

УДК 629.423.33

П. В. Губарев, И. В. Больших, Д. В. Ольховатов, А. С. Шапшал

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСЛЕ РЕМОНТА

Аннотация. Анализируя состояние электровозов, поступающих на заводской ремонт, становится очевидным, что в большей степени износу подвергаются узлы и детали электрического оборудования. Для повышения надежности работы электрооборудования на электровозоремонтных заводах и в депо требуется поэтапное внедрение современного диагностического оборудования, а также новых методов диагностики и испытаний локомотивов. В данной статье предлагается после завершения ремонта локомотивов проводить их испытания в сплотке. Рекомендуемая методика испытания тягового подвижного состава необходима для проверки тяговых качеств электровозов, а также определения их технико-экономических показателей.

Ключевые слова: заводской ремонт, электрическое оборудование, надёжность, тяговые двигатели, испытания в сплотке, тяговая характеристика, Тормозные характеристики, осциллограмма моделирования процесса.

Для цитирования: Губарев, П. В. Моделирование нагрузочных испытаний электровоза после ремонта / П. В. Губарев, И. В. Больших, Д. В. Ольховатов, А. С. Шапшал // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 54–60.

Анализируя состояние электровозов, поступающих на заводской ремонт, становится очевидным, что в большей степени износу подвергаются узлы и детали электрического оборудования [1]. Выполненный анализ указывает на то, что особенно часто в процессе эксплуатации выходят из строя тяговые двигатели, вспомогательные машины и другие элементы электровозов [2, 3]. Опираясь на выполненный анализ можно сделать следующие выводы, что для повышения надежности работы электрических аппаратов и машин локомотивов после технического обслуживания и текущих ремонтов необходимо применение современных диагностических комплексов и оборудования, наряду с применением новейших методов диагностики и испытаний тягового подвижного состава.

В настоящей работе предлагается внедрить процедуру испытаний локомотивов, прошедших текущий ремонт, в составе сплотки. При этом один из локомотивов будет функционировать в режиме тяги, выполняя роль ведущего локомотива, а второй - в режиме электрического торможения, выступая в качестве ведомого.

Рекомендуемая методика испытания тягового подвижного состава относится к транспортной области и необходима для проверки тяговых качеств электровозов, а также определения технико-экономических показателей локомотивов и характеристик их основных узлов и агрегатов. Предлагаемые испытания также возможно использовать для измерения и проверки тяговых характеристик локомотивов, необходимых для определения унифицированной массы поезда и проведения тяговых расчетов.

Номинальная мощность тягового электродвигателя ведущего электровоза рассчитывается по формуле

$$P_o = \frac{F_k V}{3,6 N_0 \eta}, \quad (1)$$

где η – коэффициент полезного действия тягового редуктора;
 F_k – касательная сила тяги ведущего электровоза;
 V – скорость ведущего электровоза;
 N_0 – число осей ведущего электровоза.

Ток тягового двигателя определяется по формуле

$$I_{\text{дн}} = \frac{1000 P_{\text{дн}}}{U_{\text{дн}} \eta_{\text{дн}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{дн}}$ – номинальное напряжение, подаваемое на тяговый двигатель, В;
 $\eta_{\text{дн}}$ – коэффициент полезного действия тягового двигателя в номинальном режиме.
 Соответственно, значение силы тяги электровоза, кН:

$$F_k = N_0 \cdot F_d = 3,6 \cdot N_0 \frac{P_d \eta}{V}. \quad (3)$$

На рисунке 1 представлена тяговая характеристика ведущего электровоза ЭП20.

