

РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Рассмотрена задача создания методов поиска новых патентоспособных конструкций тяговых приводов локомотивов. Ранее предложенная классификация тяговых приводов не удовлетворяет поставленным задачам, поэтому в новой классификации добавлен дополнительный уровень группировки по степени интеграции.

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



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

Как показывает практика отечественного локомотивостроения последних лет, при конструировании новых локомотивов значительная часть проблем, как и раньше, связана с поиском конструктивных решений механической части тяговых приводов. Детали тягового привода подвергаются высоким статическим и динамическим нагрузкам, величина которых труднопрогнозируема; воздействиям высоких и низких температур при работе в разных климатических условиях, должны быть размещены в ограниченных габаритах, а требуемый безремонтный пробег основных

узлов за последние 30 лет повышен от 0,8 до 3 млн км и более. Попытки сотрудничества с зарубежными фирмами при создании экипажной части новых локомотивов (фирмы Альстом, Сименс, Бомбардье) привели к применению технологически сложных тяговых приводов, содержащих импортные комплектующие, что ограничивает объем заказов данных локомотивов из-за высокой стоимости. Таким образом, проблема создания методов эффективного поиска новых патентоспособных конструкций тяговых приводов становится все более актуальной.

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 более 350 научных работ, в том числе 21 монографии, одного учебника и 20 учебных пособий. Имеет 100 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 70 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 81 научной работы, в том числе 19 монографий и десяти учебников. Имеет 81 патент РФ.

Капустин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)), советник секции «Железнодорожный транспорт» Российской инженерной академии (РИА). Область научных интересов: автоматические системы управления транспортными средствами, алгоритмы адаптивного управления тяговым приводом, тяговые свойства локомотива, регулирования сил тяги и торможения. Автор 23 научных работ. Имеет 12 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 шести научных работ. Имеет пять патентов РФ.

В работе [1] была предложена классификация механической части тяговых приводов, включающая в себя все известные тяговые приводы и служившая не только для описания известных конструкций, но и позволяющая искать новые технические решения, вплоть до новых семейств приводов. Далее, в монографии «Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем» [2], была предпринята попытка связать принципы классификации, предложенной в [1], с общими принципами проектирования машин, в частности, с матрицей уровней средств управления, описывающей переход от базовых функций к конструкторским решениям. На основе этого О.В. Измеровым был предложен в [3] общий алгоритм типологизации механической части тяговых приводов локомотивов.

С момента выхода работы [3] был запатентован ряд тяговых приводов разной конструкции, компоновка которых характеризовалась, как агрегатная [4]. Таким образом, появился новый описательный признак конструкции, который должен быть отражен в классификации. Настоящая статья посвящена решению данной проблемы.

Результаты анализа и предлагаемая структура классификации

В [4] агрегатный тип привода противопоставляется интегрированному. К типу интегрированных в [4] предложено относить тяговый привод при наличии одного из двух следующих признаков:

- в приводе имеется узел, который выполняет функции нескольких основных узлов привода;
- один из основных узлов привода не может выполнять свои функции без сборки с другим узлом.

Соответственно, к агрегатным в [4] было предложено относить тяговые приводы, которые содержат несколько узлов с одним и тем же типом опирания, сохраняющих работоспособность по отдельности друг от друга и связанные друг с другом подвижными соединениями.

Данные определения можно считать исчерпывающими для вновь разрабатываемых конструкций тяговых приводов, но они недостаточны при описании в классификации ранее созданных конструкций. Так, в традиционном опорно-осевом приводе тепловоза тяговый электродвигатель (ТЭД) выполняет также функции рамы, на которой монтируется тяговая передача, а зубчатая передача не может выполнять свои функции без сборки малого зубчатого колеса с валом ТЭД, а большого — с осью колесной пары. В то же время в этом приводе понятие тяговый редуктор, как таковое отсутствует, что формально препятствует отнесению данной конструкции к интегрированным. Если же мы рассматриваем классификацию, как инструмент поиска решений, с перспективой интеграции этого метода в состав САПР, необходимо разрешить данную логическую коллизию.

Это можно сделать путем выделения не двух, а трех групп конструктивных решений: простая компоновка (не содержащая функциональных узлов в законченном виде), 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). Пример такой группировки для опорно-осевого привода показан на рис. 1.

