

## ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ СКОРОСТИ В РЕЖИМЕ ТЯГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА РАСШИРЕНИЯ SIMULINK МАТРИЧНОЙ ЛАБОРАТОРИИ MATLAB

© 2009 В.М. Руцкий, В.С. Петрова

Самарский государственный университет путей сообщения

Поступила в редакцию 20.11.2009

Статья посвящена разработке математической модели, построения кривой скорости в режиме тяги. Представлен расчет скорости развиваемой высокоскоростным подвижным составом.

Ключевые слова: *математическая модель, скорость, тяга*

Режим движения поезда определяется соотношением всех действующих на поезд сил. Анализ уравнения движения поезда (1) показывает, что в нормальных условиях эксплуатации возможны три режима движения поезда: тяга, выбег и торможение.

$$(1 + \gamma) \cdot m \cdot \frac{dV}{dt} = F(V) - W(V) - B(V) \quad (1)$$

где  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей;  $F(V)$  – характеристика силы тяги, определяется мощностью ЭПС;  $W(V)$  – силы сопротивления движению;  $B(V)$  – тормозная характеристика.

Рассмотрим режим тяги. Период тяги разделяется на периоды пуска подвижного состава и движения по автоматической характеристике. При пуске тяговые двигатели развивают наибольшую силу тяги. Сила тяги реализуется движущимися колесными парами. Поскольку в режиме тяги торможение не применяют, то

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F(V) - W(V) - B(V)}{m(1 + \gamma)} \quad (2)$$

где  $B(V) = 0$ ,  $m(1 + \gamma)$  – величина постоянная, примем равную 1.

$$\frac{dV}{dt} = F(V) - W(V) \quad (3)$$

При тяге, когда  $F(V) > W(V)$  и, следовательно  $dV/dt > 0$ , подвижной состав движется ускоренно. Если в режиме тяги  $F(V) = W(V)$ , то  $dV/dt = 0$ , и подвижной состав движется с установившейся скоростью. При  $F(V) < W(V)$  подвижной

*Петрова Валерия Сергеевна, аспирантка. E-mail: petrovalera@mail.ru*

движется замедленно.

При движении подвижного состава возникают силы сопротивления движению. Результирующая сил сопротивления движению действует против направления движению подвижного состава.

$$W(V) = W_k(V) + W_\epsilon(V) + W_{кр} + W_{ук} \quad (4)$$

где  $W_k(V)$  – сила сопротивления качению;  $W_\epsilon(V)$  – сила сопротивления воздуха;  $W_{кр}$  – удельное сопротивление от кривой;  $W_{ук}$  – удельное сопротивление от уклона.

$$W_k(V) = f G_c \quad (5)$$

где  $f$  – коэффициент трения качения;  $G_c$  – вес состава.

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента трения качения от скорости.

Аппроксимируем соотношение коэффициента трения качения  $f$  от скорости  $V$  и получим уравнение:

$$f(V) = -2,058 \cdot 10^{-9} V^4 + 3,573 \cdot 10^{-8} V^3 - 1,102 \cdot 10^{-5} V^2 + 1,118 \cdot 10^{-4} V + 1,293 \cdot 10^{-2} \quad (6)$$

Тогда

$$W_\epsilon(V) = C_x \cdot P_\epsilon \cdot F \cdot \frac{V^2}{2} \quad (7)$$

где  $V$  – скорость подвижного состава,  $C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

$$C_x = 0,46 + 0,00225 l \quad (8)$$

где  $l$  – длина состава, равная 60 м;  $P_\epsilon$  – плотность воздуха, равная 1,293 кг/м<sup>3</sup>,  $F$  – модель вагона, равная 3 м х 2,65 м = 7,95 м<sup>2</sup>.

