

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 629.4.021
doi: 10.30987/2782-5957-2024-9-38-46

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ ГРУЗОВЫХ И МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Александр Анатольевич Пугачев¹, Владимир Иванович Воробьев^{2✉}, Олег Васильевич Измеров³, Евгений Владимирович Николаев⁴

^{1,2,3} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

⁴ Российский университет транспорта, Москва, Россия

¹ alexander-pugachev@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1836-0923>

² vladimvorobiev@yandex.ru

³ izmerov@yandex.ru

⁴ work-omc@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрен вопрос дальнейшего повышения тяговых свойств новых грузовых и маневровых локомотивов, при доведении коэффициента сцепления в эксплуатации с 0,27...0,3 до 0,4...0,5. Доказано, что в существующих опорно-осевых приводах с жесткой зубчатой передачей динамические крутящие моменты ухудшают сцепные свойства. Предложено применять тяговые приводы с упругой тяговой передачей и опорно-рамные приводы, а также подвеску тяговых двигателей, снижающую неравномерность нагрузок по осям экипажа. Предложено использовать устройства, воздействующие на поверхность контакта колеса с рельсом с помо-

щью магнитного поля. В результате проведенного исследования установлено, что для локомотивов с диаметром колеса 1250 мм рационально применять тяговый привод с опорно-рамным подвешиванием двигателя и осевым редуктором с промежуточным зубчатым колесом. Для маневровых тепловозов с диаметром колеса 1050 мм рационально использовать дугостаторные асинхронные двигатели с размещением обмоток усилителя сцепления между индукторами.

Ключевые слова: локомотив, тяговые свойства, колесная пара, подвешивание, компоновка, повышение, коэффициент, сцепление.

Ссылка для цитирования:

Пугачев А.А. Анализ возможностей повышения тяговых свойств новых грузовых и маневровых локомотивов / А.А. Пугачев, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, Е.В. Николаев // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 9. – С.38-46. doi: 10.30987/2782-5957-2024-9-38-46.

Original article
Open Access Article

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES TO IMPROVE TRACTION PROPERTIES OF NEW FREIGHT LOCOMOTIVES AND SWITCHERS

Aleksandr Anatolyevich Pugachev¹, Vladimir Ivanovich Vorobyev^{2✉}, Oleg Vasilyevich Izmerov³, Evgeny Vladimirovich Nikolaev⁴

^{1,2,3} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

⁴ Russian University of Transport, Moscow, Russia

¹ alexander-pugachev@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1836-0923>

² vladimvorobiev@yandex.ru

³ izmerov@yandex.ru

⁴ work-omc@yandex.ru

Abstract

The problem of further increasing the traction properties of new freight locomotives and switchers is considered, while bringing the traction coefficient in

operation from 0.27...0.3 to 0.4...0.5. It is proved that in existing support and axial drives with rigid gear, dynamic torques worsen traction properties. It is pro-

posed to use traction drives with elastic traction gear and support frame drives, as well as suspension of traction motors, which reduces the unevenness of loads along the axes of the carriage. It is proposed to use devices that affect the contact surface of the wheel with the rail using a magnetic field. As a result of the conducted research, it is found that for locomotives with a wheel diameter of 1250 mm, it is rational to use a trac-

tion drive with a support frame suspension of the engine and an axial gearbox with an intermediate gear wheel. For switchers with a wheel diameter of 1050 mm, it is rational to use arc-stator asynchronous motors with traction amplifier windings between inductors.

Keywords: locomotive, traction properties, wheelset, suspension, configuration, increase, coefficient, traction.

Reference for citing:

Pugachev AA, Vorobyev VI, Izmerov OV, Nikolaev EV. Analysis of the possibilities to improve traction properties of new freight locomotives and switchers. Transport Engineering. 2024;9:38-46. doi: 10.30987/2782-5957-2024-9-38-46.

Введение

В перспективных локомотивах с бесколлекторными тяговыми электрическими двигателями (ТЭД) используется опорно-осевой тяговый привод с жесткой зубчатой передачей. Таким примером является привод интегрального типа с использованием решений германской фирмы «Сименс» (рис. 1), в то время как первоначальные разработки асинхронных ТЭД предполагалось использовать в тяговых приводах отечественной конструкции [1, 2].

В нашей стране были начаты работы по разработке тяговых электроприводов с коллекторными и бесколлекторными двигателями для магистральных локомотивов с упругим звеном в тяговой передаче, в частности, опорно-рамных. Основной проблемой при этом является использование импортной комплектации, которую в настоящее время требуется заменять отечественной.

