

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.021

doi: 10.30987/2782-5957-2025-5-46-56

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ НОВОГО РЕЛЬСОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Андрей Сергеевич Космодамианский^{1✉}, Александр Анатольевич Пугачев², Владимир Иванович Воробьев³, Валерий Сергеевич Соболев⁴, Артем Евгеньевич Карпов⁵

^{1,5} Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва, Россия

^{2,3,4} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ askosm@mail.ru

² alexander-pugachev@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1836-0923>

³ vladimvorobiev@yandex.ru

⁴ v.sobolev2012@gmail.com

⁵ akarpov576@gmail.com

Аннотация

Рассмотрен вопрос развития общих методов конструирования железнодорожного подвижного состава. Выявлен ряд недостатков известных теоретических направлений и необходимость развития комплексного направления в общей теории конструирования. Предложено новое направление в общей теории конструирования, получившего название технической инновационики и учитывающего недостаток информации при конструировании, в рамках которого комплексно рассматриваются вопросы изобретательства, инженерного анализа и выбора технических решений. Благодаря использованию данной методологии авторами

предложены классификации тяговых узлов подвижного состава и новые концепции тягового привода. Даны предложения по совершенствованию экипажной части перспективных локомотивов. Предложено использовать методы технической инновационики в качестве общей теории конструирования при создании железнодорожного подвижного состава.

Ключевые слова: теория, конструирование, творчество, эксперимент, прогнозирование, математическое моделирование, локомотивы, моторвагонный подвижной состав.

Ссылка для цитирования:

Космодамианский А.С. Развитие теории конструирования нового рельсового подвижного состава / А.С. Космодамианский, А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, В. С. Соболев, А. Е. Карпов // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 5. – С.46-56. doi: 10.30987/2782-5957-2025-5-46-56.

Original article

Open Access Article

DEVELOPMENT OF DESIGN THEORY OF A NEW RAILWAY ROLLING STOCK

Andrey Sergeevich Kosmodamiansky^{1✉}, Aleksandr Anatolyevich Pugachev², Vladimir Ivanovich Vorobyov³, Valery Sergeevich Sobolev⁴, Artyom Evgenyevich Karpov⁵

^{1,5} Russian University of Transport, Moscow, Russia

^{2,3,4} Bryansk State Technical University (RUT (MIIT)), Bryansk, Russia

¹ askosm@mail.ru

² alexander-pugachev@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1836-0923>

³ vladimvorobiev@yandex.ru

⁴ v.sobolev2012@gmail.com

⁵ akarpov576@gmail.com

Abstract

The problem of developing general methods to construct a railway rolling stock is considered. A num-

ber of disadvantages of well-known theoretical directions and the need for the development of an integrated

direction in the general theory of design are found out. A new direction in the general theory of design is proposed; it is called technical innovationics, which takes into account the lack of information in design, within which the problems of invention, engineering analysis and the choice of technical solutions are comprehensively considered. Thanks to the use of this methodology, the authors propose classifications of traction units

Reference for citing:

Kosmodamiansky AS, Pugachev AA, Vorobyov VI, Sobolev VS, Karpov AE. Development of design theory of a new railway rolling stock. Transport Engineering. 2025;5:46-56. doi: 10.30987/2782-5957-2025-5-46-56.

Введение

Ситуация, сложившаяся в настоящее время в России, требует от машиностроительных отраслей создания в кратчайшие сроки принципиально новой техники, без возможности использования и заимствования решений зарубежных фирм и независимой от импорта комплектующих изделий, и отсутствия отечественного, а в большинстве случаев – и мирового опыта, в том числе и достаточного научного задела.

Сказанное полностью относится и к транспортному машиностроению. В настоящее время требуется создание и производство следующих новых типов локомотивов:

– грузовые электровозы и тепловозы, способные возить поезда более 7000 тонн для Восточного полигона, включая тепло-

Анализ проблемы

На основании анализа работ в сфере исследований и доводки отечественных локомотивов в испытательном центре АО «ВНИКТИ», а также конструкторских работ предприятий радиоэлектронной промышленности, были сделаны следующие предварительные обобщения. Особенностью конструирования и реализации проектов локомотивов и другого железнодорожного подвижного состава является большой объем исследовательских работ, при этом использование математических моделей имеет ограничение, диктуемое сложностью и недостаточной изученностью явлений, относящихся к вопросам взаимодействия локомотива и пути.

Ошибки, выявляемые на стадии исследований опытных образцов и опытных серий железнодорожного подвижного со-

of rolling stock and new traction drive concepts. Suggestions for improving the crew of promising locomotives are given. It is proposed to use the methods of technical innovationics as a general design theory for the creation of railway rolling stock.

Keywords: theory, design, creativity, experiment, forecasting, mathematical modeling, locomotives, motor-car rolling stock.

возы на природном газе;

– пассажирские электровозы со скоростью до 200 км/час для вождения поездов локомотивной тяги, в которых себестоимость проезда ниже, чем в моторвагонных высокоскоростных поездах;

– универсальные тепловозы для малоделятельных участков, для замены физически изношенных и морально устаревших М62/2М62;

– четырехосные маневровые тепловозы и аккумуляторные электровозы, способные заменять существующие шестиосные маневровые тепловозы.

