

РАСШИРЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ ЛОКОМОТИВОВ



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

Рассмотрена задача развития ранее предложенной классификации тяговых приводов как инструмента поиска новых патентоспособных решений. Предложена расширенная классификация-алгоритм, включающая в себя класс промежуточных решений, а также уровни анализа новых конструктивных решений.

Ключевые слова: проблемы создания новой техники, теория знаний, синтез технических решений, классификация

EDN: EWPAF

В [1] О.В. Измеровым была предложена классификация механической части тяговых приводов локомотивов, представляющая собой дальнейшее развитие идей типологизации технических решений, ранее изложенных им в [2–4]. В отличие от ранее существовавших классификаций тяговых приводов, в частности, наиболее известной классификации, предложенной И.В. Бирюковым в [5], данная классификация была предназначена не только для выявления

закономерностей при создании тяговых приводов и сведения их конструкций в единую логическую систему, но и должна была служить инструментом для синтеза новых конструктивных схем и технических решений приводов. В [4] было доказано, что принципы построения указанной классификации отражают общие закономерности создания машин и был предложен алгоритм построения подобных классификаций для общего случая. В варианте расширенной классификации [1]

Космодамианский Андрей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизация агрегатов и систем тягового подвижного состава, электрические передачи локомотивов. Автор 425 научных работ, в том числе 26 монографий, одного учебника и 24 учебных пособий. Имеет 127 патентов РФ.

Воробьев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор более 90 научных работ, в том числе 12 монографий. Имеет 80 патентов РФ.

Измеров Олег Васильевич, главный консультант отдела информационных систем хозяйственного управления Администрации губернатора Брянской области и Правительства Брянской области. Область научных интересов: динамика и методы конструирования тяговых приводов рельсового подвижного состава. Автор 82 научных работ, в том числе 20 монографий и десяти учебников. Имеет 90 патентов РФ.

Шевченко Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электропривод, коэффициент сцепления колеса с рельсом, боксование, противобоксовочные защиты, тяговые свойства локомотива, регулирования сил тяги и торможения. Автор восьми научных работ. Имеет пять патентов РФ.

Николаев Евгений Владимирович, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор 20 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет 10 патентов РФ.

был отражен новый описательный признак конструкции — появление агрегатной компоновки.

За время, прошедшее с момента выхода [1], перед отечественной транспортной промышленностью встали задачи практического создания и производства качественно новых локомотивов, конкурентоспособных на мировом рынке. Так, в 2021 г. АО «Трансмашхолдинг» создан концептуально новый маневровый тепловоз ТЭМ23, разрабатывается грузопассажирский тепловоз; отечественными производителями создаются тепловозы нового поколения для Восточного полигона. Это означает активизацию работ по поиску новых конструктивных решений и в области тягового привода. Помимо этого, отечественными производителями ведется работа в области моторвагонного рельсового подвижного состава, в том числе низкопольного, где нет эмпирически сложившихся представлений о рациональных технических решениях тяговых приводов. Таким образом, возникает необходимость дальнейшего обобщения конструкций приводов и развития классификации. Настоящая статья является попыткой решения данной проблемы.

Результаты анализа и предлагаемая структура классификации

Для систематизации на уровне конструктивных исполнений привода предложено ввести три группы компоновок: простую, интегрированную и агрегатную. Определения интегрированного и агрегатного привода были ранее даны в [6], а в [1] дано определение простой компоновки, как конструктивного решения, при котором техническое решение привода не содержит функциональных узлов в законченном виде. Так, например, в тяговом приводе тепловоза 2ТЭ25К^М нет узла, который можно было бы определить, как функционально законченный осевой редуктор, поскольку валом малого зубчатого колеса служит вал тягового электродвигателя (ТЭД), валом большого зубчатого колеса — ось колесной пары, а функции подшипников выполняют моторно-осевые подшипники.