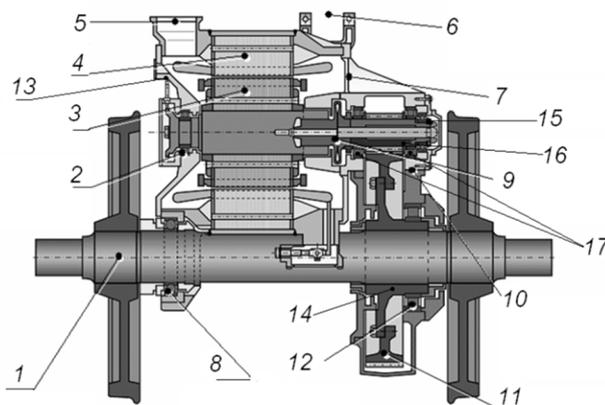


Рис. 1. Тяговый привод электровоза 2ЭС10: 1 – ось колесной пары; 2 – подшипник двигателя; 3 – ротор двигателя; 4 – статор; 5 – патрубок забора охлаждающего воздуха; 6 – кронштейн подвески двигателя; 7 – каналы выхода воздуха; 8 – моторно-осевой подшипник; 9 – мембранная муфта; 10 – соединение редуктора; 11 – венец зубчатого колеса; 12 – моторно-осевой подшипник (сторона редуктора); 13 – задний подшипниковый щит; 14 – ступица зубчатого колеса; 15 – 4-точечный подшипник; 16 – шестерня; 17 – цилиндрический подшипник

Fig. 1. Traction drive of 2ES10: 1 – wheelset axle; 2 – motor bearing; 3 – motor rotor; 4 – motor stator; 5 – cooling air intake; 6 – motor suspension bracket; 7 – air passage channels; 8 – motor-axial bearing; 9 – membrane coupling; 10 – reducer connection; 11 – gear rim; 12 – motor-axial bearing (reducer side); 13 – rear bearing shield; 14 – gear wheel hub; 15 – 4-point bearing; 16 – gear; 17 – cylindrical bearing

Предлагаемые решения по совершенствованию тягового привода

Известно, что среднеквадратическое значение динамического момента в приводе электровоза 2ЭС10 при условии беззазорного зацепления и сохранении сцепления колесной пары с рельсом 4 кНм, что составляет примерно 60 % от тягового момента двигателя 1ТВ-2822 электровоза 2ЭС10 в расчетном

режиме. Это будет приводить к систематическому кратковременному проскальзыванию колес по рельсам при реализации расчетных сил тяги.

Приведенный анализ, несмотря на его приближенность, показывает правильность принятого в нашей стране в 70-80-х годах

направления снижать динамические моменты в тяговых приводах как путем введения упругих элементов в валопроводы, так и снижения кинематического влияния вертикальных неровностей пути на моменты в тяговом приводе. Данное направление может быть реализовано следующим образом [3, 4, 5]:

- с помощью упругих зубчатых колес (УЗК);
- с помощью агрегатной компоновки тягового привода с опорно-осевым подвешиванием ТЭД;
- с помощью тягового привода с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором;
- с помощью тягового привода с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и тяговой передачи.

В настоящее время УЗК получили наибольшее распространение на грузовых тепловозах с диаметром колеса 1050 мм. Использование их для модернизации приводов интегрированной схемы нерацонально в связи с тем, что упругие элементы работают в масле редуктора, внося дополнительные загрязнения при износе, недоступны для осмотра и требуют для замены разборки редуктора. Вопрос о замене двусторонней косозубой передаче на двустороннюю прямозубую с упругими колесами требует изучения, и может рассматриваться только в плане модернизации существующего парка грузовых электровазов.

С точки зрения обеспечения минимального динамического момента наиболее выгоден тяговый привод с полностью обрессоренными ТЭД и передачей, и полным карданным валом на оси. Такой тип привода неоднократно пытались использовать в отечественной практике на магистральной тяге (электроваз ВЛ84, тепловоз 2ТЭ70).

Осуществить на практике такой подход, не прибегая к значительным изменениям в конструкции тележки электроваза, можно путем использования сферических резинометаллических шарниров (РМШ), позволяющих уменьшить габариты шарнирно-рычажных муфт, или с помощью дисковых резинокордных муфт, что требу-

ет проведения исследований. Кроме того, использовать простую конструкцию тяговой передачи, как в тепловозе 2ТЭ70, не получится из-за того, что реализация более высоких тяговых усилий требует повышения несущей способности посадки зубчатого колеса на вал ТЭД и надежности роторных подшипников.

С точки зрения максимальной совместимости с существующими и эксплуатируемыми конструкциями опорно-осевых приводов, наиболее подходящими можно назвать тяговые приводы с агрегатной компоновкой (рис. 2).