Основной проблемой является обилие разнообразных областей и разрозненность сведений, содержащихся в значительной части таких работ.

става и требующие значительных средств для их устранения, продиктованы в основном недостатком информации у конструктора для выработки правильного решения. В качестве примеров можно привести возникновение опасных касательных напряжений в оси колесной пары тепловоза 2ТЭ121 при боксовании, разрушение резинометаллических шарниров в подвесках тягового электродвигателя (ТЭД) тепловоза 2ТЭ10М и раннего варианта подвески редуктора тепловоза 2ТЭ1121, излом выводов главных и дополнительных полюсов ТЭД тепловозов после внедрения изоляции обмоток «Монолит-2», поломки траверсы пружинной подвески ТЭД при уменьшении зазора между челюстями остова ТЭД и подвеской, обрывы резинокордной муфты в приводе моторной тележки путевой ма-

шины, и другие подобные случаи, исследованные в АО «ВНИКТИ». Информация, полученная в результате испытаний, как правило, позволяла внести изменения в конструкцию деталей и узлов, позволяющие полностью устранить проблемы.

На основании данных обобщений были сделаны выводы, что методика конструирования железнодорожного подвижного состава должна отвечать следующим основным требованиям:

- охватывать вопросы конструкторской, исследовательской и изобретательской деятельности, как неразрывно связанные;

- учитывать заведомый недостаток информации у конструктора при создании нового изделия;

- учитывать то, что часть данных, используемых при проектировании, получена эмпирически, и точность их ограничена.

- учитывать ограниченность сроков на проведение исследовательских работ и решения изобретательских задач, неизбежно возникающих при работе над проектом.

Кроме того, в отношении выбираемой методики конструирования были сделаны два следующих вывода, ограничивающих область поиска:

- отсутствие достаточной информации при проектировании новой машины ведет к тому, что методика конструирования не может быть полностью представлена в форме строгой математической моде-

Предлагаемые решения

Исходя из полученных выводов, с 2010 года по настоящее время велись работы по созданию методологии конструирования, учитывающей особенности создания новых образцов железнодорожного транспорта, которую можно считать дальнейшим развитием перечисленных выше работ. При этом объектом исследования являлся процесс конструирования (проектирования) машин, преимущественно локомотивов и других рельсовых экипажей. В рамках данного направления авторами опубликовано более десятка монографий (например, [1-5]). Поскольку это направ-

ли процесса создания конструктивной схемы машины и определения ее параметров, модели, которая исключает принятие решений самим конструктором;

- ограниченное число предприятий и организаций, участвующих в конструировании железнодорожных экипажей, при необходимости получения гарантированного успешного результата работ, ведет к тому, что методика конструирования не может рассматривает результат проектирования только как следствие субъективных решений конструктора и не может быть сведена только к развитию личных качеств специалиста.

С этих позиций был проведен анализ работ, посвященных теории конструирования машин и техническому творчеству, указавшие на необходимость создания и развития комплексного направления в теории конструирования, которое бы объединило перечисленные выше требования. При этом данное направление не должно относиться к теории управления людьми и организации их работы, поскольку в приведенных работах рассматривались вопросы управления не конструкторами и их подразделениями, а техническими устройствами и их свойствами путем выбора вариантов их решения. С другой стороны, требуемая теория конструирования взаимосвязана с теоретическими основами САПР, но не тождественна им, поскольку создание математической модели устройства не относится к основным задачам данной теории.

ление объединяет рассмотренные выше, а не развивается внутри одного из них, возникла необходимость использовать для него новое название, отражающее инновационный характер конструирования, тем более что в рассмотренных выше работах данному научному направлению не было дано одно устойчивое название.

Известный в то время термин «инноватика» еще не имел закрепленного в установленном порядке четкого и конкретного определения (как было позднее отмечено профессором кафедры государственного регулирования экономики

РАНХиГС К.И. Плетневым в [6]); стандарт ФГОС 27.03.05 был введен приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 870. Термин «инноватика» к началу 2010-х годов относился в основном к сфере экономики; более того, появлялись публикации с возражениями против использования термина «инноватика» для рассмотрения исключительно научно-технических вопросов [6].

В связи с этим рядом авторов в 2011 году в [7] был предложен термин «техническая инноватика», первоначально для обозначения направления, объектом исследования которого является создание новых объектов техники, рассматриваемое в виде информационной технологии.

Общая структура технической инноватики, как системы знаний, приведена на схеме рис. 1.

