



Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет
путей сообщения

Материалы четвертой всероссийской научно-технической конференции с международным участием



**Эксплуатационная надежность
локомотивного парка и повышение
эффективности тяги поездов**

Омск 2018

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет путей сообщения



ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

Материалы IV всероссийской
научно-технической конференции
с международным участием

(8 ноября 2018 г.)

УДК 629.4.083; 629.4.014.2; 629.488
ББК 39.2

Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы IV всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2018. 227 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по комплексу научных направлений, посвященных тягово-энергетическому обеспечению перевозочного процесса и проблемам вождения поездов повышенной массы и длины; повышению эксплуатационной надежности и эффективности использования тягового подвижного состава; влиянию конструктивных особенностей тягового подвижного состава на эффективность перевозочного процесса; техническому обслуживанию и ремонту локомотивов; совершенствованию технологии и средств технического диагностирования тягового подвижного состава; проблемам обеспечения скоростного и высокоскоростного движения поездов, эффективности использования системы тягового электроснабжения и ее взаимодействия с электроподвижным составом.

Представленные в сборнике материалы могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых типов и серий подвижного состава для железнодорожного транспорта, совершенствовании процессов его технического обслуживания и ремонта.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области железнодорожного подвижного состава.

Библиогр.: 175 назв. Табл. 24. Рис. 94.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, профессор И. И. Галиев (отв. редактор);

доктор техн. наук, доцент С. М. Овчаренко;

доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин;

доктор техн. наук, профессор В. А. Четвергов;

доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора).

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ В. А. Аксенов;

доктор техн. наук, профессор В. Н. Горюнов.

ISBN 978-5-949-41216-9

© Омский гос. университет
путей сообщения, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

Анисимов А. С., Чернышков И. В., Метелев А. А. Экспериментальное исследование изменения эксплуатационных параметров работы дизеля ЯМЗ-7514 при работе по нагрузочной характеристике.....	5
Бакланов А. А., Есин Н. В., Шиляков А. П., Добролюбов И. О. Особенности обслуживания и ремонта безопасного локомотивного объединенного комплекса в условиях производственного участка.....	10
Бублик В. В., Гателюк О. В., Третьяков Е. А., Юрасов Д. В. Анализ перенапряжений и бросков тока в обмотках тяговых двигателей электровозов серии 2ЭС6 в переходных режимах.....	16
Кузнецов А. А., Муравьев Д. В., Усачева К. В. Комплексные методы контроля качества литья элементов подвижного состава.....	25
Харламов В. В., Попов Д. И., Стретенцев А. И. Повышение достоверности диагностирования состояния коммутации коллекторных электродвигателей подвижного состава железных дорог.....	33
Пономарев Е. В., Тараненко В. А. Конструктивные особенности и сервисное обслуживание электровозов серий 2ЭС6, 2ЭС10.....	41
Шкодун П. К., Огневский А. С., Супоня Д. В. Разработка алгоритма оценки технического состояния тяговых двигателей в динамических режимах.....	49
Даньшин В. Г., Комяков А. А. Анализ факторов, влияющих на эксплуатационные показатели компрессорного оборудования электроподвижного состава.....	56
Андриевский А. Г. Кожух зубчатой передачи локомотива с виброзащитным креплением к тяговому двигателю.....	61
Блинов А. П., Блинов П. Н., Бернс П. А. Алгоритм взаимодействия топливной и регулирующей аппаратуры дизеля при испытаниях на стендах.....	65
Буйносов А. П. Влияние на ресурс бандажей обработки колесных пар триботехническим составом.....	73
Буйносов А. П., Динисламов А. Р. Повышение эксплуатационной надежности поверхностно упрочненных деталей механической части электровозов	80
Иванов В. С., Баринев И. А. Цепи защиты транзисторного выпрямительно-инверторного преобразователя для электроподвижного подвижного состава переменного тока.....	86
Свечников А. А., Метальников И. В. Контроль и диагностика тепловозов 2ТЭ116У в эксплуатации.....	92
Федоров Е. В. Способ закрепления подвижного состава.....	98