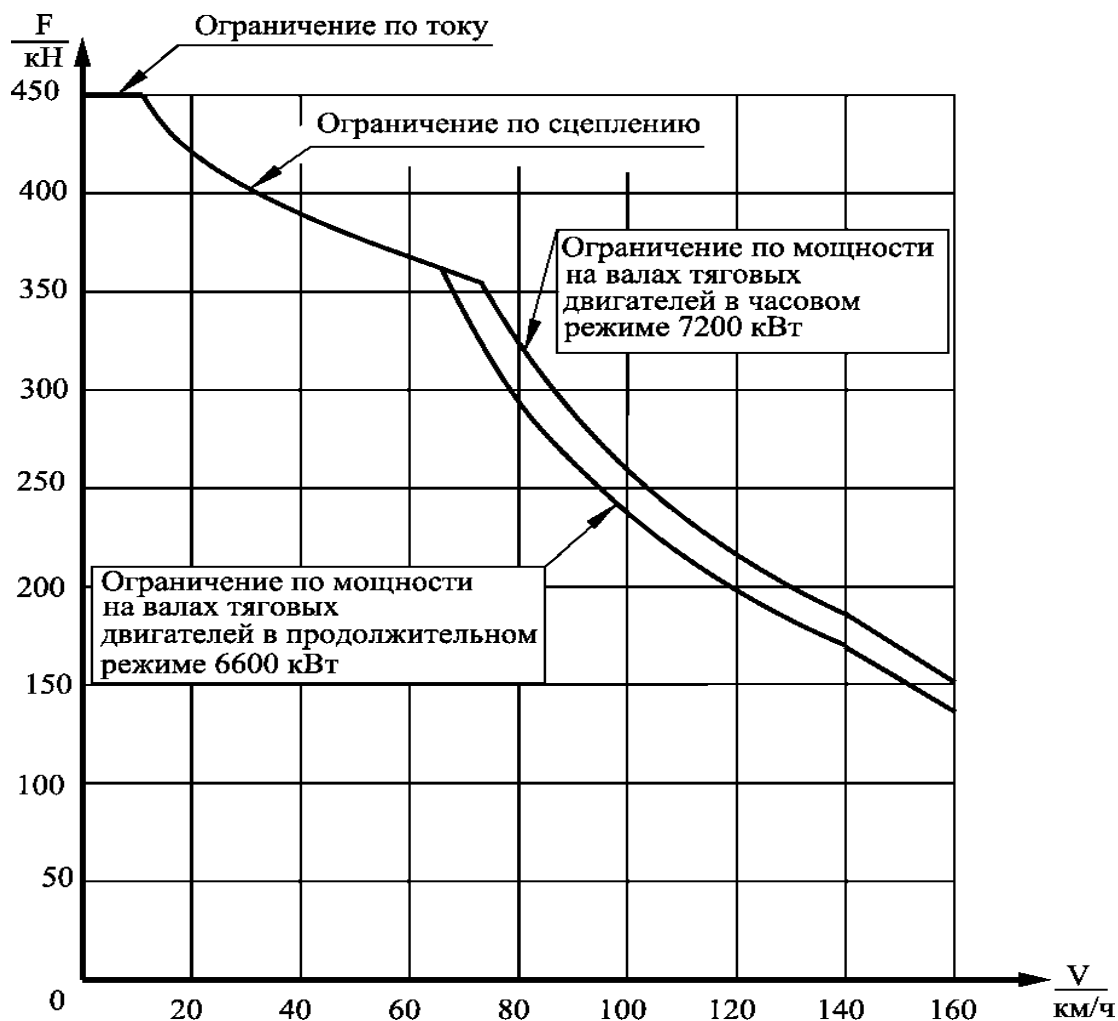


Рис. 1. Тяговые характеристики электровоза ЭП20:

V – скорость электровоза; F – сила тяги электровоза

Для тормозной силы из условия ограничения по мощности на валах тяговых двигателей можно записать

$$B_k = N_0 \frac{3,6P_{\text{дн}}}{\eta V}, \text{ кН.} \quad (4)$$

График $B_k = f(V)$ ведомого электровоза ЭП20 представлен на рисунке 2.

Пусть на ведущий электровоз массой m , совершающий прямолинейное движение, действуют следующие силы (рис. 3):

1 Сила тяги ведущего электровоза F .

2 Сила сопротивления, пропорциональная скорости движения: $R = -\mu \cdot x_d'$, ($V = x_d'$)

Здесь μ – коэффициент сопротивления силы R .

3 Сила торможения B от второго электровоза, сцепленного с ведущим и работающего в режиме электрического торможения.