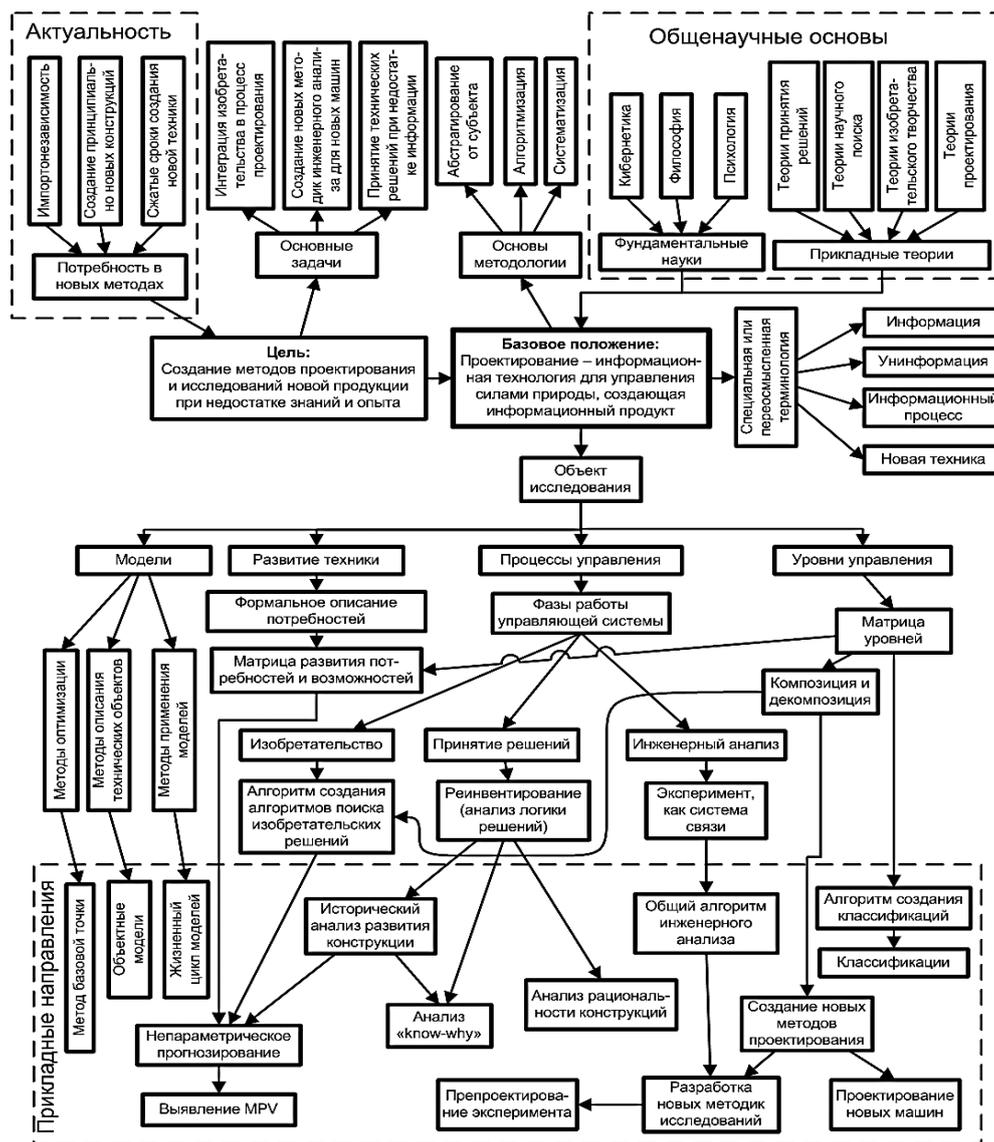


Рис. 1. Общая структура технической инноватики, как системы знаний

Fig. 1. General topology of technical innovation as knowledge system

По отношению к известным рассмотренным выше направлениям, техническая инноватика имеет ряд отличий, отвечающих специфике конструирования железнодорожных экипажей. Прежде всего, в теории была учтена специфика конструи-

рования новых машин за счет того, что О.В. Измеровым было предложено оценивать степень новизны создаваемой конструкции не количеством формальных отличий от известных аналогов, а относительным объемом информации, требуемой

для создания проекта, но не известной конструкторам на момент создания. Это позволило логически связать степень новизны конструкции с потенциальным числом ошибок, которые могут быть допущены и, таким образом, со степенью риска при выборе решения, объяснить объективные причины косности при конструировании и определить в качестве основного пути предотвращения ошибок проведение исследований, какой информации для проектирования может не хватать и какими путями она должна быть получена. Для определения такой информации, потребность в которой уже выявлена, но которая еще не получена (информационного запроса) О.В. Измеровым был предложен термин «униформация». Также, в связи с тем, что в настоящее время имеются шесть существенно разных основных концепций информации [8], применительно к задачам конструирования техники было уточнено определение информации, как логической абстракции, используемой для обозначения любого свойства и количественного выражения этого свойства [4].

Было доказано, что в основе направлений методического конструирования и ТРИЗ лежат общие методы создания технических объектов, которые также могут быть использованы при разработке программ и методик инженерных экспериментов и классификации технических решений машин. Была предложена общая алгоритмическая основа для выбора технических решений, названная матрицей уровней средств управления, с использованием которой была разработана методика создания алгоритмов решения изобретательских задач для определенного вида технических объектов, методика построения классификаций.

Также О.В. Измеровым были предложены методы создания серий патентоспособных решений, методы непараметрического прогнозирования для выявления возможных принципиальных изменений в интересующих видах техники при дальнейшем ее развитии, тенденции которого определяются на основе матрицы развития потребностей и возможностей. Были разработаны методы технического анализа

логики проектирования известных образцов машин, основанные на определении вероятного рационального выбора конструктора в конкретных условиях требований к машине и технологических возможностей ее изготовления (анализ «*know-why*»).

