

УДК 629.423

*О. С. Валинский, А. М. Евстафьев, П. Г. Колпахчян, А. Н. Сычугов***ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЛОКОМОТИВЫ ДЛЯ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА¹**

Аннотация. В статье выполнен анализ современных отечественных локомотивов, сформулированы требования к перспективным сериям локомотивов для Восточного полигона.

Ключевые слова: перспективный локомотив, Восточный полигон, бесколлекторный тяговый привод.

Для цитирования: Перспективные локомотивы для Восточного полигона / О. С. Валинский, А. М. Евстафьев, П. Г. Колпахчян, А. Н. Сычугов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1. – С. 85 – 93.

Сегодня Восточный полигон железных дорог крайне востребован. Объемы перевозок за последние годы заметно выросли и продолжают увеличиваться. ОАО «РЖД» и ведущие машиностроительные компании реализуют ряд мероприятий, направленных развитие технологий и увеличение провозной способности лимитирующих направлений, и совершенствование сквозного процесса доставки груза. Одним из таких направлений является разработка перспективного локомотива для работы на Восточном полигоне. Необходимо отметить, что основными грузовыми электровозами на полигоне является электровозы серии ЭС5К и тепловозы серии ТЭ25. Для определения требований к перспективному локомотиву необходимо провести анализ мирового опыта в данной области.

Рассмотрим эксплуатационные показатели железнодорожных операторов ряда стран, включая США, Китай, Германию, Францию, ЮАР, Индию, Южную Корею и Россию (таблица 1) [1].

На основе данных таблицы 1 железные дороги можно классифицировать на три группы:

1. железные дороги с протяженностью в десятки тысяч километров, характеризующиеся высокими объемами грузо- и пассажирооборота, при значительной доле электрифицированных линий.
2. железные дороги с протяженностью в десятки тысяч километров и высокими объемами грузо- и пассажирооборота, но с низким уровнем электрификации.
3. железные дороги с протяженностью до нескольких десятков тысяч километров, эксплуатационные показатели которых существенно ниже, чем у железных дорог первых двух групп.

Помимо эксплуатационных показателей работы железных дорог при классификации были учтены прогнозы международного энергетического агентства. На железнодорожном транспорте России, Китая и Индии прогнозируется рост потребления электроэнергии, затрачиваемой на тягу поездов, в то время как в США – рост потребления только дизельного топлива (рис.1) [2].

Безусловно, предложенное разделение на группы носит условный характер. Тем не менее, проведенный анализ показал, что объемы работы железнодорожного транспорта Китая и Индии сопоставимы с показателями работы железных дорог России. В связи с этим оправданным представляется использование опыта этих стран при формулировании требований к локомотивам, предназначенным для эксплуатации в российских условиях.

Таблица 1

Эксплуатационные характеристики железных дорог стран мира

Страна	Эксплуатационная длина сети, км	Длина электрифицированных линий, км	Отправлено грузов, млн. т	Коммерческий грузооборот, млрд. ткм	Коммерческий грузооборот на 1 км эксплуатационной длины, млн. т	Локомотивный парк, ед.	Пассажирооборот (для США - Амтрак), млрд. пасс.-км	Объем пассажирских перевозок, млн. чел.	Общий пробег поездов, млн. поездо-км (для США - пробег в грузовом движении)	Среднесписочная численность работников в целом, тыс. чел.
США (AAR)	148258	н\д	1364	2306	15.6	24373	7.5	22.6	676.3	143.4
Германия (DB AG)	33426	20439	202	84.2	2.5	3675	63.2	1671.5	399	321.8
Франция (SNCF)	28468	16254	34	16.1	0.5	1514	85.3	1076	175.5	94.7
Китай (CR)	92746	71019	2621	2352.8	26.6	20182	654.3	1895.6	1254.8	1682.4
ЮАР (Transnet)	20953	8043	216	85.2	4.1	2127	3.5	146.6	74	35.1
Индия (IR)	67690	39644	1247	746.1	11	12494	841.4	5916	809.4	1243.4
Южная Корея (Korail)	4226	3188	26	6.9	1.5	415	19.2	114.9	53.9	29
Россия (РЖД)	85539	44156	1378	2602.8	30.4	13507*	113.4	1083.1	1308.8	691

С 2004 года Китай активно занимался локализацией производства электроподвижного состава с асинхронными тяговыми электродвигателями, разработанного в сотрудничестве с ведущими мировыми компаниями. На сегодняшний день эта задача успешно решена. Производственные мощности, сосредоточенные на многочисленных предприятиях страны, объединены в Китайскую корпорацию железнодорожного подвижного состава (China Railway Rolling Stock Corporation, CRRC), которая является крупнейшим участником мирового локомотивостроительного рынка [3]. Китай производит полный спектр электропоездов, включая шестиосные пассажирские электропоезды, шестиосные грузовые электропоезды для контейнерных поездов и двухсекционные восьмиосные электропоезды для тяжеловесных грузовых составов (таблица 2).

