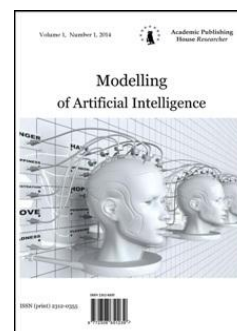


Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
 Modeling of Artificial Intelligence
 Has been issued since 2014.
 ISSN: 2312-0355
 Vol. 6, Is. 2, pp. 59-66, 2015

DOI: 10.13187/mai.2015.6.59

www.ejournal11.com

UDC 621.02.93

Statement of the Problem of Mathematical Modeling of Electric Rolling Motion Along the Lines of the DC Metro

¹Veronika O. Ilyanenko
²Dmitriy V. Kolbasinskiy

¹Siberian federal university, Russian Federation

E-mail: v.ilyanenko@yandex.ru

²Sochi state university, Russian Federation

Sovetskaya Str., 26a, Sochi city, Krasnodar region, 354000

PhD (Technical), assistant professor

E-mail: dvkol@mail.ru

Abstract

This article examines the relevance, the main challenges of modeling the physical process of movement underground. There are given the previous results and data that can help to make the necessary system of equations describing the motion of an electric. The system of differential equations describing the process of moving subway trains on the basis of the type of cars 81-714 / 717, as the most popular in Russia and the CIS. This area is relatively new and unexplored for the study, in particular, the mathematical model of the motion of an electric DC along the lines of the subway has not been received before. In the future, the model will be refined and used for non-destructive testing research.

Keywords: mathematical model of electric rolling, subway, DC motor, rheostat - contactor control system, examples of systems of differential equations, electric acceleration, wagons type 81-717 / 714.

Введение

Являясь основой транспортной системы города, а также сложнейшим электротехническим комплексом транспортного назначения, метрополитен призван обеспечивать эффективную и безопасную перевозку пассажиров.

В условиях роста объемов пассажироперевозок и постоянно растущих тарифов на электроэнергию, снижение электропотребления при эксплуатации метрополитена становится актуальной задачей. Не менее актуальной является задача обеспечения безопасности и комфорта перевозки пассажиров. Решение этих задач не представляется возможным без математического моделирования подвижного состава электрического транспорта, что дает возможности: неразрушающего контроля параметров движения; оптимизации по электропотреблению затрат на движение, а значит снижения себестоимости предоставления населению транспортных услуг; обеспечения безопасности движения при условии соблюдения графика движения (удовлетворения сложившегося пассажиропотока); развития быстродействующих численных методов; решения смежных задач и проблем в области математического моделирования, численных методов,

параллельных и быстрых вычислений; постановки и решения актуальных задач математического моделирования в приложениях.

Развитие инфраструктуры города-курорта Сочи предполагает использование всех видов электрического транспорта (междугородные и пригородные железные дороги, фуникулеры, подвесные канатно-кресельные дороги, городской электрический транспорт, эскалаторы, движущиеся тротуары, и т.п.). Следует отметить тот факт, что развитие инфраструктуры г. Сочи отмечено Президентом РФ как приоритетная задача. В 2019-м году в г. Красноярске планируется проведение Универсиады-2019, что повлечет так же развитие инфраструктуры и транспортной сети города. Кроме того, существует проект первой линии метрополитена в г. Красноярске (участок от станции «Высотная» до станции «Проспект мира»), разработанный ОАО «Харьковметропроект» (ныне ЧАО «Харьковметропроект»). Эти обстоятельства подчеркивают **актуальность** приводимой здесь разработки.

Данное направление моделирования является достаточно новым и мало исследованным, однако существуют разработки общего вида [1].