Данное предложение помогло разрешить логическую коллизию, препятствующую введению в классификацию признака групп интегрированных и агрегатных приводов. В то же время существуют решения приводов, для которых продолжают возникать затруднения при отнесении к разным группам. Так, например, опорно-осевой привод опытного электроваза 2ЭС5 производства ООО «ПК «НЭВЗ» (рис. 1) отличается от простой компоновки только тем, что подшипниковый щит со стороны зубчатой передачи имеет кронштейн с гнездом для моторно-осевого подшипника, вследствие чего малое зубчатое колесо

расположено между моторно-осевыми подшипниками. Корпус редуктора при этом можно выполнить несущим, так как моторно-осевые подшипники размещены в трубе на оси колесной пары.

Таким образом, этот привод может быть отнесен к простой компоновке, поскольку в нем нет функциональных узлов в законченном виде. Вместе с тем опорно-рамный вариант этого привода (IGA) обычно относят к интегрированным, поскольку осевые подшипники в нем размещены в гнездах как на подшипниковом щите ТЭД, так и на корпусе редуктора, являющегося несущим.

Поскольку создание классификации ориентировано на использование в перспективе компьютерного распознавания конструктивных схем на основе объектных моделей технических устройств [7], необходима более строгая формализация процесса принятия решения отнесения привода к той или иной группе. В связи с этим авторами предложено выделить четыре группы конструктивных решений: простая компоновка (не содержащая функциональных узлов в законченном виде), переходная (усложнение простой компоновки ведет к выделению функциональных узлов), интегрированная (функциональные узлы присутствуют в законченном виде, но не могут выполнять свои функции без сборки с другими узлами) и агрегатная (функциональные узлы присутствуют в законченном виде и могут выполнять свои функции без сборки с другими узлами). При этом принадлежность к группе

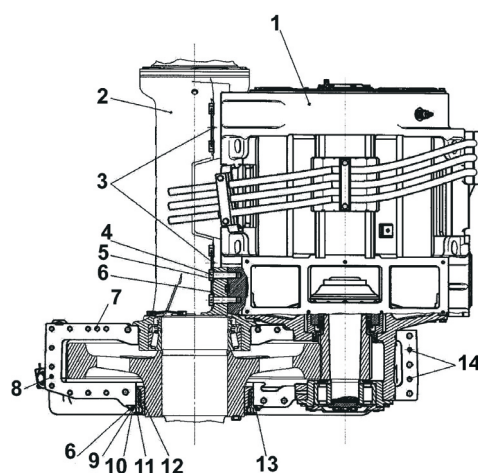


Рис. 1. Тяговый привод опытного электроваза 2ЭС5:
1 – ТЭД с редуктором; 2 – колесная пара с моторно-осевыми подшипниками и зубчатым колесом;
3, 7, 8, 14 – пробки; 4 – болт;
5, 10 – шайбы; 6 – контрольная проволока; 9 – винт;
11 – колпачок; 12 – распорка; 13 – прокладка

частично-интегрированной (переходной) компоновки определяется именно в том случае, когда формальные оценки не позволяют отнести конструкцию к простым или интегрированным приводам.

Пример такой группировки для семейства редукторных приводов, имеющих как частичное опирание масс привода на ось, так и полное опирание масс на раму экипажа (за исключением масс узлов, непосредственно передающих тяговый или тормозной момент на колесную пару) показан на рис. 2. На рис. 2 не показано семейство приводов, где полное обрессоривание достигнуто введением упругих элементов в опоры масс привода на колесную пару, ввиду кинематического сходства с семейством приводов с жесткой опорой на колесную пару.

Как видно из рис. 2, в совокупности решений, относящихся к группе простой компоновки, тяговый редуктор, как функциональный узел, отсутствует. К приводам, изображенным на рис. 2,а относится большинство конструкций опорно-осевого привода грузовых тепловозов, распространенных на Российских и Северо-Американских железных дорогах, рис. 2,б — привод, аналогичный применяемому на пассажирских тепловозах ТЭП70 производства АО «Коломенский завод», привод, изображенный на рис. 2,в реализован в виде экспериментального привода ВНИТИ без передаточного механизма [8].