Основные практические результаты использования технической инноватики в транспортном машиностроении представлены на рис. 2. Первым из полученных результатов можно считать предложенный авторами алгоритм создания классификаций и созданную с его помощью классификацию тяговых приводов подвижного состава, которая, в отличие от ранее известных (А.А. Шацилло, Л.Н. Решетова, И.В. Бирюкова) включающую в себя, кроме известных, конструкции, пока не созданные, то есть, позволяет искать новые решения [5]. Авторами разработаны классификации муфт, противобоксовочных систем, магнитных усилителей сцепления, гасителей колебаний, способов улучшения сцепления колеса с рельсом и предотвращения боксования, а также динамических процессов в тяговом приводе.

В период с 2011 по 2024 год благодаря использованию методики поиска изобретательских решений авторами получено значительное количество патентов Российской Федерации на изобретения и полезные модели. В качестве примера создания серий патентоспособных решений можно привести использование эффекта регулирования коэффициента сцепления с помощью электрического тока и магнитного поля, благодаря чему авторами были получены патенты на не имеющие зарубежных аналогов конструкции устройств повышения сцепления колеса с рельсом, опор кузова с регулируемым моментом сопротивления повороту, фрикционных и гидравлических гасителей колебаний рельсового экипажа, магниторельсового и вихретокового тормозов, устройства наклона кузова в кривых, гидромуфты и фрикционного вариатора.

Методы технической инноватики показали свою пригодность для создания новых концепций.

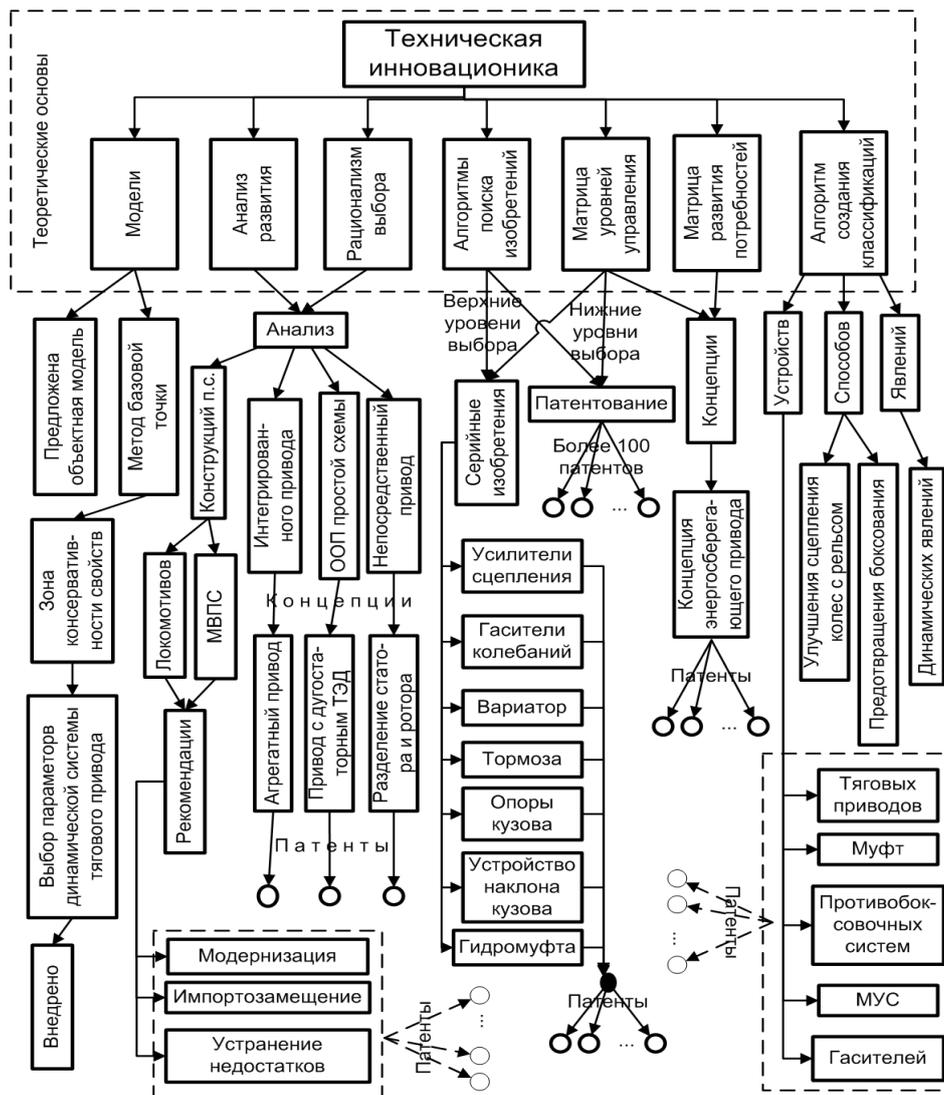


Рис. 2. Структура основных результатов использования технической инновационики в транспортном машиностроении