Поскольку в агрегатном приводе редуктор представляет собой отдельный узел, в отличие от привода электроваза 2ЭС10, изготовление его резко упрощается и становится возможным при использовании существующей технологической базы отечественных предприятий.

Недостатком агрегатного привода по сравнению с интегрированным является увеличение числа подшипников, однако при этом требования к подшипникам снижаются. Для сокращения числа подшипников и возможности увеличения их размеров, чтобы повысить надежность и долговечность, авторами предложен ряд решений (рис.3).

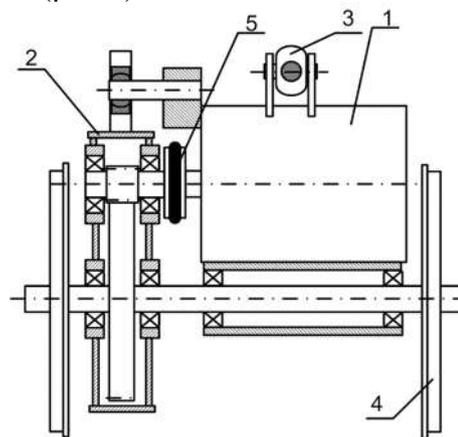


Рис. 2. Схема агрегатной компоновки тягового привода: 1 – тяговый электродвигатель; 2 – осевой редуктор; 3 – подвеска; 4 – колесная пара; 5 – упругая муфта

Fig. 2. Scheme of the traction drive:
1 – traction electric motor; 2 – traction gear;
3 – suspension; 4 – wheelset; 5 – elastic coupling

Для того чтобы увеличить возможность размещения подшипникового узла в пространстве между редуктором и ТЭД,

авторами предложена конструкция (рис. 3а) [6]. Для обеспечения равномерного распределения нагрузки на осевые подшипники редуктора предложена конструкция (рис. 3б) [7]. Для увеличения размеров подшипников предложена конструкция (рис. 3в) [8]. Также предложена конструкция тягового привода с упругим опиранием на колесную пару (рис. 3г) [9].

Основной задачей, которую необходимо решить при внедрении агрегатного тягового привода, является создание упругой высокооборотной муфты, предназначенной для компенсации небольших монтажных несоосностей валов тягового привода.

С точки зрения наиболее быстрого внедрения в производство наилучшим вариантом является применение опорно-рамного привода с осевым редуктором. В отечественном локомотивостроении существует достаточный опыт производства и эксплуатации подобных приводов (электровоз ЭП1). Такой привод можно использовать как для грузовых, так и для пассажирских электровозов. При этом неподрессоренная масса может быть снижена примерно на 10...15 %, что также способствует улучшению сцепных свойств пары [10].

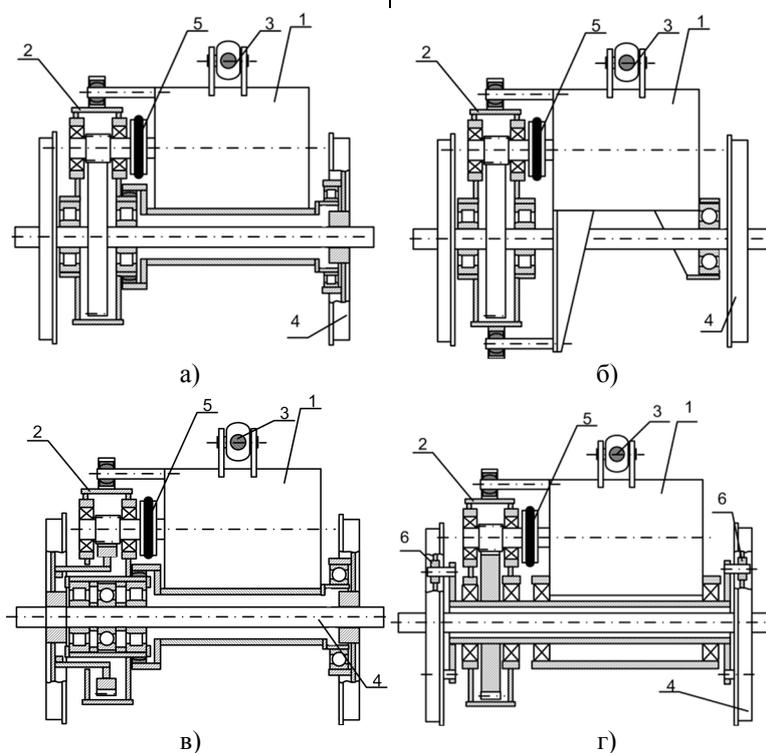


Рис. 3. Предлагаемые компоновки агрегатного тягового привода с опиранием тягового двигателя на осевой редуктор: а – опора двигателя через неподвижную трубу; б – опора двигателя через два шарнира; в – привод с креплением большого зубчатого венца на колесе; г – привод с упругим опиранием: 1 – тяговый двигатель; 2 – тяговый редуктор; 3 – подвеска; 4 – колесная пара; 5 – упругая муфта; 6 – упругие элементы