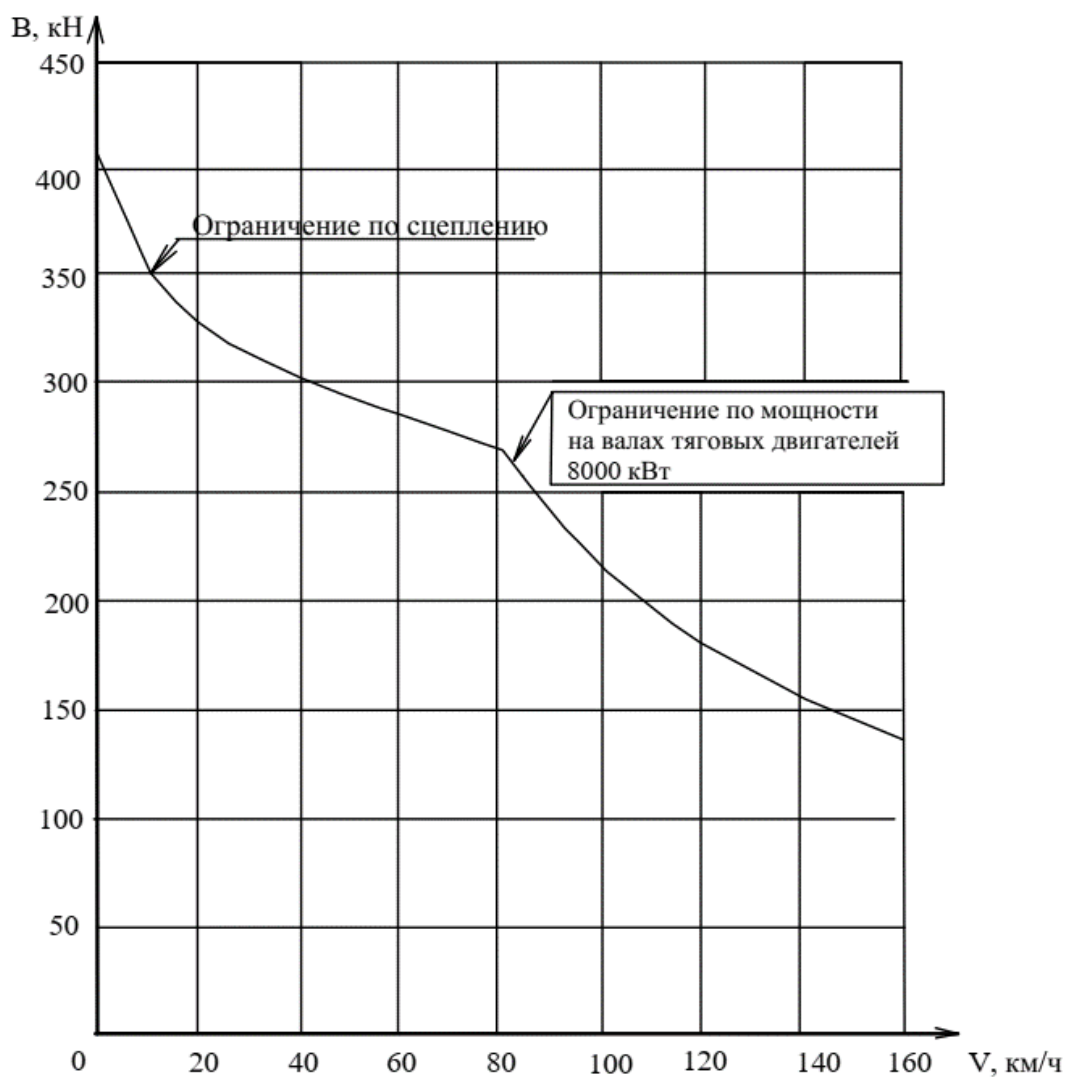


Рис. 2. Тормозные характеристики электровоза ЭП20 при рекуперации:

V – скорость электровоза; B – тормозная сила электровоза

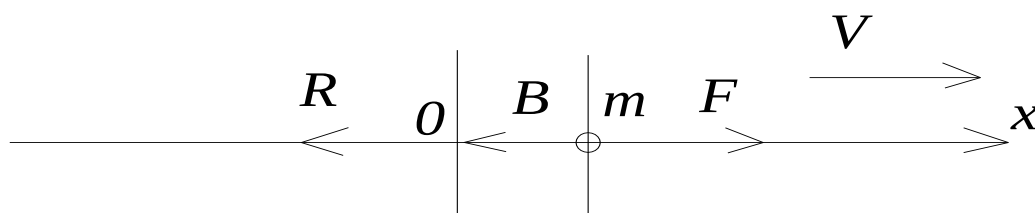


Рис. 3. Расчетная схема испытания двух электровозов

Запишем и преобразуем дифференциальное уравнение движения двух электровозов:

$$m \cdot x_d'' + R + B - F = 0;$$

$$m \cdot x_d'' = F - B - \mu \cdot x_d'; \quad (5)$$

$$x_d'' = \frac{1}{m} (F - B - \mu \cdot x_d').$$

Исходные данные:

$$m = 1350 \text{ кН};$$

$$1/m = 0,0007 \text{ 1/кН}.$$

Выполним моделирование данного процесса испытания двух электровозов в цепке в программе SimInTech [4–7] (рис. 4).

Здесь заданы следующие параметры:

Для силы тяги: $t=0; 100; 10000 \text{ с};$

$F=50; 300; 300 \text{ кН};$

$\mu=13,5 \text{ кН/м/с}.$

Для силы торможения:

$t=0; 600; 700; 10000 \text{ с};$

$B=0; 0; 300; 300 \text{ кН}.$

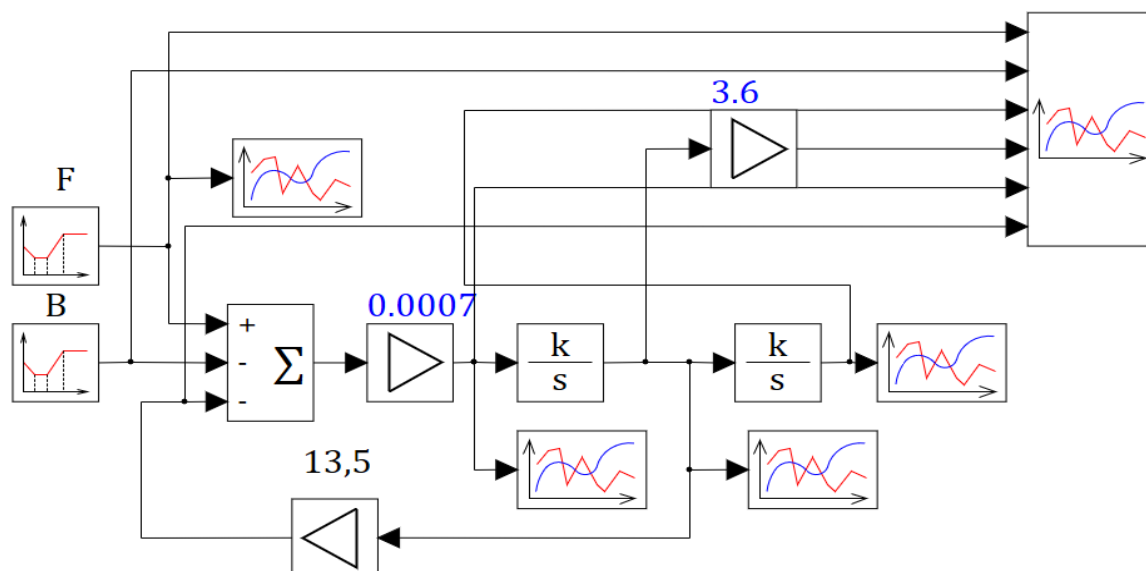


Рис. 4. Модель процесса движения сплотки электровозов в режимах тяги и рекуперации при измененных параметрах

Осциллограмма моделирования процесса движения сплотки электровозов в режимах тяги и рекуперации представлена на рисунке 5.