Fig. 2. Topology of main results of technical innovation appliance in transport engineering

Так, авторами была предложена концепция энергосберегающего тягового привода [9], в которой, в отличие от известной концепции И.В. Бирюкова [10], главной задачей при конструировании тягового привода должна быть не максимальная защищенность от динамических воздействий, а снижение потерь энергии при скольжении колеса по рельсу. При этом меняется роль противобоксовочных систем, которые должны не менять силу тяги при изменении условий сцепления, а стабилизировать коэффициент сцепления за счет физических эффектов, что, предположительно, даст возможность повысить вес состава на 25%. Авторами также предложены концепции новых конструктивных схем тягового привода. Прежде всего это

концепция агрегатного тягового привода [11], в котором, за счет шарнирного соединения тягового редуктора и ТЭД вместо жесткого, примененного на электровозах 2ЭС10 и ЭП20, позволяет существенно упростить изготовление и ремонт привода. Предложен привод с дугостаторным асинхронным двигателем, имеющим незамкнутый статор для уменьшения централи тяговой передачи и непосредственный тяговый привод, не имеющий осевых подшипников, что повышает надежность и упрощает ремонт. На предложенные конструкции также получены патенты.

В результате анализа рациональности конструкторских решений локомотивов 2ТЭ30а, ТЭ26 и ТЭМ23 авторами выявлен ряд проблемных узлов и даны предложе-

ния по улучшению конструкции учтены проектировщиком, что отмечено, например, в [12] (уменьшение базы тележки).

Рассмотрим в качестве примера решения технической задачи концепцию агрегатного тягового привода (рис. 3).

В начале 80-х годов в нашей стране одним из наиболее перспективных вариантов тягового привода грузовых локомотивов считался привод с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором, соединенным с ТЭД передаточным механизмом с упругими звеньями (муфты, торсионный вал). Это позволяет снизить

неподдрессоренную массу локомотива и амортизировать удары при прохождении стыковых неровностей пути. Недостатком данного привода является то, что прохождение вала передаточного механизма внутри ротора ТЭД требует увеличения диаметра вала и диаметра роторных подшипников, что, в свою очередь, ограничивает частоту вращения ТЭД и возможность уменьшить его габариты и массу. Разместить передаточный механизм снаружи для локомотива также сложно, так как это значительно уменьшает осевые габариты ТЭД.

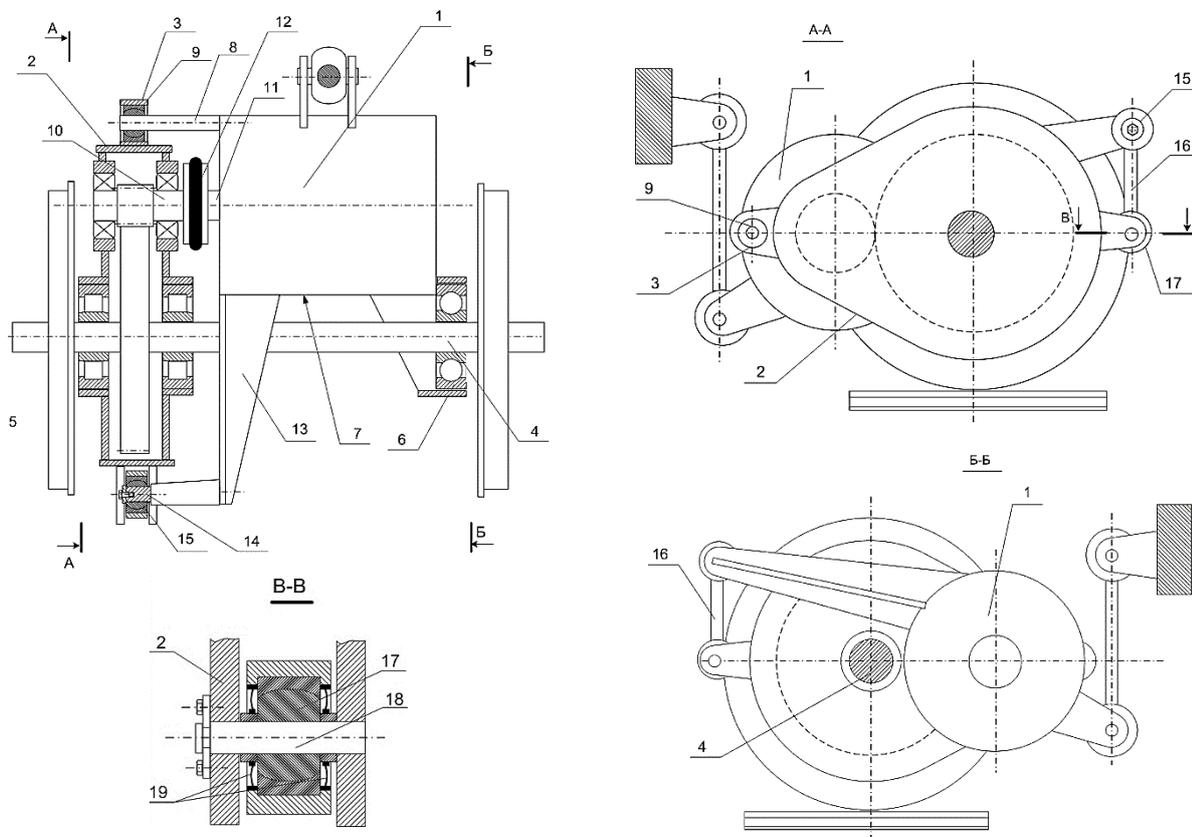


Рис. 3. Вариант агрегатного тягового привода локомотива: 1 – ТЭД; 2 – осевой редуктор; 3 – разъемное соединение; 4 – ось колесной пары; 5,6 – подшипники; 7 – корпус ТЭД; 8 – палец; 9,15,17 – сферические шарниры; 10 – вал ТЭД; 11 – вал осевого редуктора;