Образование переходной компоновки производится в результате модификаций простой компоновки, направленных на улучшение работы зубчатой передачи без изменения числа ступеней, типа передачи и т.п. Привод, изображенный на рис. 2,г реализован на отечественном электровозе 2ЭС5 производства ООО «ПК«НЭВЗ», привод, изображенный на рис. 2,д — так называемый привод IGA. Отличие этих приводов заключается в том, что малое зубчатое колесо расположено между моторно-осевыми подшипниками, что позволяет увеличить длину посадки с натягом на валу ТЭД и повысить предельный передаваемый крутящий момент.

Привод без передаточного механизма (рис. 2,е) предложен Л.Н. Решетовым [9]. Благодаря применению промежуточного зубчатого колеса в этой конструкции привода при вертикальном перемещении колесной пары не меняется расстояние между осями зубчатых колес.

Соответственно, для интегрированной компоновки привода можно выделить законченные функциональные узлы, однако при этом один и тот же элемент конструкции может выполнять свои функции одновременно для нескольких функциональных узлов. Так, на рис. 2,ж показана схема тягового привода с опиранием ТЭД на ось и раму тележки, примененного на

электровозе 2ЭС10 производства ООО «Уральские локомотивы», в которой подшипник 6 одновременно выполняет функции как моторно-осевого, так и осевого подшипника редуктора, а левый подшипник 9 — одновременно роторного подшипника и подшипника вала малой шестерни осевого редуктора. Аналогичный принцип используется в приводе GEAFLEX (рис. 2,з) с опиранием масс привода на раму тележки, а также в приводе пассажирского электровоза ЭП20 производства ООО «ПК«НЭВЗ». Интегрированная компоновка возможна также и для привода с разделением масс ТЭД и тяговой передачи. На рис. 2,и показана схема привода по а.с. 79734 [10], в котором ТЭД подвешивается на раме тележки с возможностью продольного перемещения, при этом он связан с колесной парой через подшипники 18, соосные роторным 7 и расположенные снаружи последних. Таким образом, в отличие от схемы Решетова (см. рис. 2,е), в данном приводе сокращены размерные цепи, определяющие межосевое расстояние в зубчатой передаче, что позволяет повысить точность ее изготовления и долговечность.

Агрегатная компоновка для данного ряда конструктивных схем превращается в известную схему с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором, соединенных компенсирующим механизмом. Такая схема применяется на пассажирском электровозе ЭП1 производства ООО «ПК«НЭВЗ», электропоездах и т.п.

Предлагаемый авторами вариант расширенной классификации приводов приведен на рис. 3. Поскольку общие принципы построения классификации, а также примеры образования конструкторских решений для различных конструктивных схем и типов приводов, в том числе для интегрированной и агрегатной компоновки, были ранее подробно изложены авторами в [1–4], рассмотрим отличия предлагаемой классификации от приведенной в [1].

Поскольку алгоритм-классификация, как уже было отмечено выше, является методическим инструментом синтеза новых решений, в нее, помимо включения промежуточного (переходного) типа компоновки, добавлены уровни новых решений и анализа.

Уровень новых решений — это уровень классификации, где ее пользователь размещает созданные им или предприятием патентоспособные конструкции тягового привода. На данном уровне классификации разных пользователей будут различаться, однако, поскольку предлагаемая классификация является прежде всего инструментом для синтеза новых решений, данное различие не только допустимо, но и является необходимым условием работы с классификацией.