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

А. Энх-Амгалан. Повышение эффективности тяги поездов на Улан-Баторской железной дороге.....	105
Доманов К. И., Истомин С. Г. Тяговые возможности электровоза двойного питания 2ЭВ120 на Западно-Сибирской железной дороге.....	111
Истомин С. Г., Юрасов О. Д., Штраухман А. А. Анализ параметров и режимов работы вспомогательного оборудования пригородных электропоездов постоянного тока серии ЭД4М .	119
Кузнецова М. А. Повышение эффективности методов диагностирования тяговых трансформаторов в условиях тяжеловесного движения	123
Никифоров М. М., Вильгельм А. С. Влияние массы составов и размеров движения поездов на эффективность использования энергии рекуперации на участках железных дорог переменного тока.....	129
Михеев В. А., Томилова О. С., Сергеев П. Б. Повышение производительности тягового подвижного состава в грузовом движении за счет использования инновационных полувагонов.....	139
Шилер В. В., Шилер А. В. Результаты натурных испытаний колесной пары с независимым вращением колес колесной пары.....	148
Сидоров О. А, Томилов В. В., Утепбергенова С. М. Исследование конструкции европолозов токоприемников электроподвижного состава для улучшения качества токосъема	153
Никонов А. В., Хусаинов Е. К. Оценка влияния регулируемых устройств компенсации реактивной мощности на работу фазочувствительных защит контактной сети переменного тока	160
Саркенов С. С. Влияние режимов питания межподстанционных зон на тяговое электропотребление в условиях интервальной организации движения поездов	165
Полевых Д. В. Снижение индуктивности реакторов в составе сглаживающих устройств тяговых подстанций	171
Абляимов О. С. Оценка тягового качества профиля пути участка Каттакурган – Навои при дизельной тяге.....	175
Баринов И. А., Иванов В. С. О перспективности применения систем бортового хранения рекуперированной энергии на рельсовом транспорте	181
Глущенко М. Д., Горюнов И. О. Методика совершенствования расчета магнитного поля на основе уравнения максвелла	189
Баранов В. А., Киселев А. А., Мазнев А. С. Оценка тяговых возможностей электровозов 2ЭС5Е и 3ЭС5К с длинносоставными поездами повышенной массы на участке Пергуба – Новый поселок	196
Абляимов О. С. К эффективности электровозов 3ВЛ80° на участке Каттакурган – Навои АО «Узбекистон темир йўллари».....	204
Плаксин А. В., Швецов С. В., Кульневич Е. С. О снижении расхода электрической энергии при эксплуатации пассажирских электровозов на равнинных участках железных дорог....	210
Анисимов А. С. Работа энергетических установок, вспомогательных систем и эффективность использования автономных локомотивов	217

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Баринов Игорь Александрович

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Ул. Чернышевского, д. 15, Иркутск, 664074,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной
состав», ИрГУПС.
Тел.: +7 914 907-37-20.
E-mail: ib4558@yahoo.com.

Иванов Владислав Сергеевич

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Ул. Чернышевского, д. 15, Иркутск, 664074,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной
состав», ИрГУПС.
Тел.: +7 983 153-10-75.
E-mail: vladislav-sergeevich-irgups@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Barinov Igor Alexandrovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
15, Chernyshevsky str., 664074, Russian
Federation.
Postgraduate of the department «Electric
Rolling Stock» ISTU.
Phone: +7 914 907-37-20.
E-mail: ib4558@yahoo.com.

Ivanov Vladislav Sergeevich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
15, Chernyshevsky str., 664074, Russian
Federation.
Postgraduate of the department «Electric
Rolling Stock» ISTU.
Phone: +7 983 153-10-75.
E-mail: vladislav-sergeevich-irgups@mail.ru.

УДК 537.8

М. Д. Глущенко, И. О. Горюнов

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Проектирование электрической машины — сложная многовариантная задача. При ее решении необходимо учитывать достаточно большое количество факторов. Главная задача перед инженерами при проектировании является получение готового продукта, который по своим характеристикам будет наиболее близким к заданному проекту. Кроме этого, на этап проектирования желательно затрачивать как можно меньше времени. Поэтому проектировщики в своей работе стараются использовать все новейшие достижения теории и практики электромашиностроения, методики и подходы к расчету и проектированию электрических машин.

Ключевые слова: уравнение Максвелла, магнитное поле, электродвигатель постоянного тока, критерий подобия.