Fig. 3. Different topologies of traction drives with traction motor and axial reduction gear: a – with TEM support through fixed pipe; b – with TEM support through two hinges; c – with attachment of a large toothed rim on the wheel; d – with elastic support 1 – TEM; 2 – axial reduction gear; 3 – suspension; 4 – wheelset; 5 – elastic coupling; 6 – elastic elements

В нынешних условиях имеет смысл при повышении тяговых свойств локомотивов на ближайшее время делать ставку именно на такую схему привода, а другие варианты рассматривать для более дальней перспективы. Детальных исследований влияния различного типа привода, базы тележек и статической определенности рессорного подвешивания на

сцепные свойства локомотивов пока не проводились. Известно, что коэффициент тяги тепловоза ТЭ136, на котором были реализованы мероприятия по совершенствованию экипажной части, но не было систем поосного регулирования силы тяги, был повышен до 0,24 против 0,18 у тепловоза 2ТЭ116, то есть, на 33 %, в то время как улучшение использо-

вания сцепного веса теоретически позволяло улучшить тяговые свойства по отношению с тепловозом 2ТЭ116 не более чем на 15%. Дальнейшее повышение коэффициента тяги

возможно только за счет увеличения молекулярной составляющей сцепления колеса с рельсом.

Средства безынерционного регулирования коэффициента сцепления

В связи с большим количеством известных решений магнитных усилителей сцепления, авторами в [11] была предложена их классификация, предполагающая разделение на догрузатели, средства управления коэффициентом сцепления и промежуточный класс устройств с электромагнитным тяговым органом. В результате классификации решений установлено, что для устройств увеличения коэффициента сцепления одним из наиболее рациональных способов размещения индуктора остается является его на оси колесной пары.

Основным недостатком этого способа является то, что в отечественных грузовых электровозах с опорно-осевым подвешиванием двигателей расстояние между корпусом ТЭД и осью колесной пары недостаточно для размещения индуктора.

При использовании опорно-рамного привода с осевым редуктором, имеющим промежуточное колесо для увеличения межосевого расстояния, можно разместить в пространстве между осью и ТЭД обмотку индуктора значительных размеров (рис. 4).

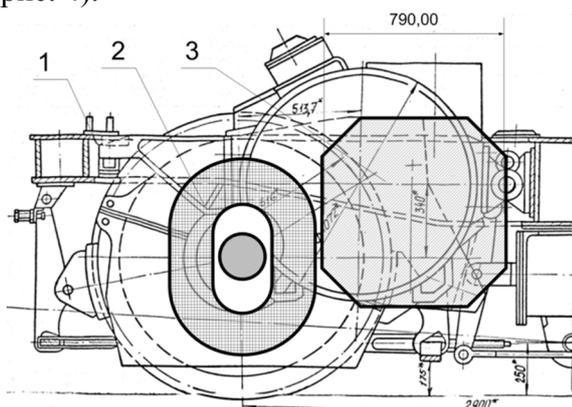


Рис. 4. Возможная компоновка индуктора электромагнитного усилителя сцепления на тележке электровоза: 1 – тележка электровоза; 2 – индуктор; 3 – асинхронный тяговый двигатель

Fig. 4. Proposed topology of electromagnetic inductor for electric locomotive bogie: 1 – locomotive bogie; 2 – inductor; 3 – induction motor

Таким образом, использование двухосной тележки в сочетании с опорно-

рамным приводом с осевым редуктором является перспективным вариантом, которое позволяет добиться выполнения ряда условий:

- улучшить тяговые качества;
- использовать повышение коэффициента сцепления за счет воздействия электрического тока благодаря возможности изоляции колесной пары от тележки и создания замкнутого контура тока без дополнительных токоъемных устройств;
- обеспечить размещение обмотки индуктора на тележке без увеличения непродессоренной массы для повышения коэффициента сцепления за счет воздействия магнитного поля.

Это обстоятельство является решающим в условиях, когда мы не имеем достаточной научной информации для окончательного выбора пути повышения тяговых свойств.