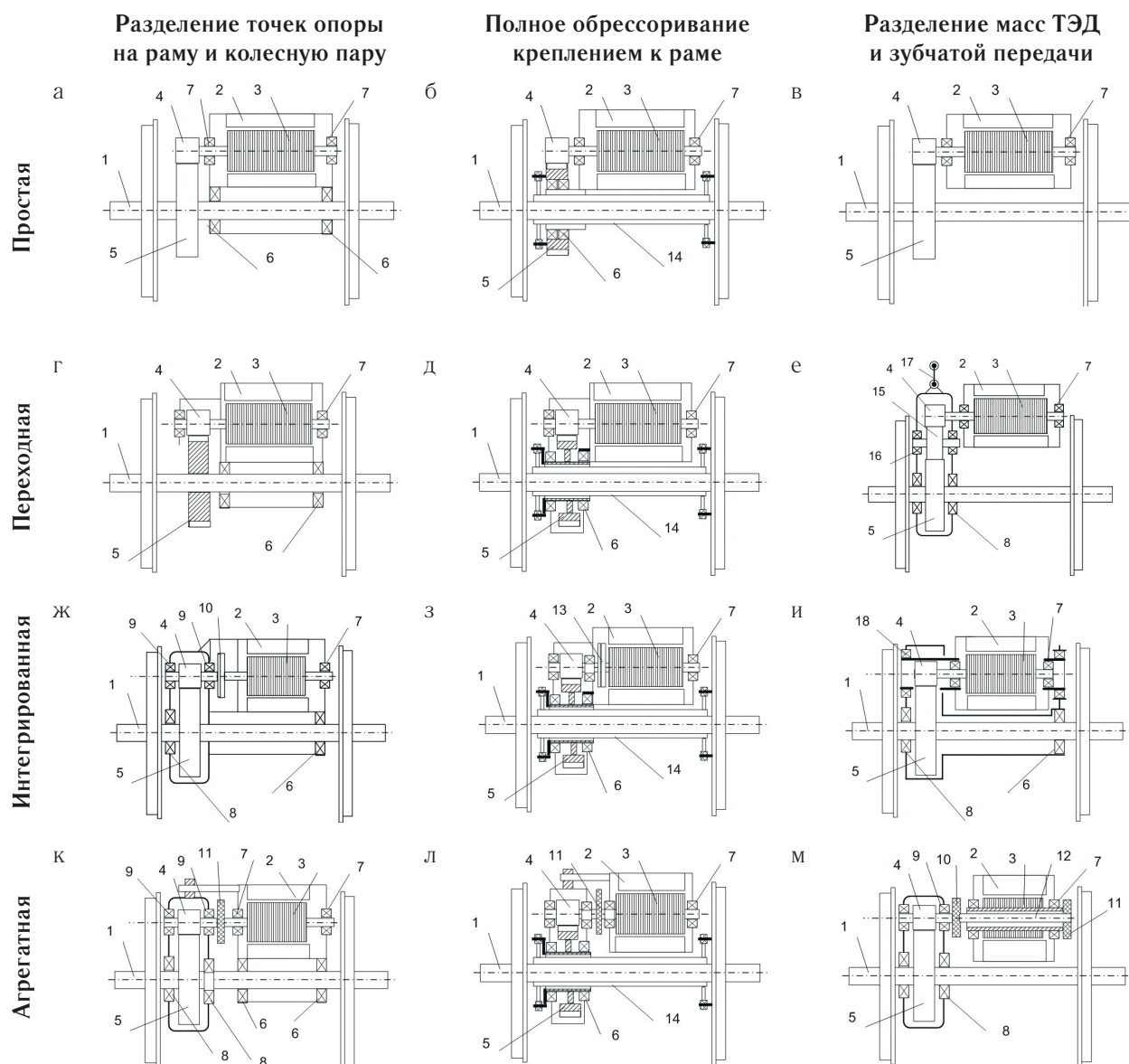
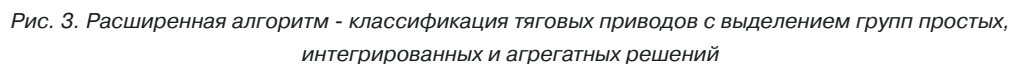


Рис. 2. Матрица групп конструктивных решений для редукторных приводов с частично и полностью обрессоренными массами: 1 – колесная пара; 2 – статор ТЭД; 3 – ротор ТЭД; 4 – малое зубчатое колесо; 5 – большое зубчатое колесо; 6 – моторно-осевой подшипник; 7 – подшипник ротора ТЭД; 8 – осевой подшипник редуктора; 9 – подшипник оси малого зубчатого колеса; 10 – дисковая муфта; 11 – упруго-компенсирующая муфта; 12 – торсионный вал; 13 – мембранная муфта; 14 – полый вал; 15 – промежуточное зубчатое колесо; 16 – подшипник промежуточного зубчатого колеса; 17 – тяга; 18 – подшипник опоры на вал ТЭД

В группе полностью необрессоренных приводов авторами запатентовано мотор-колесо с увеличенным сроком службы подшипников за счет увеличения расстояния между опорами (патент № 196906).

 НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА

В группе частично обрессоренных редукторных приводов получено по одному патенту на приводы простой и переходной схем (№172438 и 190120). В приводе простой схемы, при жестком опирании ТЭД на ось, крутящий момент амортизируется элементами в колесных центрах, а переходной схемы — за счет соединения большого зубчатого колеса с колесным центром увеличено место под размещение осевого подшипника. Пять патентов получено на приводы интегрированной схемы (№164732, 169062, 176168, 176430 и 190846), улучшение прототипов выражается в упрощении сборки привода, применении двусторонней шевронной передачи, амортизации динамического момента при проезде неровностей пути, предложении новой компоновки с двухдисковым ТЭД и размещением тяговой передачи между дисками. На различные варианты агрегатных приводов получены три патента (№164797, 176845 и 189364).

Для группы с разделением ТЭД и передачи запатентовано два привода (№173559 и 190819), в которых первая ступень передачи размещена на корпусе ТЭД, что позволяет использовать уравновешенный шарнирно-поводковый механизм для связи с осевым редуктором и повысить надежность привода. Для группы частично обрессоренных редукторных приводов с разделением колес передачи запатентован двухступенчатый привод с крупномодульным колесом второй ступени, имеющий меньший износ передачи (патент № 157038).

В группе приводов с полностью обрессоренными массами запатентованы четыре решения. Это опорно-центральный привод с металлическим упругим элементом (патент №177913), опорно-центральный привод интегрированной схемы (патент №166920) а также опорно-рамный привод с ТЭД с осевым магнитным потоком (патент №200670).

Таким образом, можно считать доказанной возможность получения новых патентоспособных решений практически для всех известных конструктивных схем тяговых приводов, включая и те, для которых длительное время не наблюдалось изобретательской активности.

Уровень анализа для алгоритма-классификации включает в себя совокупность создаваемых разработчиком таблиц конструктивных решений, аналогичных приведенной на рис. 1. Это позволяет снять противоречия между иерархической и табличной формами систематизации решений. Если иерархическая часть классификации используется для типологизации всех известных конструктивных решений, то табличная — для выделения групп решений, наиболее интересующих разработчика и ранжированных по двум или нескольким признакам, что позволяет определить

новые возможные области поиска новых решений. С другой стороны, табличная форма упрощает задачу разбиения конструкции на элементы для дальнейшего построения объектных моделей тягового привода [7] и развития автоматического распознавания подобных друг другу технических решений.

В качестве примера использования классификации рассмотрим конструкции привода, предложенные и запатентованные авторами с момента опубликования [1].

Опорно-центральный интегрированный привод

Известные опорно-осевые приводы интегрированного типа (например, привод электровоза ЭП10) не имеют упругих элементов для амортизации ударных моментов при прохождении неровностей пути, что увеличивает расход энергии на тягу из-за роста проскальзывания колеса по рельсу при максимумах динамического момента. Уменьшение наружного диаметра ТЭД в интегрированном приводе ведет к увеличению расстояния между осью колесной пары и корпусом ТЭД. Это дает возможность разместить между корпусом ТЭД и осью колесной пары полый вал, опирающийся на колесные центры колесной пары через упругие элементы. В связи с этим авторами предло-