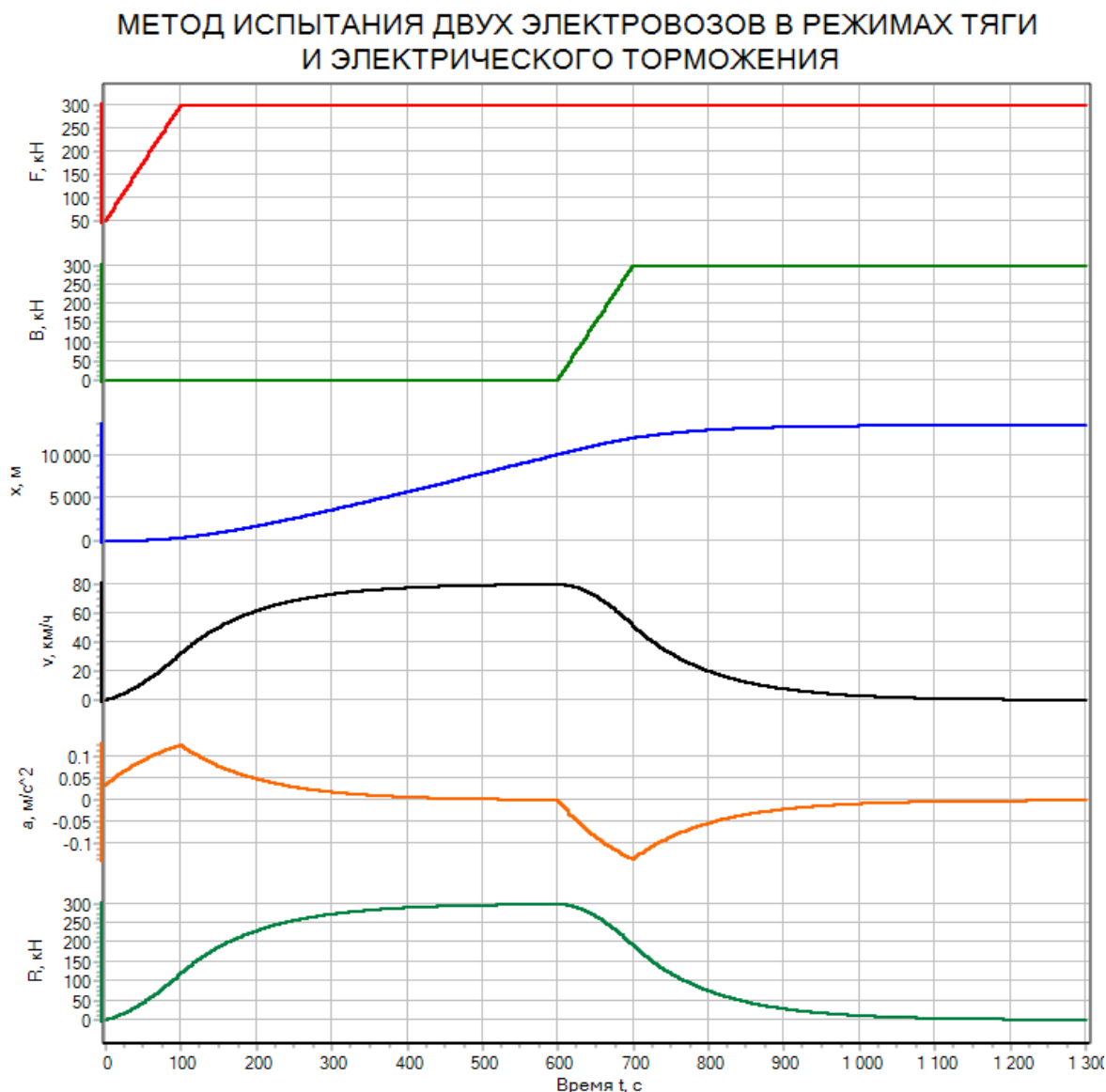


Рис. 5. Осциллограмма моделирования процесса движения сплотки электровозов в режимах тяги и рекуперации