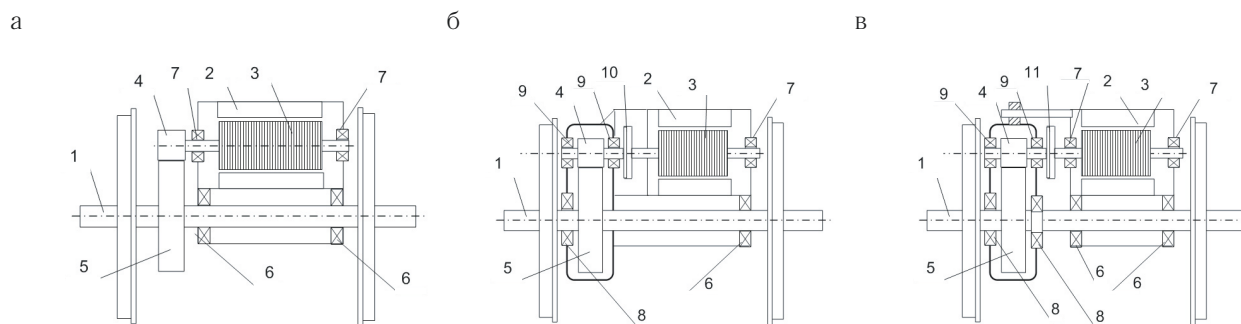


Рис. 1. Примеры трех групп конструктивных решений для опорно-осевого привода:

а – простая; б – интегрированная; в – агрегатная;

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

Как видно из рис. 1, при простой компоновке отсутствует редуктор, как функциональный узел, при интегрированной компоновке имеются общие элементы редуктора и ТЭД, что требует жесткой связи корпусов редуктора и ТЭД, а при агрегатной компоновке редуктор и опорно-осевой ТЭД представляют собой функционально завершённые узлы, поэтому они могут быть соединены шарнирной связью.

Классификация приводов с учетом выделения трех групп конструктивных решений показана на рис. 2. Рассмотрим конкретные примеры образования решений интегрированной и агрегатной компоновки для разных типов приводов.

Для полностью необрессоренных приводов решения агрегатной компоновки пока неизвестны, потому что не была установлена потребность в выделении