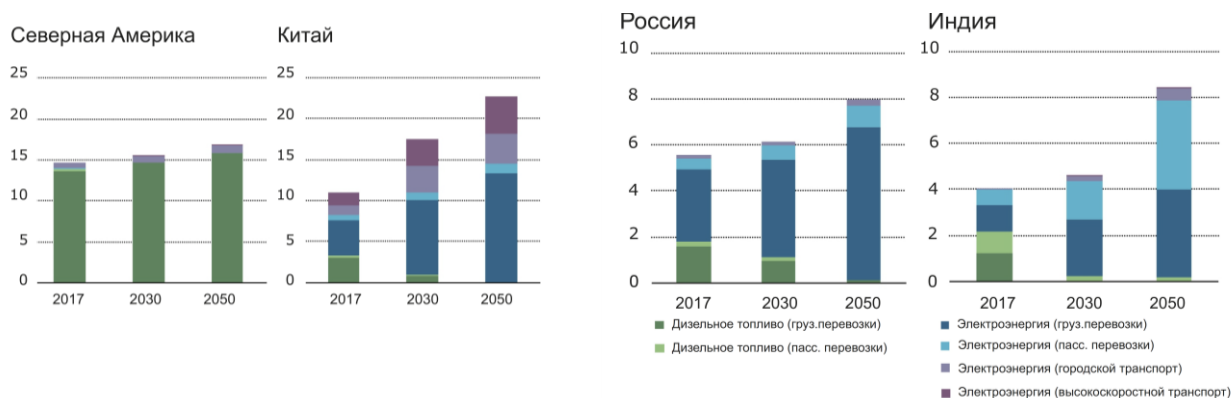


Рис. 1. Прогнозирование спроса на энергию на железнодорожном транспорте (Mtoe)

Таблица 2

Технические характеристики электровозов Китая

Серия	Род службы	Начало эксплуатации	Конструкционная скорость, км/ч	Количество	Мощность (длит.), кВт	Количество осей	Сила тяги (длит.), кН	Нагрузка на ось, т	ТЭД	Мощность ТЭД, кВт	Производитель
HXD1.1	Электровоз грузовой	2006	120	>600	9600 (2×4800)	8	494 (532)	23 (25)	АТД	1224	Siemens Zhuzhou
HXD1B	Электровоз грузовой	2009-2011	120	650	9600	6	570	25	АТД	1633	Siemens Zhuzhou
HXD1C	Электровоз грузовой	2009	120	1207	7200	6	520 (570)	23 (25)	АТД	1200	Siemens Zhuzhou Ziyang
HXD1D	Электровоз пасс.	2012	160	>600	7200	6	420	21(23)	АТД	1225	Zhuzhou
HXD1G	Электровоз пасс.	2015	210	2	11200 (2×5600)	8	424	19.5	АТД	1400	Zhuzhou
HXD2B	Электровоз грузовой	2009-2011	120	500	9600 (2×4800)	6	455 (584)	23 (25)	АТД	1600	Zhuzhou
HXD2.1	Электровоз грузовой	2012	120	>280	10000 (2×5000)	6	400	23 (25)	АТД	1250	Alstom, Datong
HXD3	Электровоз грузовой	2003-2010	120	1080	7200	6	370/400 (520/570)	23(25)	АТД	1250	Toshiba, CNR Dalian
HXD3B	Электровоз грузовой	2009-2011	120	500	9600 (2×4800)	6	506 (570)	25	АТД	1632	Bombardier Dalian
HXD3C	Электровоз груз/пасс	2010	120	>1300	7200	6	520	23(25)	АТД	1200	Bombardier Dalian
HXD3D	Электровоз пасс.	2015	160	>600	7200	6	324(420)	21	АТД	1250	Dalian

С начала 2000-х годов на железных дорогах Индии эксплуатируется электроподвижной состав, разработанный в сотрудничестве с зарубежными производителями. Этот подвижной состав включает шестиосные пассажирские электровозы, а также шести- и восьмиосные грузовые электровозы, предназначенные для работы с тяжеловесными и длинносоставными поездами. В рамках реализуемой программы модернизации железнодорожного транспорта уделяется особое внимание внедрению современных технологий, включая применение асинхронных тяговых электродвигателей и систем управления, обеспечивающих высокую энергоэффективность и надежность (таблица 3).

