

Транспорт

УДК 629.4.021

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-12-48-59

В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, О.В. Измеров, Е.В. Николаев

ПОИСК ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ ТЕПЛОВЗОВ И КОНСТРУКЦИЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА

Рассмотрены возможность повышения тяговых свойств тепловозов без использования тяговых приводов с асинхронными тяговыми электродвигателями (ТЭД) и широтно-импульсной модуляцией. Доказано, что коллекторные тяговые электродвигатели позволяют реализовать силу тяги в продолжительном режиме 63,75 кН на ось при диаметре колес 1250 мм, при этом целесообразно применение

привода с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором. Предложено выполнить перспективный тепловоз в виде двух секций на трех двухосных тележках и бустера на двух двухосных тележках.

Ключевые слова: привод, локомотив, машины, двигатель, автоколебания, надежность.

V.I. Vorobyov, A.A. Pugachev, O.V. Izmerov, E.V. Nikolaev

SEARCH FOR WAYS TO IMPROVE THE TRACTION PROPERTIES OF LOCOMOTIVES AND TRACTION DRIVE DESIGN

The work objective is to increase the traction properties of locomotives without the use of traction drives with asynchronous traction motors and pulse width modulation.

Research methods: methods of physical and field experiments, analytical methods for calculating the dynamics of the rolling stock.

Conclusion: based on the conducted research, it is proposed to perform a promising diesel locomotive

in the form of two sections on three two-axle bogies and a booster on two two-axle bogies, as well as to carry out experimental design work to develop an arc-type stator asynchronous motor and traction drives of a diesel locomotive using it.

Keywords: drive, locomotive, locomotive, machines, engine, self-oscillations, reliability.

Введение

До недавнего времени повышение тяговых свойств грузовых тепловозов на отечественных железных дорогах достигалось в основном за счет выпуска трехсекционных тепловозов 3ТЭ25КМ, аналогичных по конструкции экипажной части большинству тепловозов, эксплуатировавшихся на дорогах СССР и СНГ несколько последних десятилетий. В настоящее время данные тепловозы не удовлетворяют РЖД по показателям надежности тяговых электродвигателей (ТЭД) в условиях БАМа, что, в частности, может быть вызвано высокими нагрузками, действующими на ТЭД при опорно-осевой подвеске в условиях низких температур, когда вследствие повышения жесткости верхнего строения пути вертикальные ускорения на буксах могут достигать 48g [1]. В качестве основного пути дальнейшего повышения

тяговых свойств тепловозов в настоящее время рассматривается применение привода с асинхронными тяговыми электродвигателями (ТЭД) и опорно-осевым подвешиванием (проекты тепловозов 2ТЭ35а фирмы «Синара» и 2ТЭ30а фирмы «Трансмашхолдинг»). Использование асинхронных ТЭД с преобразователями и технологически более сложных тяговых приводов интегральной схемы ведет к увеличению стоимости тепловозов по сравнению с ранее массово закупавшимися в последние годы, при этом изучение зарубежного опыта не дает однозначного ответа о перспективности такой системы. Так, для североамериканских ж.д. характерна высокая нагрузка на ось. Например, тепловоз ES44AC производства фирмы *Wabtec Corporation* с нагрузкой на ось 320 кН может развивать в продолжительном режиме

силу тяги до 740 кН, что соответствует силе тяги, отнесенной к одной оси, до 120 кН. Это заведомо оправдывает затраты на использование привода с асинхронными тяговыми электродвигателями и широтно-импульсной модуляцией. Однако на отечественных ж.д., согласно пункта 4.5.7 СТ РЖД 1.07.002-2010 «Инфраструктура железнодорожного транспорта на участках обращения грузовых поездов повышенного веса и длины. Технические требования» касательная сила длительного режима, отнесенная к одной тяговой оси, не должна превышать 6,5 тс (64 кН), что почти вдвое ниже показателей указанного зарубежного аналога и не позволяет полностью реали-

зовать возможности асинхронных ТЭД.

При поиске других путей повышения мощности тягового привода отечественных тепловозов (дальнейшее развитие передачи переменного-постоянного тока, использование других типов электрических машин) основной проблемой является то, что другие пути развития тягового привода тепловозов недостаточно изучены, в частности, это касается рациональных вариантов механической части привода, позволяющих в максимальной степени использовать положительные стороны возможных альтернативных решений. Предлагаемая статья представляет собой попытку решения данной проблемы.

Анализ проблемы и возможные пути решения

Ранее в работе [2] авторами была доказана возможность дальнейшего повышения осевой мощности и силы тяги выпускаемых отечественной промышленностью электровозов при использовании коллекторных ТЭД с опорно-рамным подвешиванием. Поскольку на тепловозе 2ТЭ30а фирмы «Трансмашхолдинг» предполагается использовать колеса с тем же диаметром 1250 мм, как и на электровозах, рассмотрим возможность реализации для тепловоза 2ТЭ30а требуемых тяговых усилий при использовании коллекторных ТЭД.