MAGNETIC FIELD CALCULATION IMPROVEMENT METHOD BASED ON MAXWELL'S EQUATIONS

Designing an electrical machine is a complex task. The solution should take into account quite a number of factors. The main task for engineers during the design is to obtain the finished product, that will be with their characteristics most closely to a given project. In addition, the design phase is desirable to spend time short as possible. That is why engineers try to use all the latest design's achievements and new methods of engine's calculation.

Keywords: Maxwell's equation, magnetic field, DC electric motor, similarity criterion.

Большинство расчетных методик исходит из так называемой «машинной постоянной», определяемой из допустимых электромагнитных нагрузок.

Машинная постоянная Арнольда записывается в виде:

$$P_A = \frac{D^2 l_\delta \omega}{P'} = \frac{2}{\pi a_\delta k_B k_{OB} A B_\delta}, \quad (1)$$

где D — диаметр якоря или внутренний диаметр статора, м; l_δ — расчетная длина магнитопровода, м; ω — угловая скорость, рад/с; P' — расчетная мощность, Вт; A — линейная нагрузка, А/м; B_δ — индукция в воздушном зазоре, Тл; a_δ — коэффициент полюсного перекрытия; k_B — коэффициент формы кривой индукции, учитывающий изменение напряжения на выводах машины при холостом ходе и нагрузке; k_{OB} — обмоточный коэффициент.

Определив $P_A = f(P')$ для различных типов электрических машин, можно получить базу для их расчетов. Машинная постоянная не является константой и зависит от электромагнитных нагрузок, напряжения, типа изоляции, системы охлаждения, стоимости материалов, надежности работы машины, суммы капитальных и эксплуатационных затрат и других факторов.

Преобразование энергии в электрических машинах обусловлено электромагнитными процессами и поэтому представляет практический интерес зависимости постоянной Арнольда от параметров магнитного поля.

Применительно к электрическим машинам известны различные подходы и рекомендации определения характеристик магнитного поля. Наиболее распространён метод уравнений Кирхгофа, когда магнитный поток, создаваемый обмотками машины, замыкается через характерные участки машины,

образующие ее магнитную цепь. Например, у электрических машин постоянного тока основными участками магнитной цепи являются ярмо (станина), сердечники полюсов (включая полюсные башмаки, или наконечники), сердечник якоря, обмотка якоря, зубцы якоря и воздушный зазор между полюсными наконечниками и якорем. Указанные участки магнитной цепи характеризуются размерами и свойствами материалов, из которых они изготовлены.

Совершенствование этого метода позволило создать методы расчёта магнитного поля на основе уравнений Максвелла. При этом используют дифференциальное уравнение для векторного магнитного потенциала

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} = -\mu \delta(x, y, z), \quad (2)$$

где A – векторный потенциал; μ – магнитная проницаемость; δ – плотность тока; x, y, z – координаты.