Таблица 3

Технические характеристики электровозов Индии

Серия	Род службы	Начало эксплуатации	Конструкционная скорость, км/ч	Количество	Мощность (длит.), кВт	Количество осей	Сила тяги (длит.), кН	Нагрузка на ось, т	ТЭД	Мощность ТЭД, кВт	Производитель
WAP-5	Электровоз пассажирский	1995	200	240	4500	6	н/д	19.5	АТД	1150	ABB, CLW
WAP-7	Электровоз пассажирский	1999	160	1500	4600	6	228	20.5	АТД	760	CLW, BLW
WAG-9H	Электровоз грузовой	2006	100	4600	4400	6	н/д	22	АТД	750	CLW, BHEL, BLW, PLW
WAG-12B	Электровоз грузовой	2017	100	390	9000	8	н/д	22.5(25)	АТД	1125	Alstom, ELF Madhepura

В России налажен выпуск современных электровозов постоянного и переменного тока (таблица 4). Важно отметить, что основные электровозы для пассажирских и грузовых перевозок на железных дорогах постоянного тока имеют коллекторные тяговые двигатели и систему реостатного пуска, а на железных дорогах переменного тока – коллекторные тяговые двигатели и тиристорные преобразователи. Данные технические решения ограничивают энергетическую эффективность и эксплуатационную надежность локомотивов по сравнению с современными системами управления с синхронными и асинхронными тяговыми двигателями [4, 5].

Таблица 4

Технические характеристики электровозов России

Серия	Начало эксплуатации	Конструкционная скорость, км/ч	Количество	Мощность (двиг.), кВт	Количество осей	Сила тяги (двиг.), кН	Нагрузка на ось, т	ТЭД	Мощность ТЭД, кВт	Производитель
2ЭС4К	2008	120		5920	8	391	24	КТД	740	ТМХ
2ЭС5К	2004	110	~2000	6120	8	421	25	КТД	765	ТМХ
2ЭС5	2012	120	~20	8400	8	536	25	АТД	1050	ТМХ
ЭП20	2011	160/200	80	6400	6	300/230	21,5	АТД	1100	ТМХ
2ЭС6	2006	120	~1300	6000	8	418	25	КТД	750	Синара ТМ
2ЭС10	2010	120	~120	8400	8	538	25	АТД	1050	Синара ТМ
2ЭС7	2019	120	35	8400	8	538	25	АТД	1050	Синара ТМ
2ЭС8	2022	120		8000	8	564	25	АТД	1000	Синара ТМ

В Китае и Индии успешно завершён технологический переход от коллекторного тягового привода к асинхронному (АТП), что позволило значительно повысить энергоэффективность и эксплуатационные характеристики локомотивов. В России, однако, продолжается производство электровозов с коллекторным приводом. Увеличение мощности и силы тяги таких локомотивов возможно исключительно за счёт наращивания числа секций, что сопряжено с увеличением массы и длины подвижного состава, а также усложнением его эксплуатации. В то же время современные зарубежные электровозы с АТП обладают значительно более высокими показателями. Например, мощность одного тягового электродвигателя может достигать 1600 кВт, что позволяет односекционному шестиосному локомотиву обладать суммарной мощностью 9600 кВт и развивать силу тяги порядка 550 кН.



Рис. 2. Мощность тяговых электродвигателей электровозов

Анализируя парки современных тепловозов Китая (таблица 5) и Индии (таблица 6) следует отметить, что к настоящему времени завершён переход на бесколлекторный тяговый привод. При сохранении нагрузки на ось 22 – 25 т, секционная мощность была увеличена до 3400 – 4700 кВт, а мощность тягового электродвигателя возросла до 730 кВт.