Как показано в таблице, для коллекторных ТЭД, использовавшихся на локомотивах отечественных железных дорог при индивидуальном приводе, наибольшая мощность была достигнута для ТЭД НБ-507 электровоза ВЛ84 переменного тока (950 кВт) и 1AL-4741FLT электровоза ЧС200 постоянного тока (1050 кВт). Также известны описания проектов коллекторных ТЭД для опорно-рамного привода электровозов, рассчитанных на более высокую мощность – до 1300 кВт [3, 4].

Таблица

Локомотив	ВЛ84	ЧС200	-	-	ТЭ136
Осевая сила тяги, кН	61,3	27,1	67,6	78,48	58,8
Макс. скорость, км/ч	120	200	125	120	100
ТЭД	НБ-507	1AL-4741FLT	Проект [4]	Проект [3]	ЭД126АУХЛ1
Режим работы	Часовой	Часовой	Продолж.	Часовой	Продолж.
Мощность, кВт	950	1050	1000	1300	-
Число пар полюсов	6	6	6	8	6
M_p , кНм	12,4	9,46	14,1	17,7	8,74
N_{max} мин ⁻¹	1600	1510	1630	1409	1910
Диаметр ТЭД, мм	1140		1125	1120	1038
Осевой габарит, мм					925
Диаметр якоря, мм	740		740	775	680
Длина пакета стали мм	380		380	405	340
Масса, кг	4600	4600	4800	4800	3400
C_M кг/Нм	0,363	0,486	0,340	0,271	0,389

Как видно из таблицы, параметры коллекторных ТЭД с наружным диаметром 1120-1125 мм, спроектированных в 70-е прошлого века, должны были обеспечить

силу тяги, заведомо превышавшую осевую силу тяги в 63,765 кН, установленную в настоящее время РЖД в качестве предельной для продолжительного режима.

Рассмотрим, какой крутящий момент в продолжительном режиме должен развивать коллекторный ТЭД с наружным диаметром $D_n=1120$ мм вместо 1038, как у ЭД126УХЛ1, при той же конструктивной схеме с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором. Для восьмиполюсного ТЭД по [3] с максимальной частотой вращения $n_{\max} = 1409$ мин⁻¹, для реализации конструкционной скорости $V_k = 120$ км/ч максимальное передаточное число должно быть равным

$$u_{\max} = \frac{3,6\pi D_k n_{\max}}{60V_k}, \quad (1)$$

где $D_k = 1,25$ м – диаметр колеса. При заданных параметрах $u_{\max} = 2,767$. Приняв модуль, равный $m = 10$ и прямозубую передачу с числом зубьев большого колеса $Z=95$, как на тепловозе 2ТЭ121, получаем число зубьев малого колеса $z = 35$ и $u = 2,714$.

Для реализации предельно допустимой длительной силы тяги $F_{од} = 6,5$ тс = 63,75 кН требуется крутящий момент на валу ТЭД, равный

$$M_{\partial} = \frac{F_{од} D_k z}{2Z}. \quad (2)$$

При указанных параметрах получаем требуемый $M_{\partial}=14,68$ кНм, что на 20% ниже, чем у проектного 8-полюсного электровозного ТЭД.

Величина централи зубчатой передачи по [4] будет равна

$$\Pi = \frac{m(Z+z)}{2} + 0,5m \quad (3)$$

или $\Pi = 655$ мм.

По аналогии с ранее построенным тепловозом 2ТЭ121, диаметр оси колесной пары примем равным $d_o=215$ мм, зазор между осью и поверхностью подреза остова $\delta=13$ мм, тогда примерная толщина остова в месте подреза для восьмиполюсного ТЭД согласно [4]

$$\Delta = \Pi - \left(\frac{d_o}{2} + \delta \right) - \left(\frac{D_a}{1,6} \right), \quad (4)$$

где $D_a = 775$ мм – диаметр якоря.

При указанных значениях $\Delta=50,1$ мм, что, согласно [4], допустимо как при сплошном теле остова, так и при наличии

шихтованных вставок.

Аналогично для проекта шестиполюсного ТЭД по [4] с наружным диаметром $D_n = 1125$ мм, $n_{\max} = 1630$ мин⁻¹, и $D_a = 740$ мм, получаем значения $u_{\max} = 3,2$; $z = 30$, $u=3,167$; $M_{\partial}=12,78$ кНм, $\Pi=630$ мм, $\Delta = 47$ мм. В этом случае требуемый момент на 10 % превышает момент проектного электродвигателя, а величина Δ находится в пределах допустимых значений.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о принципиальной возможности создания перспективного тепловоза с длительной осевой силой тяги 63,75 кН и колесами 1250 мм с коллекторными ТЭД, имеющими 6 или 8 пар полюсов. При этом диаметр малого зубчатого колеса тяговой передачи по делительной окружности увеличивается до 300 – 350 мм, что более чем вдвое больше, чем диаметр малого зубчатого колеса для прорабатываемых сейчас вариантов привода с асинхронными ТЭД. Это позволяет значительно увеличить долговечность зубчатых колес и подшипников тяговой передачи при изготовлении узлов привода на отечественных предприятиях. Кроме того, снижаются динамические нагрузки в тяговой передаче, поскольку при использовании варианта тягового привода с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором обеспечивается амортизация динамических нагрузок торсионным валом передаточного механизма. Основным не выясненным моментом здесь является выбор между шести- и восьмиполюсным вариантом ТЭД.