В частности, сформулирована система общего вида модели движения электротранспорта с двигателями постоянного тока и реостатно-контакторной системой управления:

$$\begin{cases} \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{F'_p(\omega, I_y)}{M_{np} \frac{R_k}{\mu_{ред}} + \frac{J}{\mu_{ред} R_k}} \\ \frac{dI_y}{dt} = \frac{U(I_y, N) - R_a I_y - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \end{cases}$$

где ω - угловая скорость вращения тягового электродвигателя; I_y - ток якоря тягового электродвигателя; $F'_p(\omega, I_y)$ - результирующая сила тяги; M_{np} - приведенная масса подвижного состава электропоезда; R_k - радиус колеса вагона; $\mu_{ред}$ - передаточное число редуктора; J - момент инерции вращающихся масс; $U(I_y, N)$ - напряжение на зажимах тягового двигателя; N - номер позиции группового реостатного контроллера; R_a - полное сопротивление силовой цепи; c - конструктивный коэффициент, определяемый параметрами тягового двигателя; Φ - магнитный поток тягового двигателя; I' - ток обмотки тягового двигателя; L_a - полная индуктивность силовой цепи; t - время; $\frac{d}{dt}$ - полная производная по времени.

Т.о. необходимо решить систему дифференциальных уравнений, для чего нужно определить приведенную массу состава, диаметр колеса, передаточное число редуктора, номинальное напряжение в сети, зависимость магнитного потока от тока в сети, зависимость к. п. д. тягового двигателя от тока, индуктивность и сопротивление силовой цепи и другие параметры, входящие в систему уравнений. Данные не имеют систематизации и являются разрозненными. Их установление является достаточно трудоемкой работой.