Привод с осевым редуктором может стать базовым решением при разработке и внедрении новых методов увеличения коэффициента сцепления, включая такие подходы как одновременное воздействие на поверхность контакта колеса с рельсом электрического тока и магнитного поля, а также выбора способа воздействия в зависимости от режима движения, характера участка пути и стихийных внешних факторов. Перспективным для исследования и разработки направлением является использование бесколлекторных двигателей с осевым магнитным потоком и дисковым ротором, разработки которых уже есть в нашей стране. Повышение мощности ТЭД за счет увеличения максимальной частоты вращения ротора, которым сейчас идут зарубежные производители, ведет к проблемам обеспечения надежности быстроходных якорных подшипников и уменьшения диаметра ведущего зубчатого колеса, вынуждая прибегать к низкотехнологичной интегральной конструкции тягового привода, в которой ТЭД объединен с осевым

редуктором, и которую сложно воспроизвести в отечественных условиях. Максимальная окружная скорость ротора в машинах с осевым магнитным потоком достигается при меньшем числе оборотов ротора и большем крутящем моменте. Кроме того, в ТЭД использовались два статора, расположенных с обеих сторон ротора, что позволило при увеличении крутящего момента в 1,7 раза уменьшить осевой габарит почти в 1,8 раза. Благодаря такому уменьшению осевого габарита появляется возможность разместить обмотку индуктора на корпусе ТЭД по обоим сторонам ТЭД [12].

Использование односторонней зубчатой передачи с расположением зубчатого колеса между роторными подшипниками позволяет разместить индуктор внутри ступицы большого зубчатого колеса [13].

Что же касается новых маневровых тепловозов с диаметром колеса 1050 мм (ТЭМ23), то при маневровой работе скорость движения тепловоза невелика, в связи с чем величина неподрессоренной массы имеет значение, гораздо меньшее, чем для грузовых, и позволяет увеличить ее за счет не-

поддрессоренной массы обмотки индуктора. С другой стороны, при диаметре колеса 1050 мм практически не остается места для размещения обмотки индуктора на оси колесной пары, даже при использовании бесколлекторных ТЭД. Идеальное решение для этого случая – это возможность сделать одновременно большими и диаметр катушки индуктора, и габариты ТЭД. При этом возникает очевидное противоречие.

Решение этого противоречия возможно в случае, если статор ТЭД не является замкнутым цилиндром. Таким свойством обладают дугостаторные асинхронные двигатели (ДАД), которые могут применяться в качестве тяговых двигателей локомотивов [14, 15]. Основной проблемой в таких конструкциях была возможность наведения вихревых токов в обмотке индуктора и оси локомотива. Для решения этой проблемы авторами был предложен вариант конструкции привода, где обмотка индуктора защищена от вращающегося магнитного поля ротора шихтованным экраном из тонких листов электротехнической стали (рис. 5).