Основной проблемой при создании коллекторного ТЭД повышенной мощности при использовании опорно-рамного тягового привода с осевым редуктором является реализация требуемого крутящего момента в условиях ограничения осевых габаритов ТЭД, и связанного с этим возможного уменьшения длины пакета стали (у ЭД126АУХЛ1 он на 40 мм короче, чем у проектного шестиполюсного ТЭД). С этой точки зрения преимущество имеет восьмиполюсная конструкция ТЭД, у которой длина пакета стали увеличивается на 25 мм вследствие сокращения лобовых частей обмотки. Осевые габариты ТЭД могут быть увеличены за счет опорно-осевого

подвешивания ТЭД и применения одно-сторонней зубчатой передачи с небольшим наклоном зубьев, как это сделано в электровозе IORE рудовозной линии Кируна-Нарвик [5]. Однако для эксплуатации таких локомотивов линия Кируна-Нарвик была предварительно реконструирована под осевую нагрузку 300 кН. Повышение осевой нагрузки тепловоза до 25-27 т и одновременное увеличение его неподдрессированной массы с 40 до 55-60 кН может привести к недопустимому возрастанию воздействия экипажа на путь. Кроме того, увеличение стоимости восьмиполусных ТЭД требует снизить стоимость их ремонта и обслуживания, а этого можно достичь только путем снижения динамических нагрузок на них при опорно-рамном подвешивании. Что же касается тягового привода с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и тяговой передачи и полым карданным валом на оси, то его не позволяют использовать ограниченные размеры централи. Увеличение диаметра колес до 1350 мм, как это было сделано на электровозе ВЛ84, нельзя считать приемлемым решением, т.к. это ведет к усложнению компоновки тепловоза.

Таким образом, вариант тягового привода с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором остается наиболее приемлемым при диаметре колес 1250 мм и коллекторных ТЭД для грузовых. Вопросы повышения нагрузочной способности узлов передаточного механизма и максимального увеличения осевых габаритов ТЭД для данного типа привода были ранее рассмотрены авторами в [2].

Общим недостатком привода с коллекторными ТЭД является существенное увеличение массы ТЭД (с 2200 до 4800 кг) и их диаметра (до 1120-1125 мм). Размещение таких двигателей в трехосной тележке связано с определенными трудностями. Исходя из размеров трехосных тележек ранее построенных локомотивов, рассчитанных на размещение ТЭД наружным диаметром около 1050 мм, можно принять, что база трехосной тележки с рассматриваемыми ТЭД составит порядка 4600 мм. Известно, что при создании трехосной тележки тепловоза с нагрузкой на

ось 250 кН, базой 4400 мм и массой каждого ТЭД 3400 кг наблюдалось повышенное горизонтальное воздействие тепловоза на путь в кривых малого радиуса и стрелочных переводах, которое, в частности, было вызвано большими значениями динамической составляющей рамной силы (до 50% от измеряемой рамной силы), вследствие большой обрессоренной массы тележки (20,3 т против 11,2 т. у тепловоза 2ТЭ116) и большего момента инерции тележек с подвешенными на них ТЭД, а также увеличению квазистатической рамной силы из-за увеличения базы тележки до 4,4 м [6]. Применение ТЭД массой 4800 кг и диаметром 1120-1125 мм приведет к увеличению массы тележек примерно на 20% по сравнению с указанным аналогом, а также момента инерции и базы тележки, что приведет к еще большему увеличению горизонтального воздействия на путь и к трудностям при доводке тепловоза.

С другой стороны, фирмой "Трансмашхолдинг" предполагается эксплуатация тепловоза 2ТЭ30а с бустерным танкерным модулем для топлива, обеспечивающим безэкипировочный пробег по топливу до 4000 км. В связи с тем, что тепловоз такой мощности заведомо не будет использоваться в маневровой службе или на малодейственных направлениях, можно принять, что движение тепловоза одной секцией ограничено перемещением на незначительные расстояния по деповским путям, что может быть реализовано с помощью маневрового тепловоза или аккумуляторов. Отсюда следует, что весь запас топлива может быть размещен на бустерном танкерном модуле, а секции тепловоза могут быть выполнены без топливного бака большой емкости, что позволяет перейти с осевой формулы 3_0-3_0 к $2_0-2_0-2_0$, т.е. к трем двухосным тележкам, как показано на рис. 1.