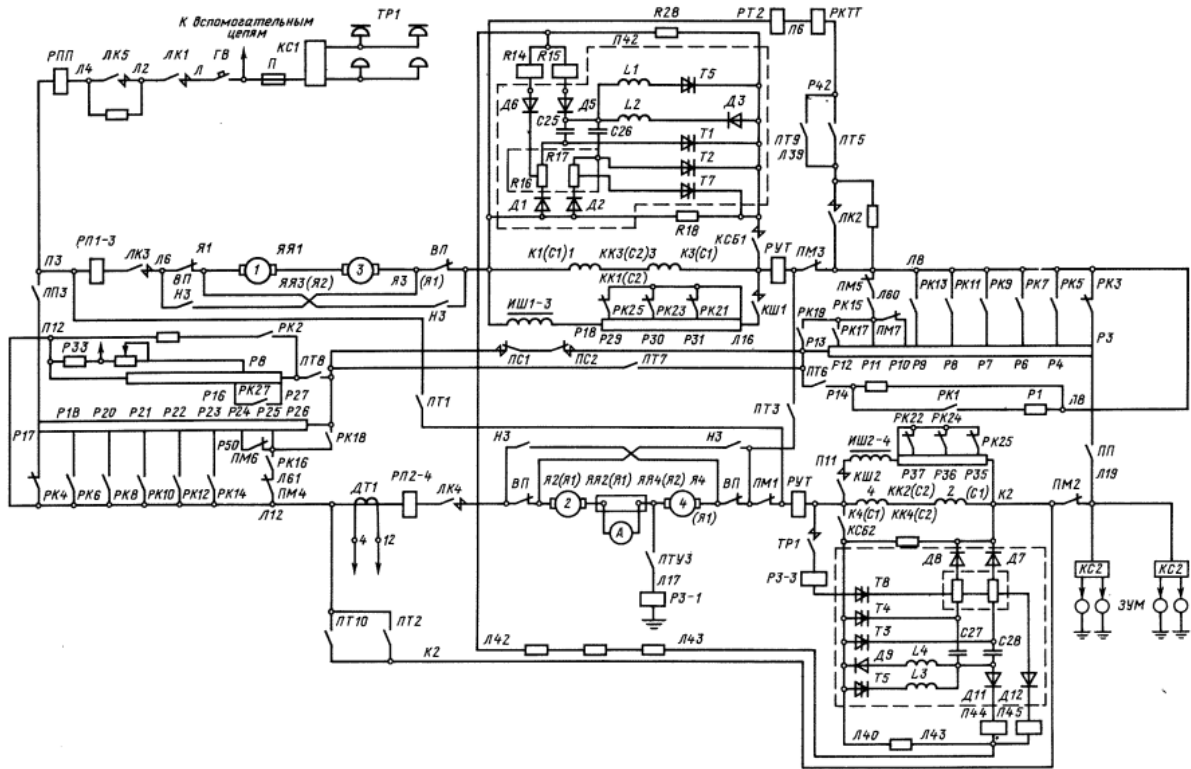


Рис. 1. Силовая цепь вагонов 81-717

В мире эксплуатируется большое количество моделей вагонов метрополитена. В России чаще всего используются модели серии 81 («номерные») и на отдельных линиях экспериментальные модели («Яуза», «Русич» и др.). Однако на сегодняшний день наиболее распространен тип вагонов 81-714/717. Состав используется в таких метрополитенах, как Днепропетровский, Новосибирский, Московский, Санкт-Петербургский, Бакинский, Будапештский, Варшавский, Екатеринбургский, Ереванский, Киевский, Минский, Нижегородский, Пражский, Самарский, Софийский, Ташкентский, Тбилисский, Харьковский и др. Данный тип вагонов является простой и надежной, базовой моделью вагонов многих метрополитенов, поэтому для разработки модели движения вагонов метрополитена имеет смысл опираться именно на модели 81-714/717.

Схема силовой цепи вагонов типа вагонов 81-714/717 приведена на рисунке 1, а принципиальная электрическая схема цепей управления этих вагонов на рисунке 2.