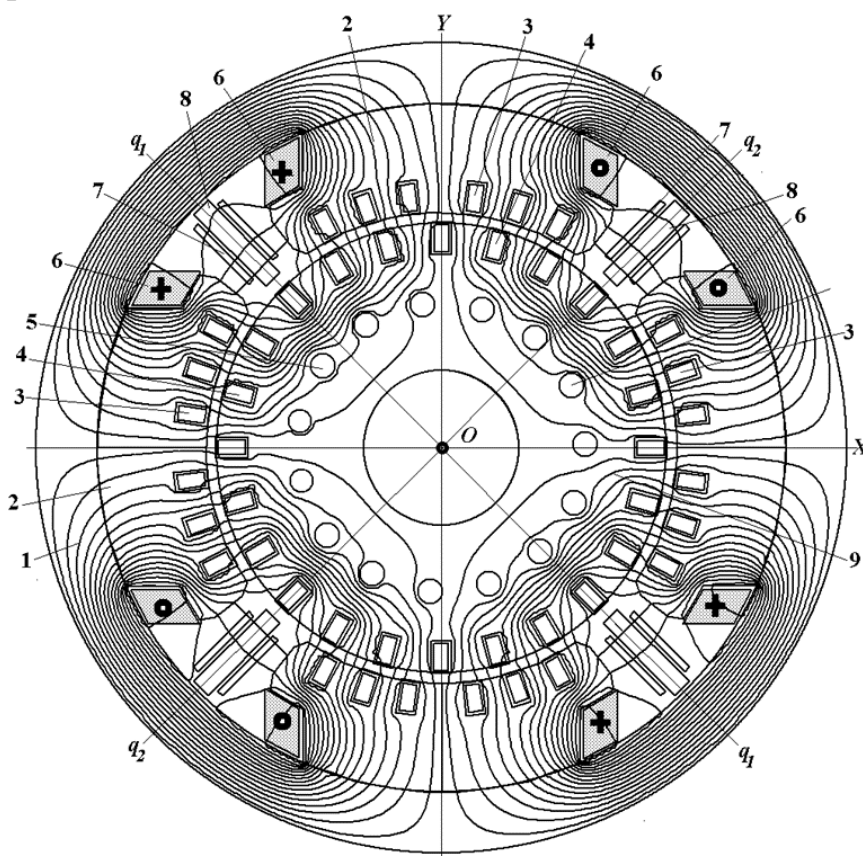


Рис. 1. Магнитное поле обмотки возбуждения

1-остов; 2 – сердечник главного полюса; 3 – компенсационная обмотка;
4 – обмотка якоря; 5 – продольный канал; 6 – катушка обмотки возбуждения;
7 – катушка добавочного полюса; 8 – сердечник добавочного полюса;
9 – сердечник якоря.

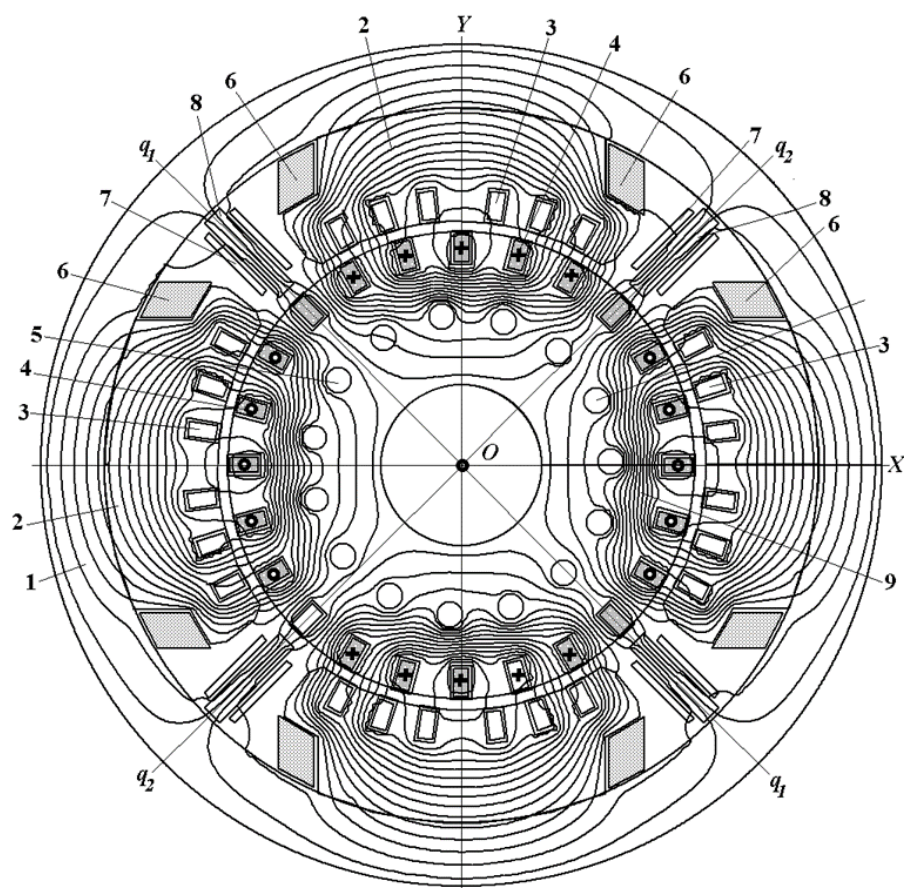


Рис. 2. Магнитное поле обмотки якоря

- 1 – остов; 2 – сердечник главного полюса; 3 – компенсационная обмотка;
 4 – обмотка якоря; 5 – продольный канал; 6 – катушка обмотки возбуждения;
 7 – катушка добавочного полюса; 8 – сердечник добавочного полюса;
 9 – сердечник якоря.