Как видно (рис. 1), три тележки электровоза ЭП1 фирмы "Трансмашхолдинг" могут быть размещены без увеличения длины кузова секции тепловоза, равной 20 м. Общий вид тепловоза при использовании данных тележек показан на рис.2. При обмоторивании всех тележек сила тяги тепловоза в продолжительном режиме

достигнет 1020 кН, что соответствует требованиям РЖД для тепловозов Восточного полигона. Как видно из рис. 3, коллекторный ТЭД по проектам [3,4] может быть размещен в габаритах двухосной тележки электровоза ЭП1.

Изменений потребуют только узлы крепления ТЭД к раме тележки. Поскольку тележки других электровозов той же фир-

мы «Трансмашхолдинг» (2ЭС5К, 2ЭС4К) также имеют базу 2900 мм, это доказывает принципиальную возможность применения для данного тепловоза двухосных тележек, максимально унифицированных с тележками выпускаемых электровозов, что упрощает освоение данного тепловоза производством и обслуживание его механической части.

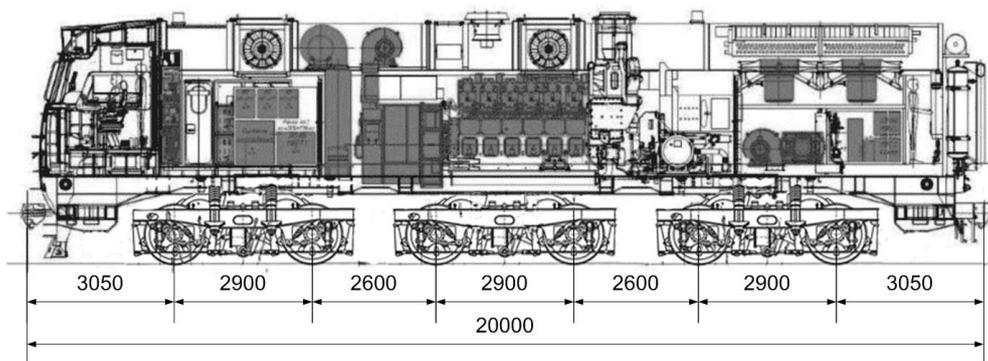


Рис. 1. Схема возможного расположения двухосных тележек электровоза ЭП1 на проектом тепловозе 2ТЭ30а (наклонные тяги не показаны)

Основной проблемой при данном варианте компоновки является трудность размещения наклонной тяги для передачи тягового усилия с тележки на кузов для средней тележки, из-за небольшого расстояния между тележками. Однако в этом случае механизм для передачи силы тяги

может быть выполнен с двумя наклонными тягами, соединенными с верхним поясом рамы средней тележки, как это было сделано на тепловозе ТЭМ7, или рычажным механизмом, аналогичным примененному на электровозе ЭП2К.

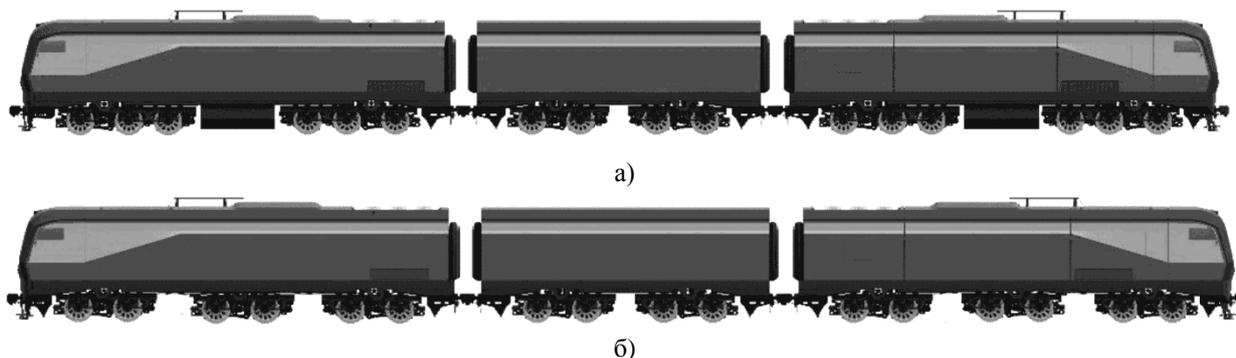


Рис. 2. Общий вид тепловоза с бустерным танкерным модулем на: а – трехосных, б – двухосных тележках

Исходя из того, что двухосные тележки с опорно-рамными ТЭД с близкой величиной массы (4600 кг) ранее использовались на электровозах ВЛ84, а также ЧС200, для которого по результатам исследований ВНИИЖТ была установлена конструкционная скорость 200 км/ч, можно сделать предварительный вывод, что создание двухосных тепловозных тележек

с опорно-рамными ТЭД массой 4800 кг, рассчитанных на конструкционную скорость 120 км/ч и осевой нагрузкой до 265 кН, на базе уже выпускаемых тележек электровозов производства фирмы «Трансмашхолдинг» (напр. серий ЭП1, 2ЭС4к, 2ЭС5к), не будет сопровождаться проблемами, связанными с воздействием тепловоза на путь в прямых и кривых, ко-

торые бы существенно затормозили освоение тепловоза производством. Благодаря меньшему углу набегания снижается поперечное скольжение колесной пары в кривых, что улучшает тяговые свойства. Кроме того, снижение поперечных перемещений колесной пары в двухосных тележках дает возможности для увеличения попе-

речного габарита ТЭД и крутящего момента на его валу.