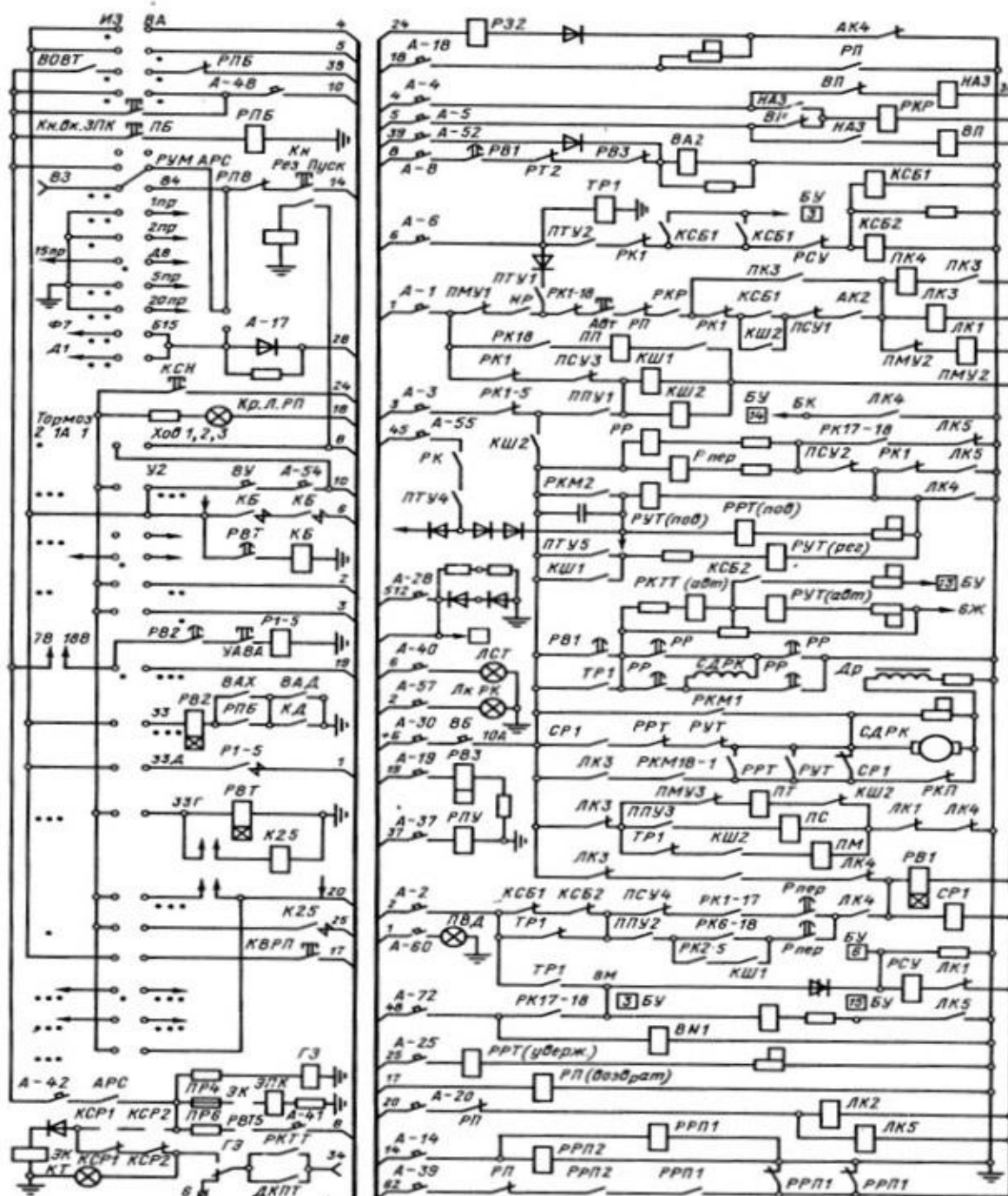


Рис. 2. Принципиальная схема цепей управления вагона 81-717

Разгон вагона происходит следующим образом [3], [4] (см. таблицу):

№ позиции пуска	№ позиции ГРК	Направление вращения группового реостатного контроллера (ГРК)	№ схемы	Основные параметры схемы	β	№ системы уравнений
1	1	вперед	1	$R_1+R_6=4,263 \text{ Ом}$	0,28	1
2	2	вперед	2	$R_1+R_6=4,263 \text{ Ом}$	1	2
3	3	вперед	2	$R_1+R_6=3,318 \text{ Ом}$	1	2
4	4	вперед	2	$R_1+R_6=2,602 \text{ Ом}$	1	2
5	5	вперед	2	$R_1+R_6=2,122 \text{ Ом}$	1	2
6	6	вперед	2	$R_1+R_6=1,978 \text{ Ом}$	1	2
7	7	вперед	2	$R_1+R_6=1,858 \text{ Ом}$	1	2
8	8	вперед	2	$R_1+R_6=1,668 \text{ Ом}$	1	2
9	9	вперед	2	$R_1+R_6=1,548 \text{ Ом}$	1	2
10	10	вперед	2	$R_1+R_6=1,328 \text{ Ом}$	1	2
11	11	вперед	2	$R_1+R_6=1,108 \text{ Ом}$	1	2
12	12	вперед	2	$R_1+R_6=0,888 \text{ Ом}$	1	2
13	13	вперед	2	$R_1+R_6=0,668 \text{ Ом}$	1	2
14	14	вперед	2	$R_1+R_6=0,478 \text{ Ом}$	1	2
15	15	вперед	2	$R_1+R_6=0,288 \text{ Ом}$	1	2
16	16	вперед	2	$R_1+R_6=0,144 \text{ Ом}$	1	2
17	17	вперед	2	$R_1+R_6=0 \text{ Ом}$	1	2
18	18		переход	$R_1+R_6=0 \text{ Ом}$	1	
19	18		3	$R_6=0,894 \text{ Ом};$ $R_1=0,94 \text{ Ом}$	1	3
20	17	назад	3	$R_6=0,894 \text{ Ом};$ $R_1=0,94 \text{ Ом}$	1	4
21	16	назад	3	$R_6=0,894 \text{ Ом};$ $R_1=0,94 \text{ Ом}$	1	4
22	15	назад	3	$R_6=0,894 \text{ Ом};$ $R_1=0,75 \text{ Ом}$	1	4
23	14	назад	3	$R_6=0,704 \text{ Ом};$ $R_1=0,75 \text{ Ом}$	1	4
24	13	назад	3	$R_6=0,484 \text{ Ом};$ $R_1=0,75 \text{ Ом}$	1	4
25	12	назад	3	$R_6=0,484 \text{ Ом};$ $R_1=0,53 \text{ Ом}$	1	4
26	11	назад	3	$R_6=0,484 \text{ Ом};$ $R_1=0,31 \text{ Ом}$	1	4