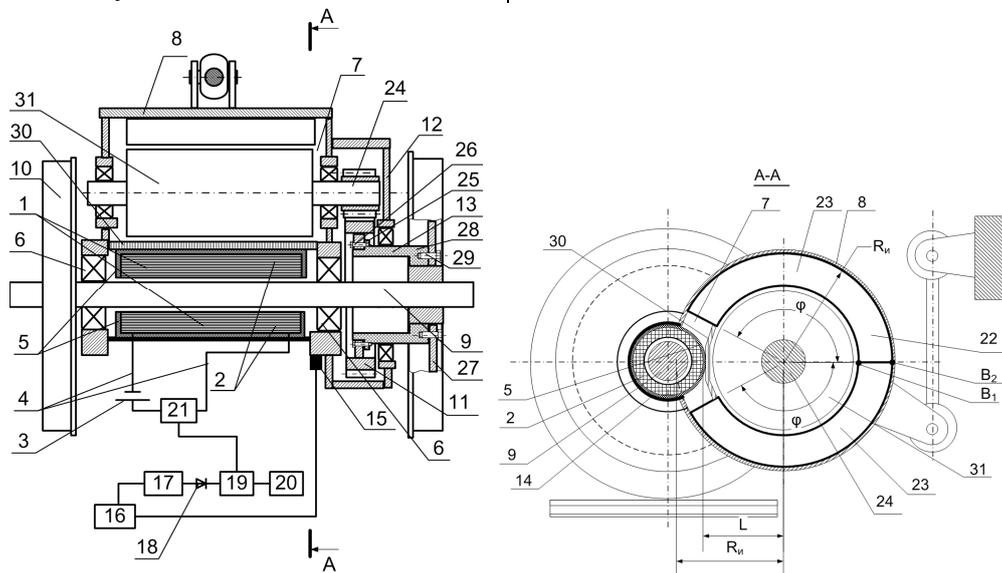


Рис. 5. Тяговый привод с дугостаторным асинхронным двигателем: 1 – обмотка; 2 – катушка; 3 – источник питания; 4 – провода; 5 – каркас; 6 – подшипники; 7 – тяговый электродвигатель; 8 – корпус; 9 – ось; 10 – колесная пара; 11 – зубчатое колесо; 12 – кожух редуктора; 13 – немагнитная втулка; 14 – кожух; 15 – датчик продольных ускорений; 16 – блок измерения сигналов; 17 – полосовой фильтр; 18 – выпрямитель; 19 – блок сравнения; 20 – блок установки; 21 – ключ; 22 – статор ТЭД; 23 – индукторы; 24 – вал ТЭД; 25 – фланец; 26, 29 – болтовые соединения; 27 – колесо; 28 – ступица; 30 – экран; 31 – ротор ТЭД

Fig. 5. Traction drive using arc motor: 1 – winding; 2 – coil; 3 – power supply; 4 – wires; 5 – frame; 6 – bearings; 7 – traction motor; 8 – housing; 9 – axis; 10 – wheelset; 11 – gear wheel; 12 – reduction gear box housing; 13 – non-magnetic bushing; 14 – casing; 15 – longitudinal acceleration sensor; 16 – signal measuring unit; 17 – band-pass filter; 18 – you are a direct; 19 – comparison unit; 20 – installation unit; 21 – wrench; 22 – TEM stator; 23 – inductors; 24 – TEM shaft; 25 – flange; 26, 29 – bolted connections; 27 – wheel; 28 – hub; 30 – screen; 31 – TEM rotor

Включение устройства производится при начале автоколебаний колесной пары в процессе боксования.

На основании изложенного можно ожидать, что внедрение систем управления коэффициентом сцепления колеса с рельсом с помощью электрического тока или магнитного поля, либо путем одновременного воздействия указанных факторов, в совокупности с мерами по совершенствованию экипажной части грузовых локомотивов, принципиально позволяет повысить эксплуатационный коэффициент сцепления до величин 0,4...0,5. Это позволит повысить осевую мощность грузовых электровозов примерно до 1500 кВт, что позволит полностью отказаться от трехсекционных электровозов и частично – от двухсекционных, заменив их шестиосными односекционными, а мощность тепловозов

Выводы

1. Установлено, что в эксплуатируемых в настоящее время интегрированных опорно-осевых приводах с жесткой зубчатой передачей динамические крутящие моменты, возникающие при проезде неровностей пути, ухудшают сцепные свойства.

2. Предложено вернуться к использованию тяговых приводов с упругой тяговой передачей и опорно-рамных тяговых приводов, которые также позволяют улучшить тяговые свойства за счет автоколебаний колесной пары при боксовании. Предложен ряд конструкций приводов агрегатного типа с упругим звеном. Предпо-

для Восточного полигона довести до 9 МВт в составности – 2 силовые секции + 1 бустерная.

Основным препятствием для реализации данной идеи является недостаточная степень исследований эффекта воздействия электрического тока и магнитного поля, а также обоих факторов в совокупности на коэффициент сцепления колеса с рельсом в условиях, близких к эксплуатационным (геометрические размеры колеса и рельса, давление). Рациональной конструкцией тягового привода локомотивов с повышенными тяговыми свойствами на ранней стадии внедрения авторы считают опорно-рамный привод с осевым редуктором, который упрощает задачу как изоляции колесной пары от рамы тележки, так и позволяет разместить на оси катушку индуктора.

лагается, что данные меры вкуче с мерами по совершенствованию экипажной части локомотивов, рассмотренными в первой части настоящей статьи, позволят повысить эксплуатационный коэффициент сцепления с 0,27 до 0,3...0,33.

3. Для маневровых тепловозов с диаметром колеса 1050 мм предложено применять дуговые асинхронные двигатели, с размещением обмоток усилителя сцепления между индукторами. Предполагается, что в совокупности с мерами по совершенствованию экипажной части это позволит довести эксплуатационный коэффициент сцепления до 0,4...0,5.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Власьевский С.В., Кучумов В.А., Щербаков В.Г. Сравнение энергетической эффективности тягового электропривода электровозов переменного тока на основе коллекторных и асинхронных двигателей // *Электротехника*. 2017. № 9. С. 72 – 78.
2. Журавлев С.Н. Система управления силовой установкой маневрового тепловоза с алгоритмом автоматического регулирования скорости // *Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении*. 2021. № 3(13)-4(14). С. 31-38. DOI: 10.30987/2658-6436-2021-3-4-31-38.
3. Космодамианский А. С., Баташов С. И., Николаев Е. В. Разработка устройств предотвращения боксования локомотива на основе объектного