Следует отметить, что ЗАО «Трансмашхолдинг» ранее рассматривал возможность создания тепловоза 2ТЭ30к с восьмиосными секциями и коллекторными ТЭД, а также повышения осевой нагрузки до 265 кН [7].

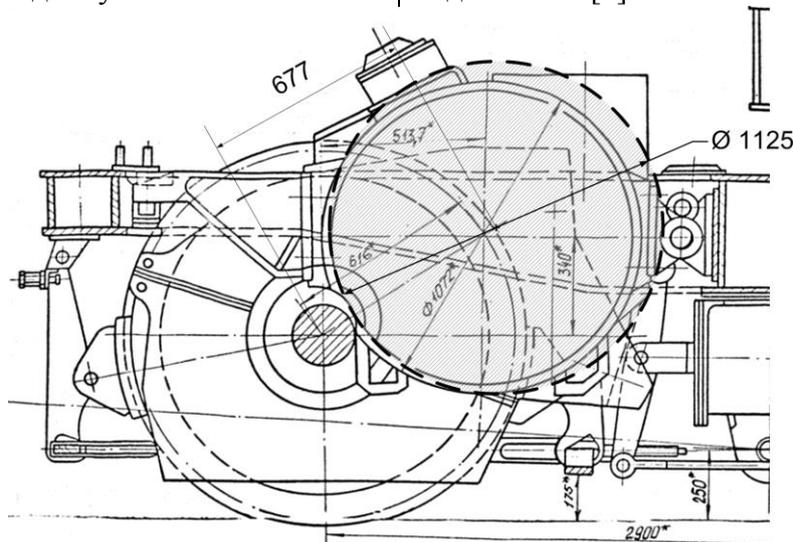


Рис. 3. Схема возможного размещения коллекторного ТЭД с наружным диаметром 1125 мм (заштриховано) на тележке электровоза ЭП1

Однако при диаметре колеса 1050 мм не удастся реализовать опорно-рамное подвешивание коллекторных ТЭД, а при опорно-осевом подвешивании затрудняется обеспечение надежности коллекторных ТЭД из-за высоких динамических нагрузок при проезде неровностей пути и от пересопряжения зубьев тяговой передачи; кроме того, расположение малого зубчатого колеса на валу ТЭД не позволяет создать конструкцию, конкурентоспособную по долговечности зубьев тяговой передачи, якорных подшипников и прочности кожуха тяговой передачи. При диаметре колеса 1250 мм база четырехосной тележки в жесткой раме составит не менее 5500 мм, что, даже при радиальной установке колесных пар (РУКП), усложняет обслуживание тележек (это привело к тому, что на железных дорогах США тележки с РУКП теперь поставляются опционально) создаст проблемы с горизонтальной динамикой экипажа в кривых.

По сравнению с тяговым приводом тепловоза 2ТЭ30а с асинхронными ТЭД, в варианте с коллекторными ТЭД, с одной

стороны, увеличивается стоимость самих ТЭД и расходы на их эксплуатацию, а с другой стороны, снижается стоимость преобразовательной части привода и расходы на эксплуатацию за счет замены преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией, а также стоимость и затраты на ремонт механической части привода с осевым редуктором по сравнению с приводом интегрированного типа за счет упрощения изготовления деталей и сборки (недостатки приводов интегрированного типа рассмотрены авторами ранее в гл. 2.4 монографии [8]). На основании этого авторы считают необходимым проведение технико-экономического анализа целесообразности создания варианта тепловоза 2ТЭ30к с коллекторными ТЭД и осевой формулой $(2_о-2_о-2_о) + (2_о-2_о) + (2_о-2_о-2_о)$, т.е. с бустерным танкерным модулем, с учетом следующих факторов:

- возможность снижения затрат на производство и ремонт за счет унификации тележек тепловоза с тележками уже освоенных производством электровозов той же фирмы (напр. ЭП1, 2ЭС4к, 2ЭС5к);

– возможность увеличения крутящего момента коллекторного ТЭД при ограниченных осевых габаритах за счет увеличения числа пар полюсов с 6 до 8;

– возможность снижения затрат на изготовление и ремонт тягового привода за счет применения более простого в изготовлении тягового привода с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором, сни-

жения частоты вращения ведущего вала тягового редуктора примерно вдвое по сравнению с вариантом с асинхронным ТЭД и соответствующего увеличения диаметра ведущего зубчатого колеса, что ведет к повышению долговечности тяговой передачи и подшипниковых узлов для быстроходной части привода.