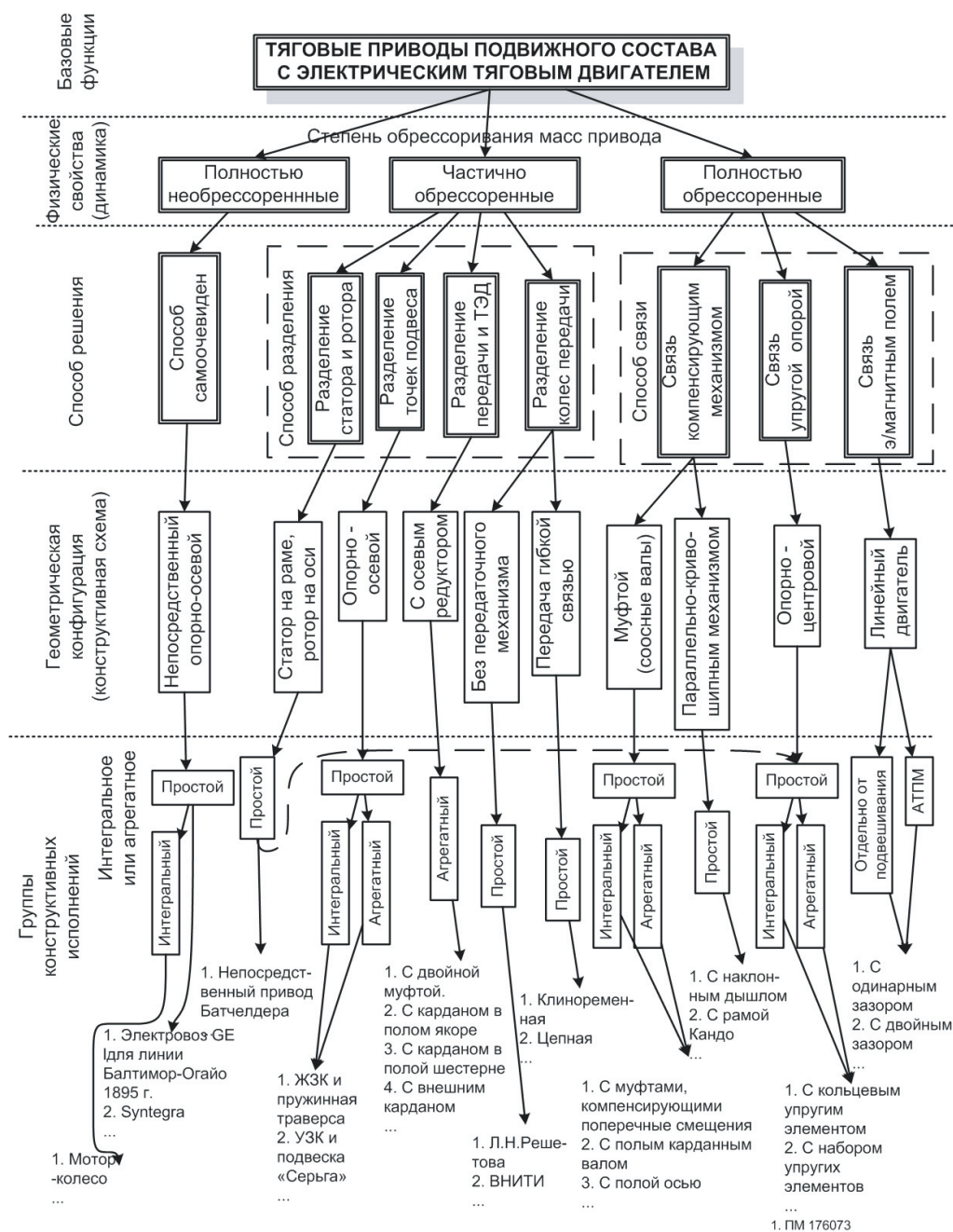


Рис. 2. Классификация тяговых приводов с выделением групп простых, интегрированных и агрегатных решений

ТЭД, как агрегата, если он все равно опирается на колесную пару. Простые конструктивные решения представляют собой ТЭД с ротором на оси колесной пары (например, привод Syntegra фирмы Siemens). Повышение степени интеграции возможно, например, при исполнении привода в виде мотор-колеса, где элементы конструкции ТЭД объединены с элементами конструкции колеса (рис. 3). В конструкции на рис. 3. ТЭД выполнен торцовым, что позволило разместить элементы ротора на диске колеса, уменьшить реакции на подшипники от поперечных сил и снабдить мотор-колесо дисковым тормозом. На конструкцию мотор-колеса авторами получен патент на полезную модель [5].

Для группы приводов с частичным разделением масс за счет разделения статора и ротора, известен только простой вариант компоновки. При использовании ТЭД с радиальным магнитным потоком — это непосредственный привод Батчелдера. Для ТЭД с осевым магнитным потоком авторами предложен и запатентован целый ряд конструкций, в которых ротор многодисковый, а статор представляет собой несколько секторов, закрепленных на раме тележки

[6;7]. При этом также был предложен и запатентован подвид привода с упругой опорой на колесный центр [8].

Приводы с осевым редуктором по условию самоочевидности относятся к агрегатным конструкциям, поскольку разделение масс привода у них произведено за счет разделения осевого редуктора и ТЭД. Исходя из того же условия самоочевидности, на уровне простой компоновки остались узкоспецифические типы приводов: приводы с разделением колес передачи (без передаточного механизма и с гибкой связью), а также полностью обрессоренные приводы с передачей параллельно-кривошипным механизмом. Теоретически возможно представить себе привод с гибкой связью, в котором цепная передача была бы заключена в корпус редуктора, однако потребности в таком приводе пока не возникает.

В частично обрессоренных приводах с разделением точек подвеса разделение на интегрированную и агрегатную конструкции на данный момент обычно определяется по способу связи редуктора и ТЭД. Авторами предложен и запатентован ряд частично обрессоренных тяговых приводов агрегатной кон-