12 – упруго-компенсационная муфта; 13 – кронштейн; 14, 18 – пальцы; 19 – эластичные диафрагмы

Fig. 3. Locomotive unit traction drive option: 1 – traction electric motor; 2 – axial reduction gear;

3 – detachable connection; 4 – wheelset axle; 5,6 – sub-studs; 7 – traction electric motor housing;

8 – finger; 9,15,17 – spherical hinges; 10 – traction electric motor shaft; 11 – shaft of axial reduction gear box;

12 – elastic-compensating coupling; 13 – bracket; 14, 18 – fingers; 19 – elastic diaphragms

Для устранения этого недостатка зарубежные фирмы пошли по пути создания интегрированного тягового привода, в котором ТЭД жестко крепится к осевому редуктору, при этом подшипники осевого редуктора служат одной из опор вала ТЭД,

соединенного с валом осевого редуктора через жесткую дисковую муфту. Это позволило увеличить частоту вращения ротора ТЭД в полтора-два раза и уменьшить его массу. Недостатком этого привода являются высокие требования к точности об-

работки корпусных деталей и отсутствие упругих звеньев в приводе, что ведет к увеличению эквивалентной неподрессоренной массы за счет инерции вращающихся деталей, а также к ухудшению сцепления из-за роста динамических моментов.

Таким образом, на стадии выбора геометрических характеристик тягового привода и его кинематической схемы у нас возникают два противоречия требований, отражающих антагонизм свойств конструктивных элементов:

- упруго-компенсирующий механизм должен быть, чтобы компенсировать несоосность валов ТЭД и редуктора и амортизировать динамические нагрузки, и его не должно быть, чтобы не увеличивать диаметр вала ТЭД;

- редуктор должен быть соединен с ТЭД, чтобы обеспечить минимальную несоосность валов ТЭД и редуктора и не должен быть соединен с ТЭД, чтобы упро-

стить обработку корпусных деталей.

Данные антагонизмы снимаются, как показано на рис. 3, за счет шарнирного соединения редуктора и ТЭД при опоре ТЭД на ось колесной пары, что позволяет для компенсации монтажных несоосностей использовать одинарную упругую муфту. На конструкцию данного привода авторами получен патент на полезную модель [13].

В качестве другого примера можно привести предложенное авторами устройство для увеличения коэффициента сцепления (рис. 4). При размещении обмотки индуктора вокруг диска колеса локомотива, как это было сделано на тепловозе ТЭМ2УС-0001 не удалось получить существенного роста коэффициента сцепления, а размещению обмотки индуктора на оси колесной пары мешает близость корпуса ТЭД. Таким образом, возникает противоречие требований: обмотка индуктора должна быть вблизи колесной пары и далеко от колесной пары.

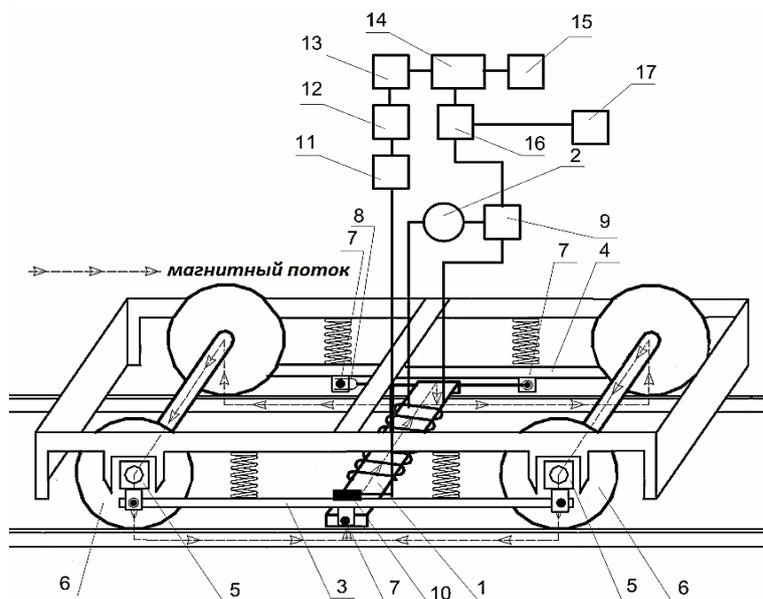


Рис. 4. Устройство для увеличения коэффициента сцепления: 1 – электромагнит; 2 – источник тока; 3, 4 – балансиры; 5 – буксы; 6 – колесные пары; 7 – сферические шарниры; 8 – продольная направляющая; 9 – ключ; 10 – датчик продольных ускорений; 11 – усилитель; 12 – полосовой фильтр; 13 – блок фиксации уровня текущего сигнала; 14 – аналогово-цифровой преобразователь и анализатор сигналов; 15 – блок формирования эталонного сигнала; 16 – логический элемент «И»; 17 – пульт управления