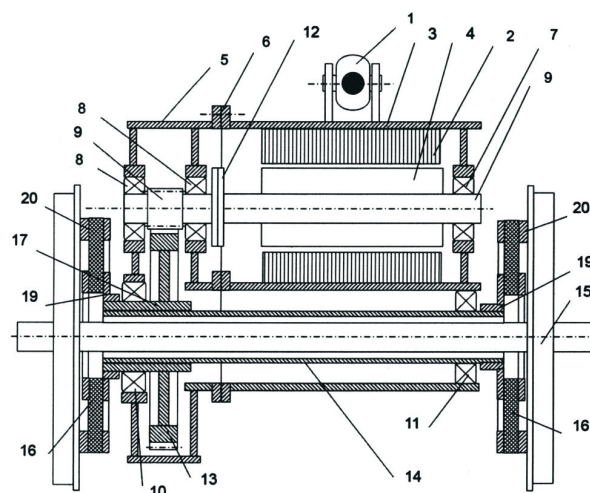


Рис. 4. Опорно-центральный привод интегрированной схемы: 1 – подвеска; 2 – ТЭД; 3 – статор; 4 – ротор; 5 – осевой редуктор; 6 – разъемное соединение; 7 – подшипник ротора; 8 – подшипники вала осевого редуктора; 9 – вал осевого редуктора; 10, 11 – осевые подшипники; 12 – мембранная муфта; 13 – большое зубчатое колесо; 14 – полый вал; 15 – колесная пара; 16 – упругие элементы; 17 – ступица; 18 – секторы упругого элемента; 19 – фланец; 20 – кольцевой выступ

жен тяговый привод интегрированного типа с упругим опиранием на колесную пару (рис. 4).

В предложенном приводе осевой подшипник 10 на стороне редуктора опирается на ступицу 17 большого зубчатого колеса, посаженную с гарантированным натягом на полый вал, что позволяет уменьшить натяг между ступицей и полым валом и, соответственно, толщину полого вала и централь тяговой передачи. Это дает возможность увеличить тяговое усилие по предельному моменту ТЭД. Выполнение упругих элементов в виде плоских резинокордных пластин дает возможность уменьшить их жесткость, снизить динамические моменты в приводе и повысить тяговое усилие по условиям сцепления колеса с рельсом. Это, в совокупности, увеличивает производительность локомотива. На предложенный привод авторами получены патенты на полезные модели [11;12].

Опорно-центральной агрегатный привод

В предложенном О.В. Измеровым приводе агрегатного типа [6], как и в приводе интегрированного типа, можно повысить скорость вращения ТЭД по сравнению с приводами простого и промежуточного типов, потому что, с одной стороны, малая шестерня симметрично расположена между подшипниковыми опорами, что обеспечивает долговечность последних, а, с другой стороны, упруго-компенсационная муфта компенсирует только несоосности, возникающие при сборке привода, благодаря чему частота вращения муфты может быть значительно выше, чем у муфт, которые должны компенсировать перемещение осевого редуктора относительно рамы тележки. Аналогично примеру, рассмотренному выше, упругое опирание на колесную пару можно реализовать и для привода агрегатного типа. Снижение вертикальных ускорений ТЭД за счет обрессоривания также способствует снижению расхода энергии на тягу, поскольку уменьшается изменение динамической составляющей вертикальной нагрузки колеса на рельсы и, соответственно, величины упругого скольжения при минимальном суммарном значении нагрузки. Подобная конструктивная схема, предложенная авторами, представлена на рис. 5. На данный привод получен патент на полезную модель [13].

Тяговый привод с дугостаторным ТЭД

С точки зрения максимальной экономии затрат энергии на тягу наилучшей конструктивной схемой является тяговый привод с полностью обрессоренными массами, поскольку в этом случае минимальны колебания как вертикальной нагрузки на ось, так и

величины крутящего момента в валопроводах привода. Обычно применяемый вариант с полым карданным валом на оси, который требует для своего размещения значительного пространства между корпусом ТЭД и поверхностью оси. Повышение частоты вращения ТЭД снижает долговечность подшипников и зубчатой передачи привода, в связи с чем авторами была предложена принципиально новая конструкция привода с использованием дугостаторного асинхронного ТЭД (рис. 6). Дугостаторный ТЭД имеет статор, состоящий из двухдуговых индукторов, не сомкнутых между собой со стороны оси.

Благодаря этому ТЭД имеет глубокую выемку со стороны оси колесной пары, что позволяет разместить полый карданный вал при большем диаметре ТЭД, чем при обычной конструкции ТЭД с радиальным магнитным потоком. Как показано в [14], дугостаторные ТЭД могут применяться для локомотивной тяги, при этом достоинством дугостаторного ТЭД являются более низкие ударные моменты при аварийных режимах работы полупроводникового преобразователя напряжения. Конструкция защищена патентом на полезную модель [15].