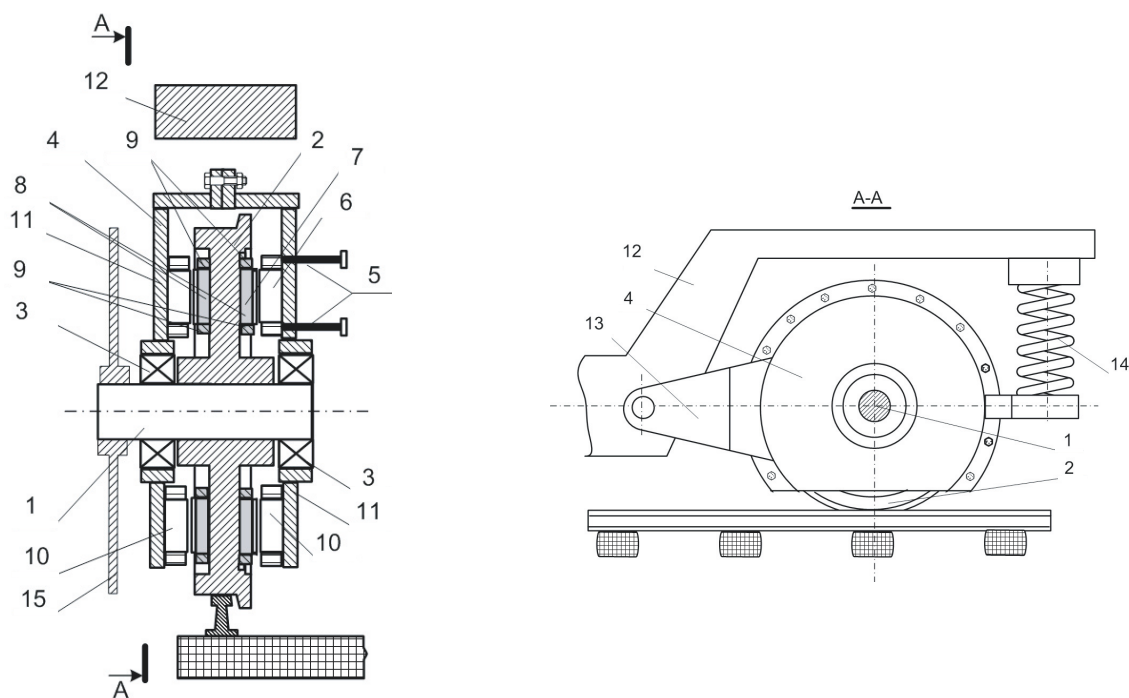


Рис. 3. Мотор-колесо с торцовым двигателем и подвижной осью: 1 – ось; 2 – колесо; 3 – подшипниковый узел; 4 – торцевой асинхронный двигатель; 5 – система охлаждения; 6 – статор; 7 – обмотка ротора; 8 – проводники обмотки; 9 – короткозамыкающие кольца; 10 – кольцеобразные активные части статора; 11 – полупроводники; 12 – рама тележки; 13 – поводок; 14 – упругий элемент; 15 – тормозной диск

струкции [9–11], а также разновидность интегрированного привода с использованием ТЭД с осевым магнитным потоком (рис. 4). Благодаря симметричному расположению малого зубчатого колеса в указанном приводе появляется возможность сделать передачу с шевронными зубьями для снижения динамических нагрузок, возникающих в приводе при прохождении неровностей пути. На конструкцию привода получен патент на полезную модель [12].

Для полностью обрессоренных приводов интеграция ТЭД и редуктора или исполнение их в виде отдельных агрегатов может производиться аналогично тому, как она производится для частично обрессоренных приводов с разделением точек подвеса. Разница состоит лишь в том, что между тяговой передачей и колесной парой имеется компенсирующий механизм или упругая опора.

Примером интегрированной компоновки в приводе с обрессоренными массами и карданным валом может служить, например, привод GEAFLEX, в котором связь ТЭД и редуктора реализована аналогично интегрированному приводу Сименса для электровоза

2ЭС10. В связи с этим авторами предложен тяговый привод с полностью обрессоренными массами агрегатной компоновки (рис. 5).

Преимущества агрегатной компоновки здесь также связаны с применением ТЭД с осевым магнитным потоком. Уменьшенные осевые габариты такого ТЭД и небольшая максимальная частота вращения позволяют связать ТЭД и осевой редуктор торсионным валом с двумя зубчатыми муфтами. В этом случае технология изготовления ТЭД и редуктора резко упрощается по сравнению с приводом типа GEAFLEX, аналог которого использован для отечественного электровоза серии ЭП20. На конструкцию привода авторами получен патент на полезную модель [13].

Для приводов с полностью обрессоренными массами, использующими упругую связь привода с колесной парой (опорно-центровыми), компоновка может быть построена по аналогии с приводами с частично обрессоренными массами и разделением точек подвешивания. В частности, авторами предложена конструкция интегрированного опорно-центрального привода, в котором упругое звено позволяет уменьшить