Fig. 4. Device for increasing the coefficient of adhesion 1 - electromagnet; 2 - current source; 3, 4 - balance bars; 5 - axle boxes; 6 - wheelsets; 7 - spherical hinges; 8 - longitudinal guide; 9 - wrench; 10 - longitudinal acceleration sensor; 11 - amplifier; 12 - band-pass filter; 13 - current signal level recording unit; 14 shows an analog-to-digital converter and a signal analyzer; 15 shows a reference signal generating unit; 16 is an AND gate; 17 - control panel

В конструкции, предложенной авторами (рис. 4), индуктор размещен на свободном месте на удалении от колесных пар

(геометрически далеко) и шарнирно подвешен к двум балансирам, которые выступают в роли магнитных сердечников ин-

дуктора (то есть, близко с точки зрения магнитного потока). На предложенную конструкцию подана заявка на получение патента.

К работам, относящимся к развитию математического аппарата технической инновационики, можно отнести предложенную авторами объектную модель технических устройств, позволяющую формализовать и в дальнейшем автоматизировать сравнение различных конструкций [14] и модернизированный метод базовой точки для выбора параметров и конструктивного исполнения тяго-

Выводы

1. Выявлена необходимость создания, развития и применения общих методик конструирования железнодорожного подвижного состава, которые позволяли бы сокращать время на поиски рациональных решений при недостатке знаний и опыта.

2. В результате проведенного анализа выявлен ряд недостатков ранее известных попыток создания общей теории конструирования, а именно: не учитывается недостаток информации при конструировании новой техники, имеет место некомплексность подхода (каждое из направлений рассматривает лишь часть проблематики конструирования) и разнородность терминологии и методических подходов. Указанные недостатки обуславливают необходимость развития комплексного направления в общей теории конструирования.

3. Авторами предложено новое направление в общей теории конструирования, получившей название технической инновационики и учитывающей не-

вого привода [15].

Термин «техническая инновационика» к настоящему моменту использован в 15 монографиях, 6 статьях в изданиях, рецензируемых ВАК и одной защищенной диссертационной работе, возражений против использования данного термина в научных публикациях не найдено.

Из изложенного можно сделать вывод, что техническая инновационика может быть применена в качестве общей теории конструирования при создании железнодорожного подвижного состава.

достаток информации при конструировании. В рамках этого направления комплексно рассматриваются вопросы изобретательства, инженерного анализа и выбора технических решений, при алгоритмизации процессов создания конструкции.

4. Благодаря использованию методологии технической инновационики авторами получено значительное число патентов Российской Федерации на изобретения и полезные модели, предложены классификации тягового привода локомотивов и других узлов подвижного состава, предложены новые концепции тягового привода. Проведен анализ и даны предложения по совершенствованию экипажной части перспективных локомотивов.

5. Предлагается использовать методы технической инновационики в качестве общей теории конструирования при создании железнодорожного подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин: монография / [О.В. Измеров и др.]; под ред. чл.-кор. Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2013. - 415 с.
2. Техническая инновационика. Проблемы инженерного анализа технических систем: монография. / [О.В. Измеров и др.]. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2013, - 261 с.

3. Техническая инновационика. Рациональный выбор технических решений при проектировании: монография / [О.В. Измеров и др.]; под ред. О.В. Измерова. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2013. - 340 с.
4. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. -

- Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 234 с.
5. Техническая инноватика. Классификации в технике : монография / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, С.Н. Злобин, О.В. Измеров, М.И. Борзенков, А.А. Пугачев : Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023. – 186 с.
 6. Плетнев, К. И. (доктор экономических наук; профессор) Инноватика как новая область экономической науки и некоторые аспекты ее теоретико-методологических основ [[Текст]] / К. И. Плетнев // Инновации 2012 № 10 С. 26-30.
 7. Техническая инноватика. Методы изобретательского творчества: монография./[О.В. Измеров и др.]. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2011. -213 с.
 8. . Столяров, Юрий Николаевич. Онтологический и метонимический смыслы понятия «информация» / Ю. Н. Столяров // Научные и технические библиотеки . – 03/2002 . – N3 . – С.45-52 .
 9. Концепция развития энергосберегающих электромеханических систем: монография / А.С. Космодамианский [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2014. – 244 с.
 10. Бирюков И.В. Тяговые передачи электропо-

движного состава железных дорог / И.В. Бирюков, А.И. Беляев А.И, Е.К. Рыбников - М., Транспорт, 1986 – 256 с.