Таблица 5

Технические характеристики тепловозов Китая

Серия	Начало эксплуатации	Конструкционная скорость, км/ч	Количество	Мощность (длит.), кВт	Количество осей	Сила тяги (длит.), кН	Нагрузка на ось, т	ТЭД	Мощность ТЭД, кВт	Производитель
DF11G	2003	170	184	7200	12	250 (386)	23	КТД	510	CRRC Qishuyan Co., Ltd.
HXN3	2008	120 (160)	332	4700	6	598 (620)	25	АТД	620	EMD, CRRC Dalian
HXN5	2008	120 (160)	300	4660	6	565 (620)	25	АТД	730	GE, CSR, CRRC Qishuyan

Таблица 6

Технические характеристики тепловозов Индии

Серия	Начало эксплуатации	Конструкционная скорость, км/ч	Количество	Мощность (длит.), кВт	Количество осей	Сила тяги (длит.), кН	Нагрузка на ось, т	ТЭД	Мощность ТЭД, кВт	Производитель
WDG-4G	2017	100	468	3400	6	405 (544)	22	АТД	600	GE, The Diesel Locomotive Factory, Marhowrah
WDG-6G	2019	100	92	4500	6	420 (570)	23	АТД	640	GE, The Diesel Locomotive Factory, Marhowrah
WDP-4D	2002	135	525	4000	6	429	20,5	АТД	560	EMD, BLW

Для тепловозов отечественного производства, необходимо отметить, что работа по переходу к бесколлекторному тяговому приводу не завершена. Достаточно высокие тяговые свойства при относительно невысокой мощности дизеля были получены на тепловозе 2ТЭ25А. Однако в настоящее время повышение силы тяги грузовых тепловозов, в частности, тепловозов для Восточного полигона обеспечивалась преимущественно за счёт увеличения количества секций (таблица 7).

На рис. 3 и рис. 4 приведены результаты сравнения характеристик отечественных грузовых тепловозов и тепловозов одного из крупных производителей – General Electric. Повышение величины силы тяги тепловозов General Electric были достигнуты при использовании асинхронного тягового привода как за счёт увеличения секционной мощности, так и за счёт увеличения осевой нагрузки до 32 т/ось (тепловоз ET44AC).

Наиболее перспективные образцы грузовых электровозов имеют осевую силу тяги 7 – 9 тс/ось, при мощности тягового двигателя на валу 1100 – 1600 кВт, конструкционную

скорость 120 – 140 км/ч. Дальнейшее увеличение силы тяги электровозов без увеличения количества осей будет возможно при увеличении осевой нагрузки.

Таблица 7

Технические характеристики тепловозов России

Серия	Начало эксплуатации	Конструкционная скорость, км/ч	Количество	Мощность (длит.), кВт	Количество осей	Сила тяги (длит.), кН	Нагрузка на ось, т	ТЭД	Мощность ТЭД, кВт	Производитель
2ТЭ25КМ	2014	100	655	2х2648 По дизелю	12	647	24,0	КТД	350	УК «БМЗ»
2ТЭ25А	2006	120	55	2х2500 По дизелю	12	780	24,0	АТД	325	УК «БМЗ»
3ТЭ28	2022	120	14	3х2850 по дизелю	18	970,8	25,0	КТД	380	УК «БМЗ»
ТЭП70БС	2002	120/160	366	2942 По дизелю	6	167/222	22,5	КТД	414	АО «Коломенский завод»
3ТЭ25К2М	2020	100	133	3х3100	18	970,8	24,5	КТД	417	АО «Трансмашхолдинг»

Для обеспечения максимальных скоростей следования графиковых пассажирских поездов в перспективе до 160 – 200 км/ч, мощность тягового электродвигателя шестиосного электровоза должна быть не менее 1000 – 1100 кВт. Осевая мощность современных пассажирских электровозов достигает 900 – 1400 кВт. Реализация указанных мощностей в габаритах электровоза возможна только при внедрении бесколлекторного тягового привода.