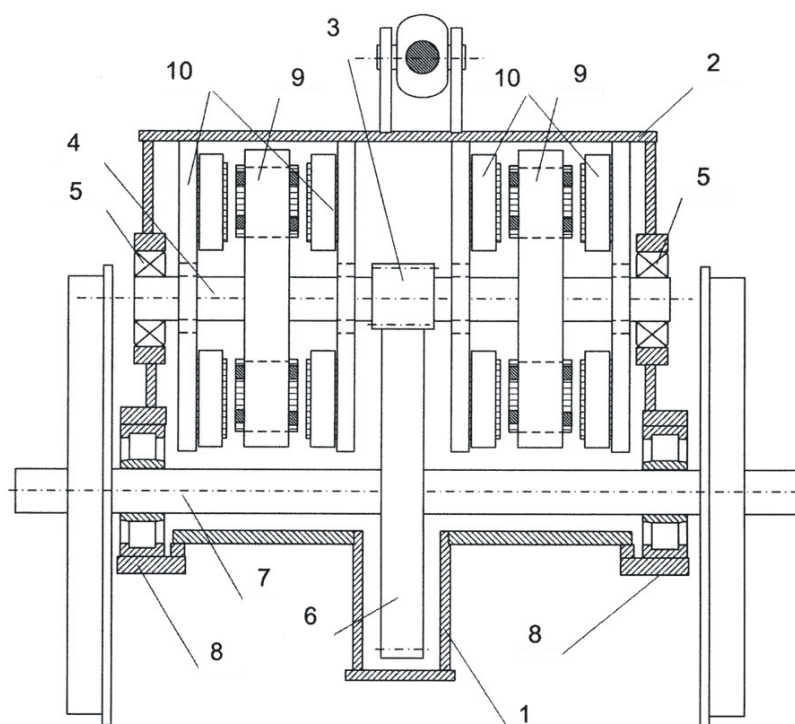


Рис. 4. Общая схема интегрированного тягового привода с асинхронным ТЭД с осевым магнитным потоком:

1 – редуктор; 2 – тяговый электродвигатель; 3 – малое зубчатое колесо; 4 – вал; 5 – подшипниковые опоры; 6 – большое зубчатое колесо; 7 – ось колесной пары; 8 – шапки моторно-осевых подшипников; 9 – ротор; 10 – статор

динамические нагрузки при прохождении неровностей пути, а монтаж осевых подшипников на промежуточной трубе позволяет избежать их перекоса при изгибе оси колесной пары под воздействием осевой нагрузки. На эту конструкцию авторами также получен патент на полезную модель [14].

Наконец, у группы полностью обрессоренных тяговых приводов, для которых связь с двигателем реализована с помощью магнитного поля, интегрированная компоновка может быть реализована путем объединения системы магнитного подвешивания и линейного электродвигателя в асинхронный тягово-подъемный модуль (АТПМ), как это было сделано в макетном образце, построенном НПО «НЭВЗ».

Выводы

1. Установлена необходимость создания методов эффективного поиска новых патентоспособных конструкций тяговых приводов, поскольку попытки

некритического использования зарубежного опыта ведут к существенному усложнению технологии изготовления тягового привода и удорожанию производства, ремонта и обслуживания.

2. В результате анализа имеющейся методологической базы установлено, что ранее предложенная классификация тяговых приводов, ориентированная на поиск новых конструктивных решений, требует дополнения в связи с появлением нового признака группировки компоновочных вариантов привода (интегрированная и агрегатная).

3. Предложено использовать группировку по степени интеграции узлов привода в виде трех групп (простая компоновка, интегрированная и агрегатная). Дана расширенная классификация тяговых приводов, включающая в себя дополнительный уровень группировки по данному признаку.

4. С помощью данной классификации авторами предложены новые конструкции тягового привода. Получено 9 патентов на полезные модели.