Выводы

1. Установлена необходимость дальнейшего развития ранее предложенной классификации тяговых приводов, как в связи с необходимостью выделения в

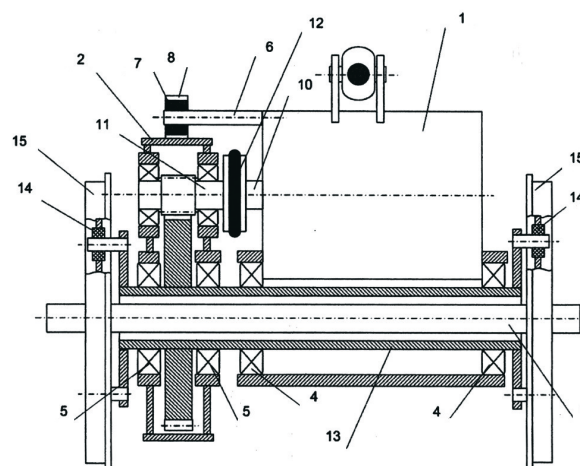


Рис. 5. Опорно-центральной привод агрегатной схемы:
1 – ТЭД; 2 – осевой редуктор; 3 – колесная пара;
4, 5 – подшипники; 6 – палец; 7 – сферический шарнир;
8 – ползун; 9 – кронштейн; 10 – вал ТЭД; 11 – вал осевого редуктора; 12 – упруго-компенсационная муфта;
13 – полый вал; 14 – упругие элементы;
15 – колесные центры

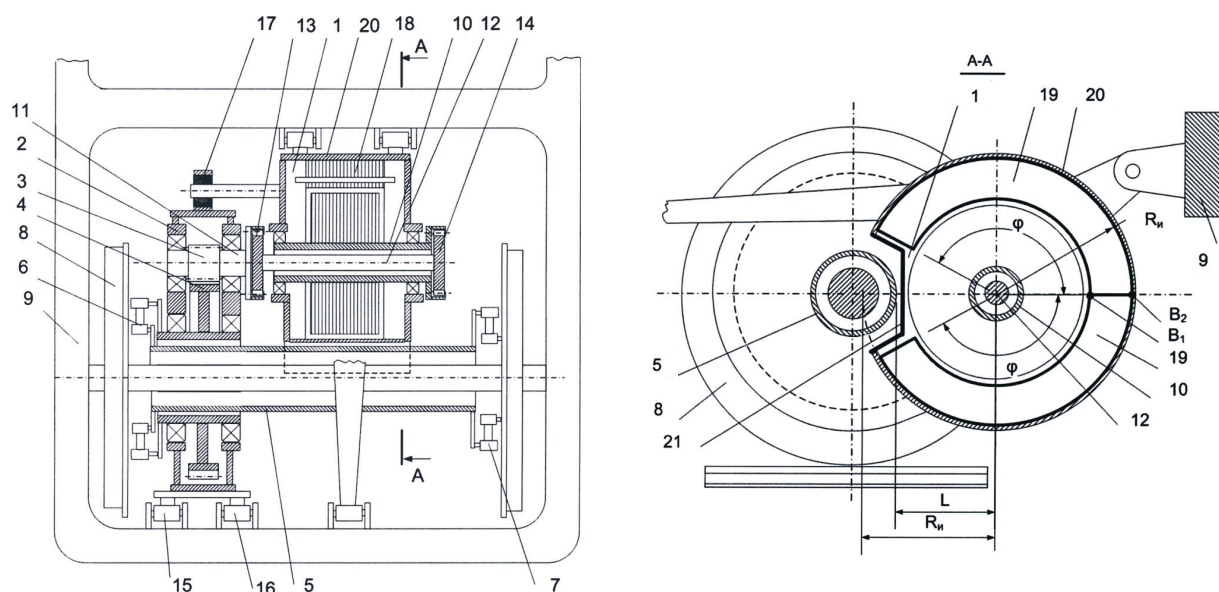


Рис. 6. Тяговый привод с дугостаторным асинхронным ТЭД: 1 – ТЭД; 2 – редуктор; 3, 4 – зубчатые колеса; 5 – полый вал; 6, 7 – муфты; 8 – колесная пара; 9 – рама тележки; 10 – вал ТЭД; 11 – вал редуктора; 12 – торсионный вал; 13, 14 – зубчатые муфты; 15, 16 – опоры редуктора; 17 – подвижное соединение; 18 – статор ТЭД; 19 – дугообразные индукторы; 20 – корпус ТЭД; 21 – кожух

отдельный подкласс компоновки привода, переходной от простой к интегрированной, так и в связи с необходимостью учета в классификации табличных методов представления закономерностей изменения свойств конструкции в зависимости от их компоновки.