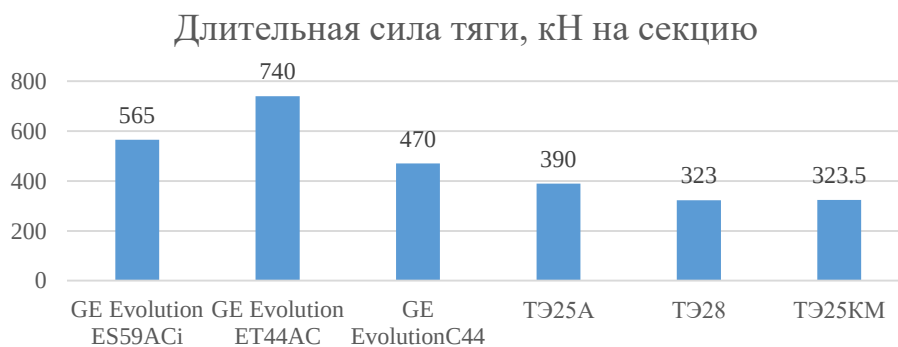


Рис. 3. Сравнительные характеристики тепловозов зарубежного и отечественного производства

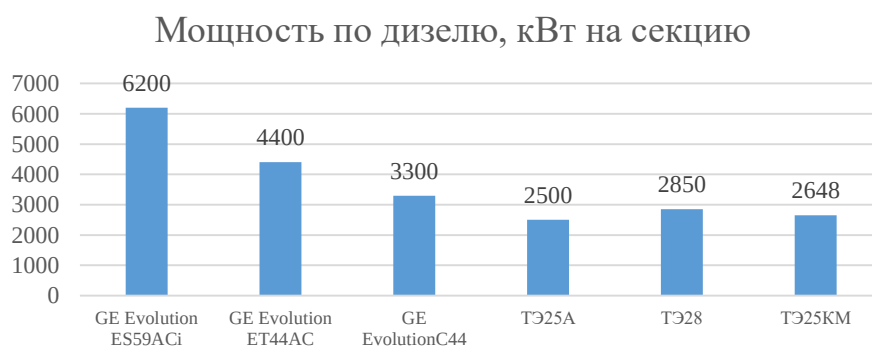


Рис. 4. Сравнительные характеристики тепловозов зарубежного и отечественного производства

Перспективные грузовые тепловозы согласно ГОСТ 31187-2011 «Тепловозы магистральные. Общие технические требования» должны проектироваться для конструкционной скорости не менее 120 км/ч. Повышение тяговых свойств отечественных грузовых тепловозов без увеличения количества осей возможно путём дальнейшего совершенствования и широкого внедрения бесколлекторного тягового привода. В перспективе должен рассматриваться вопрос об увеличении осевой нагрузки.

Для организации тяжеловесного движения, прежде всего на Восточном полигоне, необходимо освоение выпуска современных грузовых локомотивов, большой мощности и с высокой осевой нагрузкой (таблица 8). Обоснованным является использование шестиосных или восьмиосных двухсекционных локомотивов. Осевая нагрузка электровозов может быть доведена до 27 т, с перспективой увеличения до 30 т. Это позволит поднять осевую мощность таких локомотивов до 1600 кВт и реализовать силу тяги до 8 тс на ось.

Современные пассажирские локомотивы должны быть шестиосными, иметь скорость 160 км/ч и, в отдельных случаях, до 200 км/ч. При осевой нагрузке порядка 22 т мощность тяговых двигателей 1000 – 1100 кВт на ось позволяет водить пассажирские поезда любой массы без ограничения по профилю.

Одним из перспективных видов тягового подвижного состава являются универсальные, грузопассажирские электровозы, предназначенные для вождения тяжелых пассажирских поездов и ускоренных грузовых (контейнерных, рефрижираторных) в одном графике с пассажирскими. При силе тяги большей, чем у пассажирских локомотивов, их скорость может быть снижена до 140 км/ч. Такие локомотивы должны иметь осевую нагрузку до 24 т и мощность тяговых двигателей порядка 1200 кВт.

Таблица 8

Технические характеристики перспективных электровозов

Тип локомотива	Осевая нагрузка,	Осевая формула	Макс. скорость,	Осевая мощность,	Сила тяги на ось,
	т		км/ч	кВт	тс
Грузовой	27 (30)	2о-2о-2о 2(2о-2о)	120-140	1600	8
Пассажирский	22	2о-2о-2о	160 (200)	1100	6
Универсальный	22-24	2о-2о-2о	140	1200	7

Тяговый электропривод электровозов должен создаваться на основе бесколлекторных тяговых двигателей: асинхронных для грузовых и грузопассажирских электровозов, асинхронных или синхронных с постоянными магнитами на роторе для пассажирских. Применение коллекторных тяговых двигателей на тяговом подвижном составе не имеет дальнейших перспектив.