Выводы

- 1 Исчезает необходимость в использовании дорогостоящей вагон-лаборатории.
- 2 Рекомендуемая методика проверки электровозов под нагрузкой после окончания ремонта позволяет определять состояние электрического оборудования или выявлять результаты выполненных работ, которые по своему качеству не соответствуют установленным стандартам или техническим условиям.
- 3 Появляется возможность проверки работоспособности электрического тормоза на ведомом электровозе.
- 4 На графиках виден темп набора расстояния пути, что позволяет, изменяя силы тяги и торможения, выбрать оптимальный режим испытаний.
- 5 Графическая зависимость показывает темп прироста расстояния, где, изменяя усилия тяги и торможения, можно выбрать оптимальный режим движения при испытании электроподвижного состава.

Библиографический список

1. **Балашов, Е. Д.** Подходы к модернизации электровозов постоянного тока с реостатно-контакторной системой регулирования с применением импульсных преобразователей постоянного напряжения / Е. Д. Балашов, Д. Е. Притыкин, А. Д. Петрушин // Транспорт: наука, образование, производство : труды Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25–27 апреля 2022 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 15–19.
2. **Петрушин, А. Д.** Повышение надежности изоляции обмоток тяговых вентильно-индукторных двигателей / А. Д. Петрушин, Д. А. Пигалев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4(57). – С. 73–78.
3. **Гребенников, Н. В.** Определение коэффициента полезного действия тяговых электрических машин локомотивов в условиях эксплуатации / Н. В. Гребенников // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 4(16). – С. 31–38.
4. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech / Б.А. Карташов, Е.А. Шабаев, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 423 с.
5. Программное обеспечение SimInTech для программирования приборов систем управления / Ф.И. Баум, О.С. Козлов, И.А. Паршиков [и др.] // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113, Вып. 6. – С. 354–357.
6. **Щекатуров, А. М.** Методика разработки функционального программного обеспечения АСУ ТП ЯЭУ с применением модельно-ориентированного подхода в SimInTech / А.М. Щекатуров, К.А. Тимофеев, О.С. Козлов // Университетский научный журнал. – 2015. – №15. – С. 80–87.
7. Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – URL: <http://simintech.ru/help/rus>.

P. V. Gubarev, I. V. Bolshykh, D. V. Olkhovатов, A. S. Shapshal

SIMULATION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE LOAD TESTS AFTER THE REPAIR

Abstract. Analyzing the condition of electric locomotives arriving for factory repairs, it becomes obvious that components and parts of electrical equipment are more subject to wear. To improve the reliability of electrical equipment at electric locomotive repair plants and depots, a phased introduction of modern diagnostic equipment, as well as new methods of diagnosis and testing of locomotives is required. This article suggests that after the repair of locomotives is completed, they should be tested in a raft. The recommended test procedure for traction rolling stock is necessary to check the traction qualities of electric locomotives, as well as to determine their technical and economic indicators.

Keywords: factory repair, electrical equipment, reliability, traction motors, tests in a raft, traction characteristics, Braking characteristics, oscillogram of process modeling.

For citation: Gubarev, P. V. Simulation of Electric Locomotive Load Tests After the Repair / P. V. Gubarev, I. V. Bolshykh, D. V. Olkhovатов, A. S. Shapshal // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobsenia. – 2024. – № 3. – P. 54–60.

Сведения об авторах**Губарев Павел Валентинович**

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: pavel.gybarev@yandex.ru

Больших Иван Валерьевич

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: ivan.bolshih@yandex.ru

Ольховатов Дмитрий Викторович

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: Dmolkh@yandex.ru

Шапшал Александр Сергеевич

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: don-shapshal@bk.ru

Information about the authors**Gubarev Pavel Valentinovich**

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: pavel.gybarev@yandex.ru

Bolshykh Ivan Valeryevich

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: ivan.bolshih@yandex.ru

Olkhovatov Dmitry Viktorovich

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: Dmolkh@yandex.ru

Shapshal Alexander Sergeevich

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: don-shapshal@bk.ru