Электропривод с дугостаторным асинхронным двигателем

Из сказанного выше следует, что дальнейшее повышение тяговых свойств тепловоза при использовании коллекторных ТЭД требует выбора не только механической части привода, но всей экипажной части, позволяющей максимально использовать возможности коллекторных ТЭД. Исходя из этого, можно сформулировать противоположную задачу: существуют ли электрические машины, используя которые в качестве ТЭД, можно было бы повысить тяговые свойства тепловоза для любого из рациональных решений экипажной части тепловоза (двухосная и трехосная тележка при диаметрах колес 1050 и 1250 мм) при потенциальной возможности снижения стоимости изготовления и эксплуатации тягового привода?

Известно, что значительное усложнение и удорожание преобразовательной части привода с АД по сравнению с первоначальными конструкциями 70-х годов произошло в результате применения широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Так, на экспериментальном тепловозе ТЭ120, выпущенном еще в 1975 году [9] и не имеющем ШИМ, были обнаружены значительные пульсации тягового момента в режиме трогания с места, которые не могли быть сглажены упругими элементами валопроводов привода в виде двух резинокордных муфт. В результате тепловоз в данном режиме оказался склонен к боксованию. Как установлено в результате натурных и стендовых испытаний в [10], пульсации момента из-за несинусоидальности тока могут превышать в режимах пуска и движения с низкими скоростями 30% от среднего значения крутящего момента ТЭД и вызывать резонансные явления. Применение ШИМ позволяет устрани-

нить данную проблему, однако, из-за повышения частоты процессов коммутации, такое решение привело к значительному повышению стоимости преобразователя. Кроме того, реализация процессов ШИМ, особенно в режиме электродинамического торможения, сопряжена со значительными трудностями, а использование ШИМ увеличивает потери в передаче. Попытки создания в нашей стране передачи для тепловозов с генератором повышенной частоты и НПЧ [9] пока не получили развития из-за ухудшения энергетических показателей генератора при повышении частоты. Перспективным направлением можно считать создание высокомоментных синхронных ТЭД с постоянными магнитами и индукторных ТЭД, которые не требуют питания статорных обмоток синусоидальным током. Однако при исполнении этих машин с радиальным магнитным потоком возможности создания высокомоментных ТЭД, позволяющих применить технологически простую конструкцию тягового привода с осевым редуктором или полым карданным валом, ограничены, а создание технологии производства тяговых машин с аксиальным магнитным потоком потребует времени, что замедлит поступление на железные дороги тепловозов с повышенными тяговыми свойствами.

В этой ситуации, по мнению авторов, имеет смысл обратить внимание на так называемые дугостаторные асинхронные двигатели (ДАД), которые представляют собой машины с не полностью замкнутым статором. До недавнего времени такие двигатели имели низкий энергетический фактор (произведение к.п.д. на коэффициент мощности), что ограничивало их применение тихоходными безредукторными

приводами. В последнее время были найдены решения, которые, как утверждается в [11], позволяют повысить энергетический фактор дугостаторных двигателей до показателей асинхронных двигателей. С другой стороны, в результате исследований [12], удалось установить, что для ДАД имеются возможности компенсировать уменьшение активной поверхности статора за счет увеличения абсолютного скольжения f_2 (тока ротора I_2) при оптимальном соотношении между активной и реактивной составляющими сопротивления обмотки ротора и обеспечить достаточный пусковой момент. Согласно экспериментальным данным [13], относительную пульсацию крутящего момента в дугостаторном асинхронном двигателе удалось снизить до 4-9 % против 18-35 % в асинхронном двигателе с круговой обмоткой.

Это означает, что при использовании опорно-рамного привода с полым карданным валом и низкой частотой собственных колебаний по основной форме (например, за счет применения резинокордных дисковых муфт) в режиме трогания тепловоза с места можно обойтись без ШИМ. Более того, в [13] была экспериментально подтверждена возможность снижения в 6-10 раз ударных тормозных моментов при «опрокидывании» автономного инвертора, что позволяет обеспечить защиту от повреждений резинокордных дисковых муфт в аварийном режиме, в отличие от опытного тепловоза ТЭ120, где аварийные режимы приводили к разрыву муфт.

Авторами предложена новая конструкция тягового привода, показанная на рис. 4 и 5.