Перспективные тепловозы предназначены для решения тех же задач и должны иметь аналогичные характеристики по осевой нагрузке и скорости. Основные параметры тепловозов приведены в таблице 9.

Таблица 9

Технические характеристики перспективных тепловозов

Тип локомотива	Осевая нагрузка,	Осевая формула	Макс. скорость,	Мощность по дизелю	Сила тяги на ось,
	т		км/ч	кВт (л.с.) в секции	тс
Грузовой	27 (30)	2(3о-3о) 3(3о-3о)	120	2500 (3400) - 3000 (4000)	7
Пассажирский	21	(3о-3о)	160	3000 (4000)	4

Универсальный	22-24	(30-30)	140	2500 (3400)	5-6
---------------	-------	---------	-----	-------------	-----

Для всех видов тягового подвижного состава должно быть реализовано поосное регулирование силы тяги, высокий уровень автоматизации управления и цифровизации тягового электропривода, максимальная унификация подвижного состава по обслуживанию.

Реализация преимуществ бесколлекторных тяговых двигателей с использованием тягового привода I класса невозможна из-за ограничений по скорости, массы и мощности тягового двигателя. Анализ существующих конструкций показал, что с использованием тягового привода I класса пределом является мощность 800 – 1000 кВт. Необходимо осуществить переход на тяговый привод III класса, что позволяет использовать тяговые двигатели бескорпусной конструкции, интегрированные в одном корпусе с редуктором.

Создание новых локомотивов должно проводиться с использованием модульного принципа. Для этого необходимо создание платформ для производства тягового подвижного состава на основе модулей. В качестве примера можно привести тележку электровоза ЭП20, которая может стать основой для создания локомотивов разных типов.

При проектировании локомотивов должна быть предусмотрена возможность модернизации, так как устаревание в области силовой полупроводниковой техники, систем управления идет очень быстро. Поэтому наличие потенциала модернизации является одним из ключевых условий создания новых локомотивов.

Библиографический список

1. Janes World Railways Yearbook 22/23. – London: Jane's Information Group, 2022. – ISBN 978-0-7106-3414-6.
2. World Energy Outlook 2018. – Published November 2018. – International Energy Agency. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018> (дата обращения: 01.09.2024).
3. China Railway Rolling Stock Corporation. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.crrcgc.cc/en/> (дата обращения: 01.09.2024).
4. ТМХ – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tmholding.ru/> (дата обращения: 01.09.2024).
5. Синара Групп. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sinara-group.com/> (дата обращения: 01.09.2024).

O. S. Valinsky, A. M. Evstafiev, P. G. Kolpakhchyan, A. N. Sychugov

PROSPECTIVE LOCOMOTIVES FOR THE EASTERN POLYGON

Abstract. The article analyzes modern domestic locomotives and formulates requirements for promising locomotive series for the Eastern Polygon.

Keywords: promising locomotive, Eastern Polygon, brushless traction drive.

For citation: Prospective locomotives for the Eastern polygon / O. S. Valinsky, A. M. Evstafiev, P. G. Kolpakhchyan, A. N. Sychugov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2025. – № 1. – P. 85– 93.

Сведения об авторах**Валинский Олег Сергеевич**

Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),
ректорат, кафедра «Электрическая тяга»,
кандидат технических наук,
ректор, профессор,
e-mail: elt@pgups.ru

Евстафьев Андрей Михайлович

Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
доктор технических наук,
заведующий кафедрой, профессор
e-mail: elt@pgups.ru

Колпахчян Павел Григорьевич

Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
доктор технических наук, профессор
e-mail: elt@pgups.ru

Сычугов Антон Николаевич

Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
старший преподаватель
e-mail: elt@pgups.ru

Information about the authors**Valinsky Oleg Sergeevich**

Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University (SPSUT),
Rector's Office, Chair «Electric Traction»,
Candidate of Technical Sciences,
Rector, Professor,
e-mail: elt@pgups.ru

Evstafiev Andrey Mikhailovich

Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University (SPSUT),
Chair «Electric Traction»,
Doctor of Technical Sciences,
Head of the Chair, Professor,
e-mail: elt@pgups.ru

Kolpakhchyan Pavel Grigorievich

Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University (SPSUT),
Chair «Electric Traction»,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: elt@pgups.ru

Sychugov Anton Nikolaevich

Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University (SPSUT),
Chair «Electric Traction»,
Senior Lecturer,
e-mail: elt@pgups.ru