моделирования технических решений // *Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении*. 2022. №. 4. С. 79-86. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-4-79-86>

4. Нехаев В. А., Николаев В. А., Смалев А. Н., Серяков К. О. Динамика колесной пары экипажа при одновременном действии на нее параметрического и кинематического возмущений // *Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении*. 2023. №. 4. С. 45-54. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2023-4-45-54>.
5. Маклаков В. П. Разработка модели электромагнитного преобразователя с цельнометаллическим ферромагнитным ротором // *Автоматизация и моделирование в проектировании и*

- управлении. 2022. № 3. С. 94-100. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-3-94-100>
6. Патент на полезную модель № 164797, Российская Федерация, МПК В61С 9/48. Тяговый привод локомотива [Текст] / Воробьев В.И., Измеров О.В., Новиков В.Г., Вдовин А.В., Бондаренко Д.А., Новиков А.С., Воробьев Д.В. Оpubл. 20.09.2016, бюл. № 26.
 7. Патент на полезную модель № 189364, Российская Федерация, СПК В61С 15/08 (2013.01). Тяговый привод локомотива. / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Космодамианский А.С., Измеров О.В., Маслов М.А., Копылов С.О. Оpubл. 21.05.2019, бюл. № 15.
 8. Патент РФ на полезную модель № 206748. СПК В61С 9/38 (2021.08); В61С 9/48 (2021.08) Тяговый привод локомотива. / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Измеров О.В., Маслов М.А., Шевченко Д.Н. Оpubл. 24.09.2021, бюл. № 27.
 9. Патент РФ на полезную модель № 215944. СПК В61С 9/50. Тяговый привод локомотива / А.С. Космодамианский, О.В. Измеров, С.О. Копылов, В.И. Воробьев, В.О. Корчагин, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев, А.Е. Карпов. Оpubл. 11.01.2023, бюл. № 2.
 10. Измеров, О.В. Динамические нагрузки в тяговом приводе тепловоза 2ТЭ121 [Текст] / А.Т. Литвинов, Е.П. Акишин, Ф.Г. Вербер, В.А. Лысак, В.С. Авраменко, В.И. Власов, О.В. Измеров, В.В. Кочергин. // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121: Тр. ВНИТИ, вып. 62, Коломна, 1985 г., С. 119-130.
 11. Классификация магнитных усилителей сцепления и поиск новых решений тягового привода /

- А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, А. А. Пугачев, В. О. Корчагин, Е. В. Николаев. // Транспорт Урала, № 2 (73), Екатеринбург, УрГУПС, 2022 - С. 50-58.
12. Патент на полезную модель № 202706, Российская Федерация, СПК В61С 15/08 (2020.08). Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами. / Космодамианский А.С., Воробьев В. И., Измеров О.В., Маслов М.А., Корчагин В.О., Стрекалов Н.Н., Капустин М.Ю., Самотканов А.В., Шевченко Д.Н.. Оpubл. 03.03.2021, бюл. № 7.
13. Патент на полезную модель № 187030, Российская Федерация, СПК В61С 15/08 (2006.01). Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами. / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Маслов М.А., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Надточей Д.Г. Оpubл. 14.02.2019. Бюл. № 5.
14. Воробьев В. И., Пугачев А. А., Копылов С. О., Николаев Е. В. Метод объектного моделирования при разработке патентоспособных конструкций узлов тягового привода // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2021. №. 3-4. С. 4-13. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2021-3-4-4-13>.
15. Патент РФ на полезную модель № 208748. СПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами. / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Пугачев А.А., Стрекалов Н.Н., Капустин М.Ю., Самотканов А.В. Шевченко Д.Н., Николаев Е.В. Оpubл. 10.01.2022, бюл. № 2.