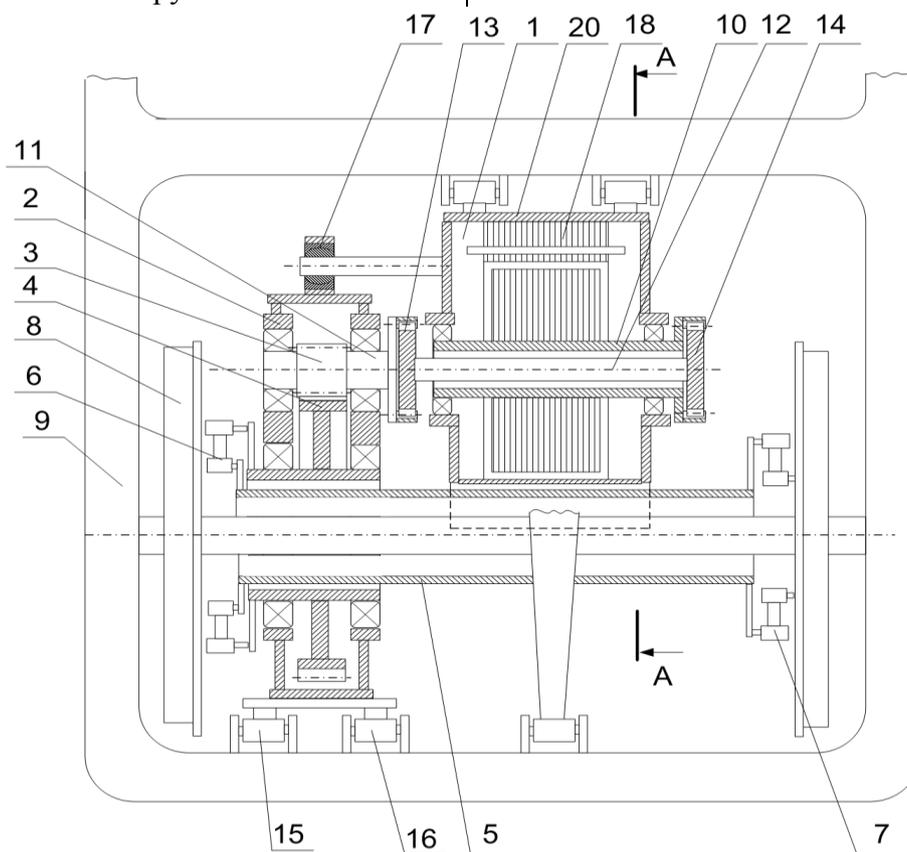


Рис. 4. Общая схема тягового привода с дугостаторным ТЭД:
 1 – ТЭД; 2 – тяговый редуктор; 3 – малое зубчатое колесо;
 4 – большое зубчатое колесо; 5 – полый вал; 6,7 – компенсирующие муфты; 8 – колесная пара; 9 – рама тележки; 10 – полый вал ТЭД; 11 – вал малого зубчатого колеса; 12 – торсионный вал; 13,14 – зубчатые муфты; 15, 16 – опоры редуктора на раму; 17 – разъемное подвижное соединение; 18 – статор ТЭД; 19 – дугообразные индукторы; 20 – корпус ТЭД; 21 – кожух

Как видно из рис. 4 и 5, тяговый привод имеет полностью обрессоренные ТЭД 1 и тяговый редуктор 2, при этом ТЭД 1 соединен с тяговым редуктором 2 передаточным механизмом в виде торсионного

вала 12 и зубчатых муфт 13 и 14, а тяговый редуктор 2 соединен с колесной парой 8 передаточным механизмом в виде полого вала 5 и компенсирующих муфт 6 и 7.

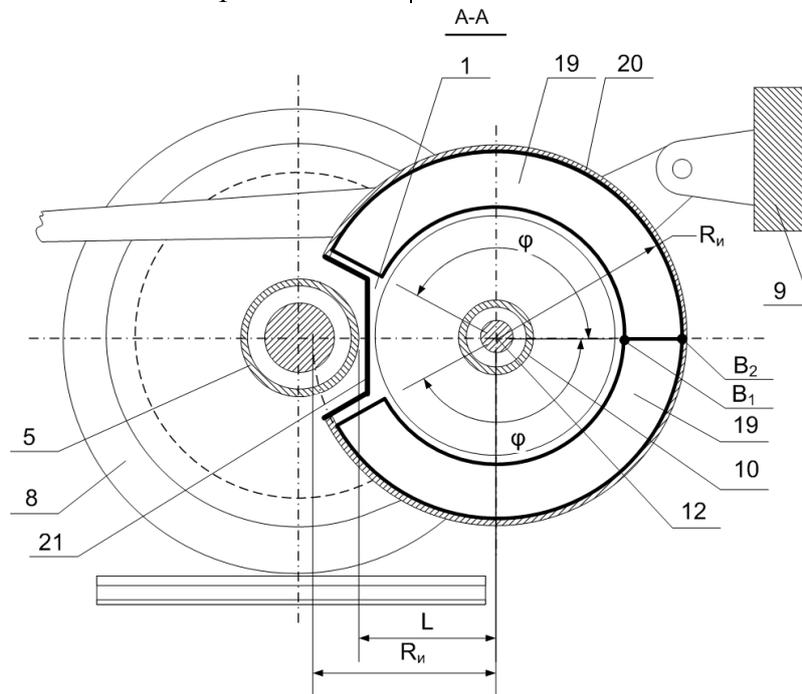


Рис. 5. Схема тягового привода с дугостаторным ТЭД, вид сбоку (обозначения те же, что и на рис. 4)