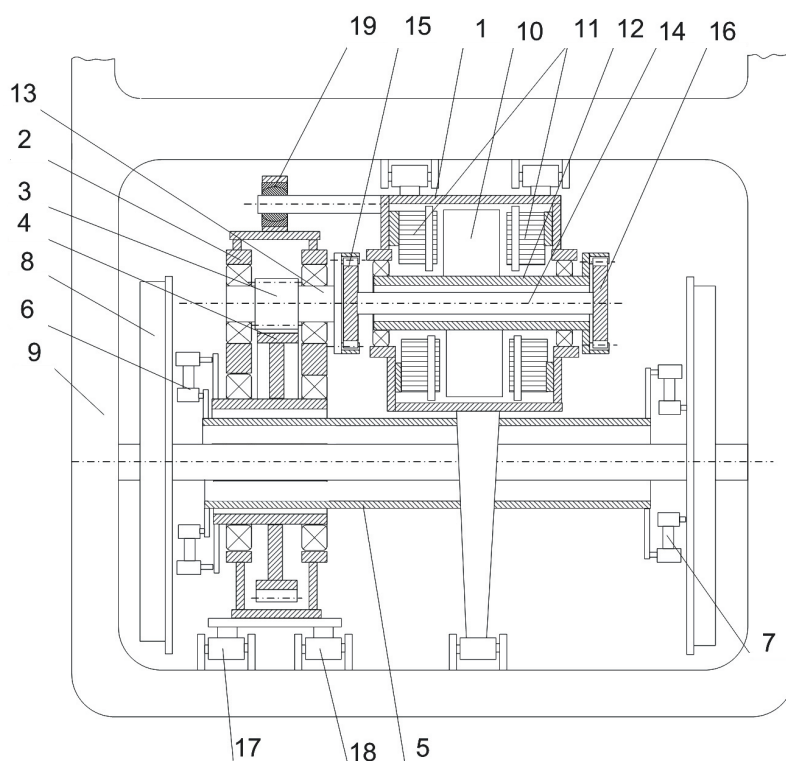


Рис. 5. Агрегатная схема компоновки тягового привода с полностью обрессоренными массами:
1 – ТЭД; 2 – редуктор; 3 – малое зубчатое колесо; 4 – большое зубчатое колесо; 5 – полый вал;
6, 7 – компенсирующие муфты; 8 – колесная пара; 9 – рама тележки; 10 – ротор ТЭД; 11 – статор ТЭД;
12 – вал ТЭД; 13 – вал малого зубчатого колеса; 14 – торсионный вал; 15, 16 – зубчатые муфты;
17, 18 – опоры редуктора; 19 – разъемное подвижное соединение

Литература

1. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин, — 2012. — №4 (39). — С. 53–60.
2. 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.
3. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов [Текст] + [Электронный ресурс] / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголёва. — Брянск: БГТУ, 2015. — С. 241–248.
4. Воробьев, В.И. Агрегатная компоновка тягового привода для тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / В.И. Воробьев, О.В. Измеров. // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголева, В.И. Воробьева. — Брянск: БГТУ, 2019. — С. 42–46.
5. Патент на полезную модель № 196906, СПК В61С 9/48 (2019.08); В60К 7/0007 (2019.08); В60К 2007/0092 (2019.08). Электромотор-колесо / Воробьев В.И., Измеров О.В., Пугачев А.А., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 19.03.2020, бюл. №8.
6. Патент на полезную модель № 164732, Российская Федерация, МПК В61С 9/38, В61С 9/48. Тяговый привод локомотива [Текст] / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Космодамианский А.С., Бондаренко Д.А., Новиков В.Г., Измеров О.В., Пугачев А.А. Оpubл. 10.09.2016, бюл. №20.
7. Патент на полезную модель № 178949, Российская Федерация, СПК В61С 9/48 2006.01. Тяговый привод локомотива / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Корчагин В.О., Маслов М.А., Пугачев А.А., Воробьев Д.В., Новиков А.С., Шорохов С.Г. Оpubл. 23.04.2018, бюл. №12.
8. Патент на полезную модель № 177073, Российская Федерация, СПК В61С 9/38, Н02К 21/00, Н02К 29/06, В60L 2200/26. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Воробьев Д.В., Измеров О.В., Новиков А.С., Шорохов С.Г., Бондаренко Д.А., Космодамианский А.С., Синицын С.В., Синицына Т.П. Оpubл. 07.02.2018, бюл. №4.
9. 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.
10. Патент на полезную модель № 176845, Российская Федерация, МПК В61С 9/48, В61С 15/00, В60L 9/02. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Измеров О.В., Новиков А.С., Пугачев А.А., Бондаренко Д.А., Шорохов С.Г. Оpubл. 30.01.2018, бюл. №4.
11. Патент на полезную модель № 189364, 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.
12. Патент на полезную модель № 190846, СПК В61С 9/48 (2019.05); В60L 2200/26 (2019.05). 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. Оpubл. 15.07.2019, бюл. №20.
13. Патент на полезную модель № 200670, СПК В61С 9/48 (2020.08); В61С 9/50 (2020.08). 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. Оpubл. 05.11.2020, бюл. №31.
14. Патент на полезную модель № 166920, Российская Федерация, МПК В61С 9/38, В61С 9/48. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Новиков В.Г., Космодамианский А.С., Новиков А.С., Цыганков А.Г., Измеров О.В., Борисов А.А., Пугачев А.А. Оpubл. 10.12. 2016, бюл. №34.