При решении уравнения (2) используют численные методы, в результате чего получают картину магнитного поля в виде распределения магнитных силовых линий. В качестве примера на рис 1, 2 представлено магнитное поле 4х полюсной электрической машины постоянного тока обусловленное токами обмотки возбуждения и обмотки якоря. Аналогично может быть представлено магнитное поле компенсационной обмотки и добавочных полюсов.

Представленные результаты позволяют считать, что магнитная индукция в каждой точке сечения электрической машины и, следовательно, параметры электрических машин определяются магнитным полем обмотки возбуждения, обмотки якоря, обмотки добавочных полюсов и компенсационной обмотки.

Поэтому целесообразно принять, что машинная постоянная Арнольда (1) является функцией множества параметров, и в том числе от соотношения

между магнитными полями вызванными обмотками. Во многих случаях для этого применяют критериальные уравнения, вид которых определяют методами теории подобия. Применительно к рассматриваемому случаю целесообразно учитывать следующее.

Любой рассматриваемый физический процесс и в том числе магнитное поле электрических машин может быть представлен в виде сложных дифференциальных уравнений, которые передают определенные знания о характере зависимостей между исследуемыми величинами. Однако на основе дифференциальных выражений невозможно сделать выводы о конкретных соотношениях между переменными, [1-5]. Следовательно, решением уравнений количественной задачи будет являться переход от уравнений к закономерностям, которые и определяют одни величины через другие. Кроме этого для решения сложных задач происходит неизбежное упрощение. Всё это приводит к приближенным результатам, которые имеют мало практической ценности и лишены оценочного характера. Основное значение получают численные методы решения [1-5], которые в настоящее время получили широкое распространение в связи увеличением мощностей вычислительной техники. Однако, несмотря на это, количественные данные, получаемые в результате численного решения при том, что дают конкретные соотношения, не способны выразить наглядные внутренние взаимосвязи и взаимозависимости. В технических расчетах применяются несколько методов расчетов: метод базовой точки, анализ размерностей и анализ уравнений. Здесь дальнейшее ход исследования будет проходить в соответствии со второй теоремой подобия (или П-теоремы). В ней делается предположение, что полное уравнение физического процесса может быть представлено в виде зависимости его отдельных критериев подобия. Полное физическое уравнение при этом имеет вид:

$$f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) = 0, \quad (3)$$

где P_1, P_n критерии подобия физического объекта.

Применительно к рассматриваемой задаче перечень физических величин представлен в табл. 1. Критерии подобия, полученные с учётом изложенного выше представлены в табл. 2.

Таблица 1

Физические величины, характеризующие магнитное поле

Физическая величина	Обозначение	Формула размерности
Площадь под магнитопроводом	S	L^2
Магнитная индукция	B	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \mu^{\frac{1}{2}}$
МДС	F	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \mu^{-\frac{1}{2}}$
Воздушный зазор	δ	L
Магнитный поток	Φ	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \mu^{\frac{1}{2}}$
Напряженность магнитного поля	H	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \mu^{-\frac{1}{2}}$
Электродвижущая сила	E	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2} \mu^{\frac{1}{2}}$
Диаметр якоря	D	L
Магнитный момент	M	$L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \mu^{\frac{1}{2}}$
Частота	n	T^{-1}

Таблица 2

Выведенные критерии подобия

	Критерии подобия					
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6
Выражение	$\frac{B \cdot S^{\frac{3}{2}}}{M}$	$\frac{\delta}{S^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{\Phi \cdot S^{\frac{1}{2}}}{M}$	$\frac{H \cdot S^{\frac{1}{2}}}{F}$	$\frac{D}{S^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{n \cdot M}{S^{\frac{1}{2}} \cdot E}$

Критериальное уравнение исследуемого процесса представляется в виде функциональной зависимости между критериями подобия.

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6) = 0. \quad (4)$$

При этом один из критериев подобия является функцией других критериев и поэтому выполняется при соблюдении независимых критериев подобия. В итоге критериальное уравнение имеет вид:

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6). \quad (5)$$

Заключение

Была решена задача подобия магнитного поля электрических машин постоянного тока, для этого был проведен анализ магнитной цепи, получены шесть безразмерных комплексов, описывающих сложную систему. Из них было составлено критериальное уравнение. Анализ размерностей позволил найти безразмерные комплексы, которые описывают принципиальные отношения или зависимости в сложной системе. Критерий Π_1 выражает соотношение между магнитной индукцией, площадью под магнитным потоком и магнитным моментом; критерий Π_2 – соотношение между величиной воздушного зазора и площадью под магнитным потоком; Π_3 показывает соотношение между магнитным потоком, площадью и магнитным моментом; критерий Π_4 выражает соотношение между напряженностью магнитного поля, площадью и МДС; критерий Π_5 между площадью и диаметром якоря.