11. Применение агрегатных тяговых приводов для локомотивов с повышенными тяговыми свойствами / Космодамианский А.С., Пугачев А.А., Воробьев В.И., Измеров О.В., Николаев Е.В. // «Транспорт Урала», № 2(77), Екатеринбург, УрГУПС, 2023, С.41-48.
12. Воробьев В.И., Пугачев А.А., Измеров О.В., Николаев Е.В. Поиск рациональных технических решений тепловоза для Восточного полигона. Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 10 (107). С. 53-63.
13. 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.
14. Патент РФ на полезную модель № 225119. МПК В61С 9/48. Тяговый привод локомотива. Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Маслов М.А., Копылов С.О., Урсегова П.Ю., Бакаева М.Н. Опубл. 15.04.2024, бюл. №11.
15. Выбор объектной модели тягового привода локомотива [Текст] / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.А. Маслов. - Вестник Брянского государственного технического университета. Брянск, БГТУ, 2017 - № 6 (59), с. 69-75.

REFERENCES

1. Izmerov OV. Technical innovation. Designing competitive machines: monograph. Orel: Gosuniversitet – UNPK; 2013.
2. Izmerov OV. Technical innovation. Problems of engineering analysis of technical systems: monograph. Orel: Gosuniversitet – UNPK; 2013.
3. Izmerov OV. Technical innovation. Rational choice of technical solutions in design: monograph. Orel: Gosuniversitet – UNPK; 2013.
4. Izmerov OV. Cybernetic aspects of methods of electromechanical systems synthesis: monograph. Orel: Gosuniversitet – UNPK; 2015.
5. Kosmodamiansky AS, Vorobyov VI, Vorobyov DV, Zlobin SN, Izmerov OV, Borzenkov MI, Pugachev AA. Technical innovation. Classifications in engineering: monograph. Orel: OSU named after Turgenev IS; 2023.
6. Pletnev KI. Innovation as a new field of economics and some aspects of its theoretical and methodological foundations. Innovations. 2012;10:26-30.
7. Izmerov OV. Technical innovation. Methods of inventive creativity: monograph. Orel: Gosuniversitet – UNPK; 2011.

8. Stolyarov YuN. Ontological and metonymic meanings of the concept of "information". Scientific and Technical Libraries. 2002;3(3):45-52 .
9. Kosmodamiansky AS. The concept of developing energy-saving electromechanical systems: monograph. Orel: Gosuniversitet – UNPK; 2011.
10. Biryukov IV, Belyaev AI, Rybnikov EK. Traction transmission of electric rolling stock. Moscow, Transport; 1986.
11. Kosmodamiansky AS, Pugachev AA, Vorobyov VI, Izmerov OV, Nikolaev EV. Application of aggregate traction drives for locomotives with increased traction properties. Transport of the Urals. 2023;2(77):41-48.
12. Vorobyov VI, Pugachev AA, Izmerov OV, Nikolaev EV. Search for rational technical solutions of diesel locomotives for the Eastern Range. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2021;10(107):53-63.
13. Litvinov AT, Akishin EP, Werber FG, Lysak VA, Avramenko VS, Vlasov VI, Izmerov OV, Kochergin VV. Dynamic loads in the traction drive of 2ТЭ121 diesel locomotive. Test results of 2ТЭ121 diesel locomotive. Trudi VNIIT. 1085;62:119-130.

14. Antipin DYa, Vorobyov VI, Izmerov OV, Maslov MA, Kopylov SO, Ursegova PYu, Vakaeva MN. RF Patent for utility model No. 225119. МПК В61С 9/48. Traction drive of a locomotive. 2024 Apr 04.

15. Vorobyov VI, Izmerov OV, Maslov MA. Selection of the object model of the locomotive traction drive. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2017;6(59):69-75.

Информация об авторах:

Космодамианский Андрей Сергеевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта, тел. +7 (495) 281-45-20

Пугачев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Высокотехнологичное транспортное машиностроение» Брянского государственного технического университета, тел. (4832) 56-04-66.

Воробьев Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Высокотехнологич-

ное транспортное машиностроение» Брянского государственного технического университета, тел. (4832) 56-04-66.

Соболев Валерий Сергеевич – аспирант кафедры «Высокотехнологичное транспортное машиностроение» Брянского государственного технического университета, тел. +8 9964490110.

Карпов Артем Евгеньевич – ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта, г. Москва, тел. +7 (495) 281-45-20.

Kosmodamiansky Andrey Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Traction Rolling Stock at the Russian University of Transport, phone: +7 (495) 281-45-20.

Pugachev Alexander Anatolyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of High-Tech Transport Engineering at Bryansk State Technical University, phone: (4832) 56-04-66.

Vorobyov Vladimir Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department

of High-Tech Transport Engineering at Bryansk State Technical University, phone: (4832) 56-04-66.

Sobolev Valery Sergeevich – Postgraduate Student of the Department of High-Tech Transport Engineering at Bryansk State Technical University, phone: +8 9964490110.

Karpov Artem Evgenyevich – Assistant Lecturer of the Department of Traction Rolling Stock at the Russian University of Transport, Moscow, phone: +7 (495) 281-45-20.

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 21.04.2025; одобрена после рецензирования 29.04.2025; принята к публикации 30.04.2025. 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 21.04.2025; approved after review on 29.04.2025; accepted for publication on 30.04.2025. 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*.