*Руцкий Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Муниципальный пассажирский транспорт». E-mail: ruckiyvm@mail.ru*

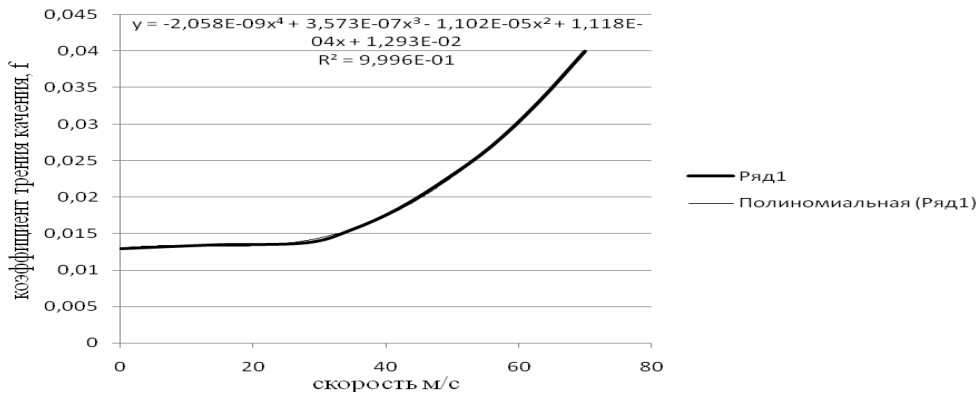


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения качения  $f$  от скорости  $V$

$$W_{кр} = 0,45/R_{кр} \quad (9)$$

где  $R_{кр}$  – радиус кривой.

$$W_{ук} = \frac{i}{1000} \quad (10)$$

где  $i$  – уклон в %.

На рис. 2 представлена динамическая модель построения кривой скорости в режиме тяги для высокоскоростной транспортной системы «Самара-Аэропорт-Толь-ятти». План и профиль трассы взяты из отчета ОАО «Самара-разкотранс».

Используем метод конечных разностей – широко известный и простейший метод интерполяции. Его суть заключается в замене дифференциальных коэффициентов уравнения на разностные коэффициенты, что позволяет свести решение дифференциального уравнения к решению его разностного аналога, т.е. построить его конечно-разностную схему.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_{t+1} - V_t}{\Delta t} = F(V) - (W_k(V) + W_\epsilon(V) + W_{кр} + W_{ук}) \quad (11)$$