REFERENCES

1. Vlasyevsky SV, Kuchumov VA, Shcherbakov VG. Comparison of energy efficiency of traction electric drive of alternating current electric locomotives based on collector and asynchronous motors. *Electrical Engineering*. 2017;9:72-78.
2. Zhuravlev SN. Power equipment control system of a shunting locomotive with automatic speed control algorithm. *Automation and Modeling in Design and Management*. 2021;3(13)-4(14): 31-38. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2021-3-4-31-38>.
3. Kosmodamiansky AS, Batashov SI, Nikolaev EV. Development of locomotive skid prevention devices based on object modeling of technical solutions. *Automation and Modeling in Design and Management*. 2022;4:79-86. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-4-79-86>
4. Nehaev VA, Nikolaev VA, Smalev AN, Seryakov KO. Dynamics of a vehicle wheel pair with simultaneous parametric and kinematic disturbances. *Automation and Modeling in Design and Management*. 2023;4:45-54. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2023-4-45-54>
5. Maklakov VP. Developing a model of electromechanical converter with an all-metal ferromagnetic rotor. *Automation and Modeling in Design and Management*. 2022;3:94-100. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-3-94-100>
6. Vorobyev VI, Izmerov OV, Novikov VG, Vdovin AV, Bondarenko DA, Novikov AS, Vorobyev DV. RF Patent for utility model No. 164797, МПК В61С 9/48. Locomotive traction drive. 2016 Sept 20.
7. Vorobyev VI, Antipin DYa, Kosmodamiansky AS, Izmerov OV, Maslov MA, Kopylov SO. RF Patent for utility model No. 189364, СПК В61С 15/08 (2013.01). Locomotive traction drive. 2019 May 21.
8. Vorobyev VI, Antipin DYa, Izmerov OV, Maslov MA, Shevchenko DN. RF Patent for utility model No. 206748. СПК В61С 9/38 (2021.08). Locomotive traction drive. 2021 Sept 24.
9. Kosmodamiansky AS, Izmerov OV, Kopylov SO, Vorobyev VI, Korchagin VO, Pugachev AA, Kapustin MYu, Samotkanov AV, Shevchenko DN, Nikolaev EV, Karpov AE. RF Patent for utility model No. 215944. СПК В61С 9/50. Locomotive traction drive. 2023 Nov 01.
10. Izmerov OV, Litvinov AT, Akishin EP, Werber FG, Lysak VA, Avramenko VS, Vlasov VI, Kochergin VV. Dynamic loads in the traction drive of 2ТЭ121 locomotive. Test results of 2ТЭ121 diesel locomotive. *VNITI Trudi*. 1985;62:119-130.

11. Kosmodamiansky AS, Vorobyev VI, Izmerov OV, Pugachev AA, Korchagin VO, Nikolaev EV. Classification of magnetic adhesion boosters and search for new decisions for traction drive. *Transport of the Urals*. 2022;2(73):50-58.
12. Kosmodamiansky AS, Vorobyev VI, Izmerov OV, Maslov MA, Korchagin VO, Strekalov NN, Kapustin MYu, Samotkanov AV, Shevchenko DN. RF Patent for utility model No. 202706, СПК В61С 15/08 (2020.08). Device for increasing the traction of locomotive driving wheels with rails. 2021 March 03.
13. Antipin DYa, Vorobyev VI, Maslov MA, Izmerov OV, Kosmodamiansky AS, Nadtochey DG RF Patent for utility model No. 187030, СПК В61С 15/08 (2006.01). Device for increasing the traction of locomotive driving wheels with rails. 2019 Febr 14.
14. Vorobyev VI, Pugachev AA, Kopylov SO, Nikolaev EV. The method of object modeling in the development of patentable designs of traction drive mechanisms. *Automation and Modeling in Design and Management*. 2021;3-4:4-13. DOI: <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2021-3-4-4-13>.
15. Vorobyev VI, Izmerov OV, Kosmodamiansky AS, Pugachev AA, Strekalov NN, Kapustin MYu, Samotkanov AV, Shevchenko DN, Nikolaev EV RF Patent for utility model No. 208748. СПК В61С 15/08. Device for increasing the traction of locomotive driving wheels with rails. 2022 Oct 01.

Информация об авторах:

Пугачев Александр Анатольевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Турбиностроение, электро- и теплоэнергетика» Брянского государственного технического университета, тел. +7(919)192-88-70, e-mail: alexander-pugachev@rambler.ru.

Воробьев Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел. +7(962)137-32-77, e-

Pugachev Aleksandr Anatolyevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Turbine Engineering, Electrical and Thermal Power Engineering at Bryansk State Technical University, phone: +7(919)192-88-70, e-mail: alexander-pugachev@rambler.ru.

Vorobyev Vladimir Ivanovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical

mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Измеров Олег Васильевич, – соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, e-mail: izmerov@yandex.ru.

Николаев Евгений Владимирович – старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта, e-mail: work-omc@yandex.ru.

University, phone: +7(962)137-32-77, e-mail: vladimvorobiev@yandex.ru.

Izmerov Oleg Vasilyevich – Competitor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University, email: izmerov@yandex.ru.

Nikolaev Evgeny Vladimirovich – Senior lecturer of the Department of Traction Rolling Stock of the Russian University of Transport, e-mail: work-omc@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 09.08.2024; одобрена после рецензирования 21.08.2024; принята к публикации 26.08.2024. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, главный научный эксперт динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 09.08.2024; approved after review on 21.08.2024; accepted for publication on 26.08.2024. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Chief Scientific Expert of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.