2. Предложена таблица (матрица) групп конструктивных решений редукторных тяговых приводов с частично и полностью обрессоренными массами, включающая в себя четыре группы компоновки (простая, промежуточная, интегрированная и агрегатная) и все известные способы частичного обрессоривания масс привода.

3. Дана усовершенствованная классификация тяговых приводов, включающая в себя промежуточный тип компоновки, а также уровни новых решений, рекомендованные разработчиками и уровень анализа с целью выявления признаков для построения объектных моделей привода, позволяющих реализовать автоматический поиск аналогов компоновочных решений.

4. С помощью настоящей классификации авторами представлены новые конструкции тягового привода, позволяющие уменьшить затраты энергии на тягу поездов. Получено четыре патента на полезные модели. 

Литература

1. Развитие классификации механической части тяговых приводов железнодорожных локомотивов / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.И. Капустин, Д.Н. Шевченко. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2021. – №2. – С. 63–69.
2. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко. – Текст: непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – №4 (39). – С. 53–60.
3. 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. – Текст: непосредственный.

4. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко. — Текст: непосредственный // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр.; под ред. В.В. Рогалева. — Брянск: БГТУ, 2015. — С. 241–248.
5. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. — Москва: Транспорт, 1986. — 256 с. — Текст: непосредственный.
6. Воробьев, В.И. Агрегатная компоновка тягового привода для тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / В.И. Воробьев, О.В. Измеров. — Текст: непосредственный // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр.; под ред. В.В. Рогалева, В.И. Воробьева. — Брянск: БГТУ, 2019. — С. 42–46.
7. Объектная модель технических решений для проектирования тягового привода колесно-моторного блока / Д.Я. Антипин, М.И. Борзенков, В.И. Воробьев, О.В. Дорофеев, С.Н. Злобин, О.В. Измеров, А.В. Сомотканов. — Текст: непосредственный // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. — 2019. — №6 (338). — С. 118–126.
8. Беляев, А.И. Опорно-рамный тяговый привод / А.И. Беляев, В.А. Кондратов, Л.И. Родова. — Текст: непосредственный // Исследование узлов и агрегатов тепловозов. Труды ВНИТИ. — Коломна, 1980. — Вып. 52. — С. 69–73.
9. Авторское свидетельство №538929 СССР. Тяговый привод локомотива: опубл. 15.12.76, бюлл. №46 / Л.Н. Решетов.
10. Авторское свидетельство № 797934 СССР. Тяговый привод локомотива: опуб. 23.01.81, бюлл. №3 / В.В. Симачев.
11. Патент №203778 Российская Федерация, СПК В61С 9/48 (2021.02). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О.: опубл.: 21.04.2021, бюлл. №12.
12. Патент №207227 Российская Федерация, СПК В61С 9/38 (2021.05). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Пугачев А.А., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Николаев Е.В.: опубл. 18.10.2021, бюлл. №29.
13. Патент №206748 Российская Федерация, 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.: опубл. 24.09.2021, бюлл. №27.
14. Ивахин, А.И. Варианты реализации и динамические свойства асинхронного тягового привода локомотивов с дугогасительными электродвигателями / А.И. Ивахин. — Текст: непосредственный // Тяжелое машиностроение. — 2012. — №10. — С. 17–21.
15. Патент №206897 Российская Федерация, СПК В61С 9/00 (2021.08); В61С 9/48 (2021.08). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Пугачев А.А., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Николаев Е.В.: Опубл. 30.09.2021, бюлл. №28.