27	10	назад	3	$R_6=0,264 \text{ Ом};$ $R_1=0,31 \text{ Ом}$	1	4
28	9	назад	3	$R_6=0,144 \text{ Ом};$ $R_1=0,31 \text{ Ом}$	1	4
29	8	назад	3	$R_6=0,144 \text{ Ом};$ $R_1=0,12 \text{ Ом}$	1	4
30	7	назад	3	$R_6=0,144 \text{ Ом};$ $R_1=0,00 \text{ Ом}$	1	4
31	6	назад	3	$R_6=0 \text{ Ом};$ $R_1=0 \text{ Ом}$	1	4
32	5	назад	4	$R_6=0 \text{ Ом};$ $R_1=0 \text{ Ом}$	0,7	5
33	4	назад	4	$R_6=0 \text{ Ом};$ $R_1=0 \text{ Ом}$	0,5	5
34	3	назад	4	$R_6=0 \text{ Ом};$ $R_1=0 \text{ Ом}$	0,37	5
35	2	назад	4	$R_6=0 \text{ Ом};$ $R_1=0 \text{ Ом}$	0,28	5
36	1	назад	4	$R_6=0 \text{ Ом};$ $R_1=0 \text{ Ом}$	0,28	5

В таблице 1 в первой графе указан номер позиции пуска. Каждая позиция – это фиксированная топология силовой цепи и ее параметров, т.е. некоторое неизменное состояние силовой цепи. Номер позиции группового реостатного контроллера (ГРК) отражает фиксированную позицию ГРК, который управляет изменениями состояния силовой цепи. Третья графа отображает направление вращения вала ГРК. В процессе пуска силовая цепь меняет свое состояние, эти состояния отражены в четвертой графе. Упрощенные принципиальные схемы этих состояний приведены ниже на рисунках 3-6. В пятой графе указаны параметры элементов (величины сопротивлений) для всех позиций (см. рис. 3-6). Коэффициент β , приведенный в шестой графе – коэффициент ослабления возбуждения для каждой позиции, то есть отношение тока возбуждения к току якоря. Под системой уравнений (графа семь) понимается одна из следующих систем, записанных для соответствующих состояний силовой цепи:

$$\begin{array}{l}
 1. \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{F'_p(\omega, I_a)}{M_{np} \frac{R_k}{\mu_{ред}} + \frac{J}{\mu_{ред} R_k}} \\ \frac{dI_a}{dt} = \frac{U(I_a, N) - R_a I_a - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \\ F'_p = 4 \frac{c\Phi(I') I_{я1} \eta(I_a) \mu_{ред}}{R_k} - F_{сопр} \end{array} \right. \\
 2. \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{F'_p(\omega, I_a)}{M_{np} \frac{R_k}{\mu_{ред}} + \frac{J}{\mu_{ред} R_k}} \\ \frac{dI_a}{dt} = \frac{U(I_a, N) - R_a I_a - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \\ F'_p = 4 \frac{c\Phi(I') I_{я2} \eta(I_a) \mu_{ред}}{R_k} - F_{сопр} \end{array} \right. \\
 3. \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{F'_p(\omega, I_a)}{M_{np} \frac{R_k}{\mu_{ред}} + \frac{J}{\mu_{ред} R_k}} \\ \frac{dI_a}{dt} = \frac{U(I_a, N) - R_a I_a - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \\ \frac{dI_a}{dt} = \frac{U(I_a, N) - R_a I_a - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \\ F'_p = 4 \frac{c\Phi(I') I_{я3} \eta(I_a) \mu_{ред}}{R_k} - F_{сопр} \end{array} \right. \\
 4. \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{F'_p(\omega, I_a)}{M_{np} \frac{R_k}{\mu_{ред}} + \frac{J}{\mu_{ред} R_k}} \\ \frac{dI_a}{dt} = \frac{U(I_a, N) - R_a I_a - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \\ \frac{dI_a}{dt} = \frac{U(I_a, N) - R_a I_a - c\Phi(I')\omega_d}{L_a} \\ F'_p = 4 \frac{c\Phi(I') I_{я1} \eta(I_a) \mu_{ред}}{R_k} - F_{сопр} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Заключение

