля пути 1, он должен начать торможение на расстоянии S_y с ускорением α . Для построения системы управления, обеспечивающей такой закон управления, необходимо синтезировать регулятор. Для описания движения поезда воспользуемся упрощённой моделью электропоезда, описывающей механическую часть. Данная модель может быть представлена в виде дифференциальных уравнений (13) [3,7, 10]:

$$\frac{dx}{dt} = v_{\text{лок}}$$

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{\text{дв}i} i_z}{R_k} - |k_{\text{тр}}(\dot{x})\dot{x}| mg \cos(\alpha) - mg (f_{\text{тр}}^{\text{кач}} \cos(\alpha(x)) + \sin(\alpha(x)))$$

где m – масса локомотива, i_z – передаточное число, x – положение локомотива, $k_{\text{тр}}(\dot{x})$ – характеристика сцепления, g – ускорение свободного падения, $f_{\text{тр}}^{\text{кач}}$ – коэффициент трения качения, $M_{\text{дв}i}$ – момент, развиваемый двигателем, R_k – радиус колес, $\alpha(x)$ – угол уклона профиля.

Для синтеза регулятора, управляющего моментом тягового электродвигателя, воспользуемся методом структурного синтеза [4,5,9]. Для выполнения цели управления введем в рассмотрение ошибку регулирования:

$$e = v_{\text{лок}} - v_T \quad (14)$$

где v_T – требуемая скорость локомотива. Эта скорость формируется из начальной скорости, поддерживаемой на вертикальном участке профиля, и учитывает ускорение α , при приближении к криволинейному участку.

В соответствии с [6,8] введем в рассмотрение следующее уравнение, обеспечивающее асимптотическую устойчивость заданного состояния:

$$\dot{e} + ae = 0 \quad (15)$$

где a – константа, определяющая время переходного процесса.

Скорость локомотива выразим как:

$$v_{\text{лок}} = \omega_k R_k - v_{ck} \quad (16)$$

Воспользовавшись моделью (13) и выражениями (14) – (16) получим уравнение для регулятора:

$$M_{\text{ТЭД}} = (|k(\dot{x})\dot{x}|g(\cos(\gamma(x)) + g(f_{\text{тр}} \cos(\gamma(x)) + \sin(\gamma(x)))) + F_{\text{соп}}/m_{\text{лок}} - ae) R_k / i \quad (17)$$

$$F_{\text{соп}} = \frac{f_{\text{тр}} m_{\text{лок}} g \cos(\gamma(x))}{R_k} + m_{\text{лок}} g \sin(\gamma(x)) \quad (18)$$

Применим следующие параметры профиля: S1=2000 м, S2=3000 м, S3=4000 м, h1=3 м, h2=6 м, h3=0, номинальная скорость v0=20 м/с, промоделируем движение электропоезда вдоль рассматриваемого профиля. Рассмотрим два случая движения и сравним их. В первом случае электропоезд движется с постоянной скоростью на протяжении всего пути (рис.1), во втором, он движется, используя представленную выше модель (рис.2).

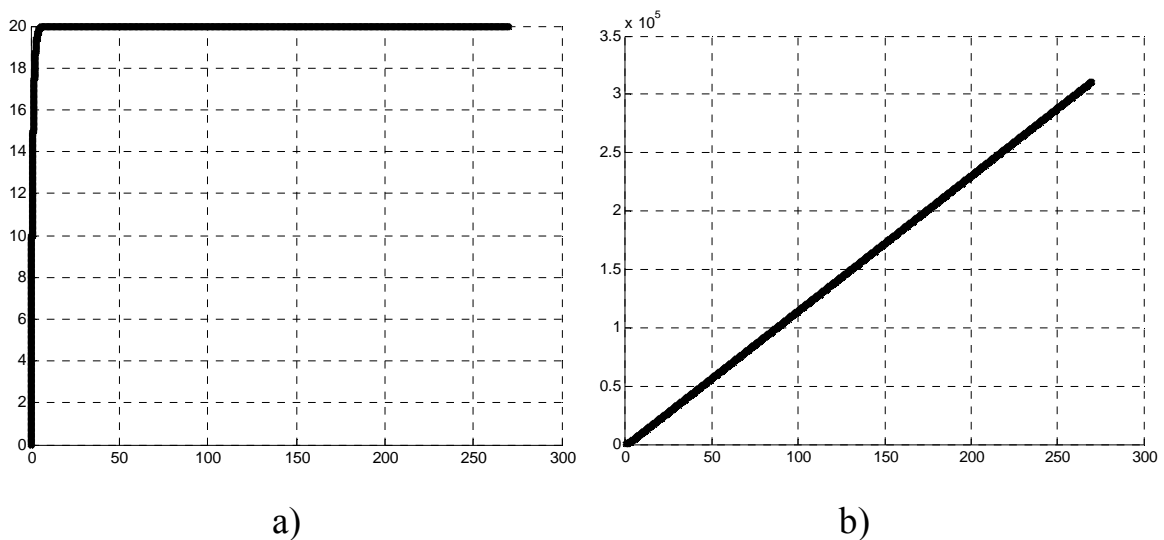


Рис. 2 – движение с постоянной скоростью: а) график изменение скорости от времени $v_{\text{лок}}(t)$ б) график изменения работы тягового электродвигателя от времени $P(t)$