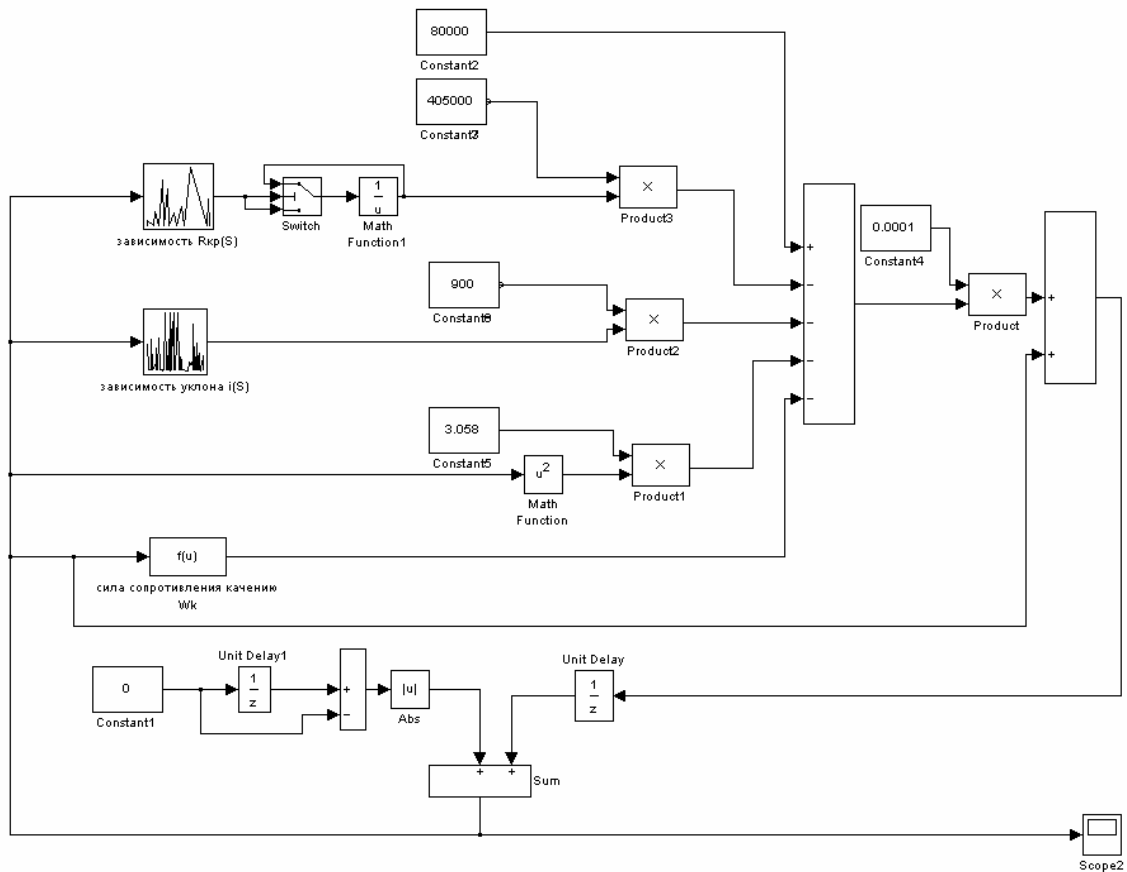


Рис. 2. Динамическая модель построения кривой скорости в режиме тяги

Интегрирование уравнения движения транспортного средства позволяет найти зависимость между скоростью движения, временем и пройденным расстоянием. Разобьем путь на малые участки  $\Delta S$  и будем считать, что в пределах этих участков равнодействующая сила не зависит от скорости. Интегрируем уравнение движения транспортного средства и получаем выражение для скорости в начале  $i$ -го участка:

$$V_{t+1} = (F(V) - (W_k(V) + W_e(V) + W_{кр} + W_{ук})) \Delta t + V_t \quad (12)$$

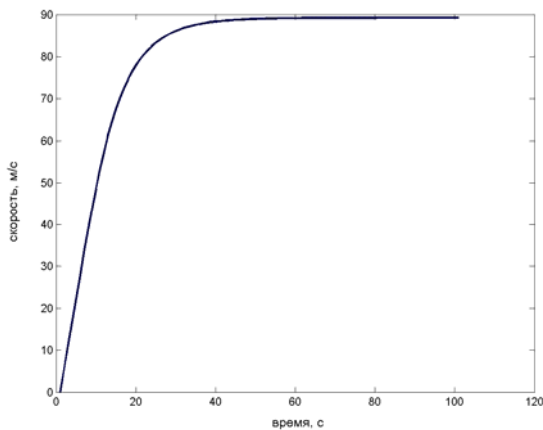


Рис. 3. Кривая скорости высокоскоростного подвижного состава

Результатом разработки модели является получение кривой скорости, развиваемой вы-

сокоскоростным подвижным составом. На рис. 3 представлена кривая зависимости скорости от времени. Нахождение скорости и построение кривой является составной частью тягового расчета, необходимого для совершенствования проектирования системы электроснабжения высокоскоростной транспортной системы «Самара – Аэропорт – Тольятти». Система должна обладать высокой надежностью. Обеспечение высокой надежности требует относительно большой точности расчета параметров системы, особенно тех которые определяют ее прочность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шевченко, В.В. Электроснабжение наземного городского электрического транспорта: Учебное пособие для студентов вузов / В.В. Шевченко, Н.В. Арзамасцев, С.С. Бодрухина – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
2. Слепцов, М.А. Основы электрического транспорта: учебник для студентов высш. учеб. заведений / М. А. Слепцов, Г. П. Долаберидзе, А. В. Прокопович и др.]; под общ. ред. М. А. Слепцова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 464 с.
3. Дьяконов, В.В. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. – 528 с.
4. Теория электрической тяги; под ред. И.П. Исаева. -М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
5. Игнатьев, М.Б. Моделирование системы машин / М.Б. Игнатьев, В.З. Ильевский, Л.П. Клауз. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1986. – 304 с.

## CONSTRUCTION OF CURVE SPEED IN THE REGIME OF THRUST WITH USE OF THE EXPANSION PACKAGE SIMULINK OF MATRIX LABORATORY MATLAB

© 2009 V.M. Rutskiy, V.S. Petrova

Samara State Transport University

Article is devoted to development of mathematical model, construction of curve speed in a regime of thrust. Calculation of speed developed by a high-speed rolling stock is presented.

Key words: *mathematical model, speed, thrust*