Подобная методика позволяет моделировать практически все виды подвижного состава с двигателями постоянного тока и реостатно-контакторной системой управления.

Для решения задачи моделирования процесса движения подвижного состава по линиям метрополитена необходимо:

- определить все необходимые технические данные вагонов 81-814/717;
- записать системы дифференциальных уравнений с определенными коэффициентами;
- разработать численный метод для решения полученных систем; разработать и реализовать алгоритм численного решения систем полученных дифференциальных уравнений.

Примечания:

1. Колбасинский Д.В. Энергосбережение на городском электрическом транспорте: монография / Д.В. Колбасинский. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 140 с.

2. Устройство и ремонт электропоездов метрополитена: учебник для ПТУ / Э.А. Сементовский, А.А. Богданов, В.С. Гусев, Ю.Я. Могильнер. Под ред. Э.А. Сементовского. Москва: Транспорт, 1991. 335 с.

3. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; Под ред. И.П. Исаева. Москва: Транспорт, 1995. 294 с.

4. Ефремов, И. С. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта: учебник для вузов / Ефремов И.С., Косарев Г.В. Москва: Высшая школа, 1976. 480 с.

References:

1. Kolbasinskii D.V. Energoberezhenie na gorodskom elektricheskom transporte: monografiya / D.V. Kolbasinskii. Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 140 s.
2. Ustroistvo i remont elektropoezdov metropolitena: uchebnik dlya PTU / E.A. Sementovskii, A.A. Bogdanov, V.S. Gusev, Yu.Ya. Mogil'ner. Pod red. E.A. Sementovskogo. Moskva: Transport, 1991. 335 s.
3. Teoriya elektricheskoi tyagi / V.E. Rozenfel'd, I.P. Isaev, N.N. Sidorov, M.I. Ozerov; Pod red. I. P. Isaeva. Moskva: Transport, 1995. 294 s.
4. Efremov, I. S. Teoriya i raschet elektrooborudovaniya podvizhnogo sostava gorodskogo elektricheskogo transporta: uchebnik dlya vuzov / Efremov I.S., Kosarev G.V. Moskva: Vysshaya shkola, 1976. 480 s.

УДК 621.02.93

Постановка задачи математического моделирования движения электроподвижного состава постоянного тока по линиям метрополитена¹Вероника Олеговна Ильяненко²Дмитрий Владимирович Колбасинский

¹ Сибирский федеральный университет, Российская Федерация
660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: v.ilyanenko@yandex.ru

² Сочинский государственный университет, Российская Федерация
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26а
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: dvkol@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены актуальность, а также основные проблемы и задачи моделирования физического процесса движения метрополитена. Приведены ранее полученные результаты и данные, способные помочь составить необходимые системы уравнений, описывающих движения электропоезда. Получены системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс движения электропоездов метрополитена на базе вагонов типа 81-714/717, как наиболее распространенных на территории РФ и СНГ. Данная область является достаточно новой для изучения и неисследованной, в частности, математическая модель движения электропоезда постоянного тока по линиям метрополитена не была получена ранее. В дальнейшем модель будет уточняться и использоваться для исследований неразрушающего контроля.

Ключевые слова: математическая модель электроподвижного состава, метрополитен, электропривод постоянного тока, реостатно-контакторная система управления, примеры систем дифференциальных уравнений, разгон электропоезда, вагоны типа 81-717/714.