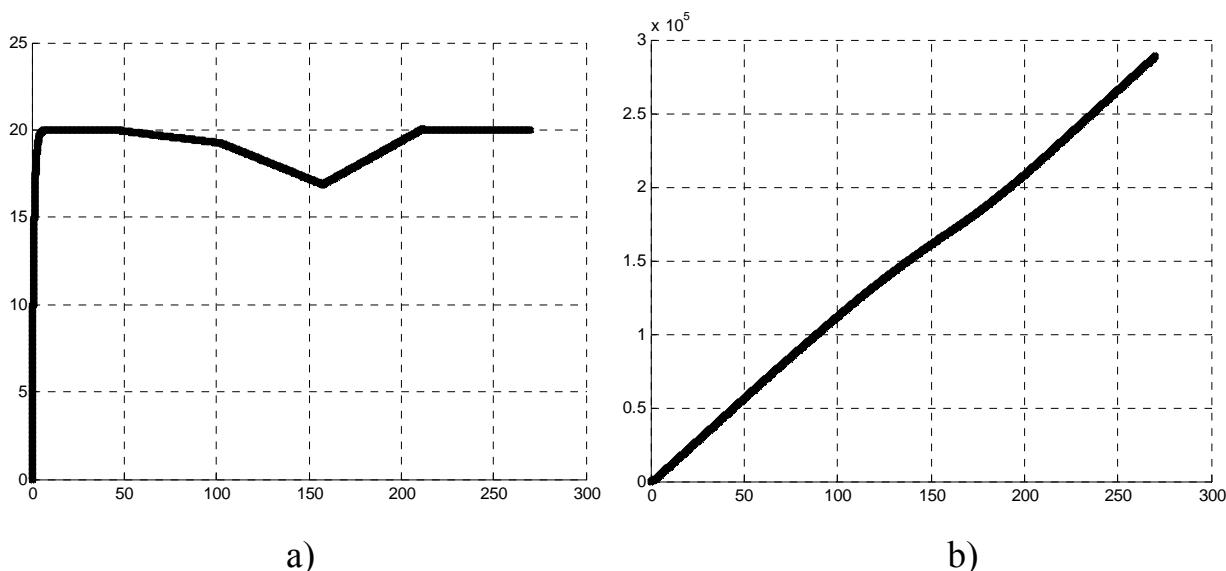


Рис. 2 – движение с переменной скоростью: а) график изменение скорости от времени $v_{лок}(t)$ б) график изменения работы тягового электродвигателя от времени $P(t)$

По представленным графикам видно, что использование предлагаемой модели позволяет экономить энергоресурсы. Так же по графикам можно определить, что в представленном случае экономия составляет 7,08 %. Предполагается, что при использовании уточненной модели выигрыш может достигать 50%.

Литература:

1. В.Х. Пшихопов, М.Ю. Медведев, А.Р. Гайдук, А.А. Зарифьян В.А. Шевченко, В.Е. Беляев. Энергосберегающее управление поездами с электрической тягой на базе комплексных математических моделей. Третья международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные системы на транспорте». 3 – 5 апреля 2013 г., г. Санкт-Петербург, Россия. – С.136-144.
2. В.Х. Пшихопов, М.Ю. Медведев, А.Р. Гайдук, В.А. Шевченко. Энергосберегающее управление электропоездом в условиях неоднородности профиля пути // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3(140). – С.255-260.

3. Пшихопов В.Х., Гайдук А.Р., Медведев М.Ю., Беляев В.Е., Полуянович Н.К., Волощенко Ю.П. Энергосберегающее управление тяговыми приводами электроподвижного состава // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 2(139). – С. 192 – 200.

4. Л.М. Бойчук Синтез координирующих систем автоматического управления. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С.96-100.

5. М.Ю. Медведев Алгоритмы адаптивного управления исполнительными приводами. // Мехатроника, автоматизация и управление. 2006, № 6. С. 17 – 22.

6. Medvedev M.Y., Pshikhov V.Kh., Robust control of nonlinear dynamic systems // Proc. of 2010 IEEE Latin-American Conference on Communications. September 14 – 17, 2010, Bogota, Colombia. ISBN: 978-1-4244-7172-0. – p.72-77.

7. P. Cucala Garcia, A. Fernandes Cardador. European Railway Review, 2010, № 4, p. 46 – 50; WIT Transactions on The Built Environment, 2010, № 114. – p. 549 – 560.

8. В.Х. Пшихопов, М.Ю. Медведев Алгоритмическое обеспечение робастных асимптотических наблюдателей производных [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/431> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Н.А. Целигоров, Е.Н. Целигорова, Г.В. Мафура Математические модели неопределённостей систем управления и методы, используемые для их исследования [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10. Бахвалов Ю.А., Зарифьян А.А., Кашников В.Н., Колпахчян П.Г., Плохов Е.М., Янов В.П., Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом. М.: Транспорт. – 2001. – С.133-137.