Список литературы

1. Гухман, А. А. О сущности теории подобия / А. А. Гухман, Е. А. Ермакова // Московский институт химического машиностроения. – М.: Типография МИХМ, 1959. – С. 8 – 13.
2. Гухман, А. А. Введение в теорию подобия / А. А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1973. – С. 243 – 291.
3. Хантли, Г. Анализ размерностей / Г. Хантли, А. Ф. Ульянова – М.: Издательство Мир, 1970. – С. 171 – 174.
4. Веников, В. А. Теория подобия и моделирование / В. А. Веников, Г. В. Веников, изд. 4-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – С. 209 – 227.
5. Машины постоянного тока. Теория и исследование / Э. Арнольд [и др.]. – М.: Государственное техническое издательство, 1931. – С. 88 – 125.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Глущенко Михаил Дмитриевич
Российский университет транспорта
(МИИТ).
ул Образцова, д 9, стр. 9, г. Москва, 127994,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, доцент кафедры
«Электропоезда и локомотивы» (РУТ –
МИИТ).
Тел.: +7 (916) 4967185
E-mail: mr.gluschenko@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Gluschenko Mikhail Dmitrievich
Russian University of Transport (RUT -
MIIT).
9b9 Obrazcova st., Moscow, 127994, the
Russian Federation.
Doctor of Technical Science, Associate
Professor of the department «Electric trains
and locomotives» (RUT - MIIT)
Phone: +7 (916) 4967185.
E-mail: mr.gluschenko@mail.ru

Горюнов Иван Олегович
Российский университет транспорта
(МИИТ).
ул Образцова, д 9, стр. 9, г. Москва, 127994,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электропоезда и
локомотивы» (РУТ – МИИТ).
Тел.: +7 (905) 7980540
E-mail: ivan.goryunov@yandex.ru

Goryunov Ivan Olegovich
Russian University of Transport (RUT -
MIIT).
9b9 Obrazcova st., Moscow, 127994, the
Russian Federation.
Postgraduate of the department «Electric trains
and locomotives» (RUT - MIIT)
Phone: +7 (905) 7980540
E-mail: ivan.goryunov@yandex.ru

УДК 629.423

В. А. Баранов¹, А. А. Киселев², А. С. Мазнев²

¹Октябрьская дирекция управления движением, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ОЦЕНКА ТЯГОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС5К И ЗЭС5К С ДЛИННОСОСТАВНЫМИ ПОЕЗДАМИ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ НА УЧАСТКЕ ПЕРГУБА – НОВЫЙ ПОСЕЛОК

Приведены результаты тяговых расчетов для передвижения длинносоставных поездов массой 5200 и 6500 т электровозами 2ЭС5К и 3ЭС5К соответственно без использования вспомогательных локомотивов на участке Пергуба – Новый поселок.

Ключевые слова: тяговые расчеты, электровоз переменного тока, длинносоставный состав.

Valery A. Baranov¹, Aleksandr A. Kiselev², Aleksandr S. Maznev²

¹October Directorate of Traffic Management, Saint-Petersburg, the Russian Federation

²Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, the Russian Federation

ESTIMATION OF 2ES5K AND 3ES5K LOCOMOTIVES TRACTION OPPORTUNITIES WITH LONG-CONSTITUTED TRAINS OF THE INCREASED MASS ON THE TRACK SECTION PERGUBA – NOVY POSELOK

The results of traction calculations for the movement of long-haul trains of 5200 and 6500 tons by electric locomotives 2ES5K and 3ES5K without the use of auxiliary locomotives in the Perguba - Novy poselok track section are presented.

Keywords: grade computations, AC electric locomotive, long-haul train.

Научное издание

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ
ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И ПОВЫШЕНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

Материалы IV всероссийской
научно-технической конференции
с международным участием
(8 ноября 2018 г.)

Ответственный за выпуск Е. В. Пономарев

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 23.11.2018. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 14,0. Уч.-изд. л. 15,6.
Тираж 300 экз. Заказ

* *

Типография ОмГУПС

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35