Такая конструкция позволяет уменьшить собственную частоту крутильных колебаний якоря до величины, меньшей частоты пульсаций момента ТЭД в режиме трогания с места. Чтобы разместить передаточный механизм на быстроходной части привода, уменьшение осевого габарита ТЭД компенсируется за счет увеличения диаметра его ротора (что, соответственно, позволяет увеличить диаметр малого зубчатого колеса тягового редуктора и повысить долговечность зубчатой передачи и подшипников за счет уменьшения частоты оборотов быстроходного вала). При этом статор 18 состоит из нескольких индукторов 19 в виде дуги с углом φ так, что сумма углов φ меньше 360 градусов. В образующемся свободном пространстве размещается ось колесной пары 8 с полым валом 5, вследствие чего, как показано на рис.3, расстояние L от оси ротора ТЭД может быть выполнено больше, чем наружный радиус дуги индуктора R_n . Иными словами, полый вал размещен в выемке

корпуса ТЭД, образованной краями дугообразных индукторов, и закрытой кожухом 21 от попадания пыли, влаги и посторонних предметов. Это позволяет повысить крутящий момент ТЭД по сравнению с известными конструкциями за счет разрешения противоречия между необходимостью увеличения диаметра ротора ТЭД и ограничения размеров централи тяговой передачи.

Предложенная конструкция тягового привода позволяет одновременно решить две задачи: удешевить преобразователь за счет отказа от ШИМ, и добиться требуемой долговечности тягового привода при использовании более технологичных узлов механической части привода по сравнению, скажем, с применяемыми на электровозах 2ЭС10 фирмы «Синара» или ЭП20 фирмы «Грансмашхолдинг». Следует отметить, что в данном приводе по сравнению с приводом, имеющим осевой редуктор, обеспечивается более высокая долговечность работы зубчатых муфт (при

меньшей радиальной несоосности валов ТЭД и редуктора), а тяговые свойства повышены за счет снижения динамических моментов при прохождении неровностей пути. При этом точно так же может быть реализовано повышение коэффициента сцепления при начавшемся боксовании за счет автоколебаний колесной пары, что достигается за счет выбора крутильной жесткости компенсирующих муфт на тихоходной стороне привода.

На конструкцию предложенного привода подана заявка на получение патента на полезную модель.

С точки зрения технологии энергомашиностроения ДАД не содержат дета-

лей и узлов, которые не могут быть изготовлены с применением технологического оборудования, имеющегося на отечественных предприятиях. Основной проблемой при практическом создании тяговых тепловозных ДАД является оптимизация их конструкции под заданные параметры, требуемые для приводов конкретных тепловозов. В связи с этим авторы считают целесообразным проведение опытно-конструкторских работ по созданию приводов перспективных тепловозов рассмотренной выше схемы с диаметрами колес 1050 и 1250 мм.

Выводы

1. Доказана возможность дальнейшего повышения тяговых свойств тепловозов до реализации силы тяги 63,75 кН на ось в продолжительном режиме с применением коллекторных ТЭД с поосным регулированием при диаметре колес 1250 мм и опорно-рамном приводе с осевым редуктором.

2. В связи с увеличением массы коллекторных ТЭД по сравнению с асинхронными авторы предлагают выполнить тепловоз с силой тяги в продолжительном режиме не менее 1000 кН и коллекторными ТЭД в виде двух секций на трех двухосных тележках и бустера на двух двухосных тележках с запасом топлива для безэкипировочного пробега 4000 км. Обоснована необходимость проведения технико-

экономического анализа целесообразности производства варианта тепловоза 2ТЭ30к с коллекторными ТЭД и осевой формулой $(2_0-2_0-2_0) + (2_0-2_0) + (2_0-2_0-2_0)$, т.е. с бустерным танкерным модулем.

3. Предложена конструкция тягового привода для дугостаторного асинхронного двигателя с размещением полого вала в выемке, образованной дугообразными индукторами, что позволяет снизить стоимость преобразователей тепловоза за счет отказа от широтно-импульсной модуляции и повысить технологичность изготовления механической части привода. Установлена целесообразность проведения опытно-конструкторских работ по созданию указанного типа ДАД и тяговых приводов тепловоза с его использованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беляев, А. И.** Повышение надежности экипажной части тепловозов / А. И. Беляев [и др.], под ред. К. Добрынина. – Москва: Транспорт, 1984. – 248 с.
2. **Дорофеев, О. В.** Тяговый привод локомотивов с высокомоментным коллекторным тяговым электродвигателем. / О.В. Дорофеев [и др.] // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2021. – № 2 (346). – С. 118-129.
3. **Курбасов, А. С.** Повышение работоспособности тяговых электродвигателей / А. С. Курбасов. – Москва: Транспорт, 1977 – 223 с.
4. **Находкин, М. Д.** Проектирование тяговых электрических машин / М.Д. Находкин [и др.]. – Москва: Транспорт, 1976 – 624 с.
5. **Двухсекционный электровоз для рудовозной линии в Скандинавии** // *Железные дороги мира.* – 2011. – № 11. – С. 28-35.
6. **Голубятников, С. М.** Влияние конструкции и характеристик горизонтальных связей кузова с тележками на динамику тепловоза 2ТЭ121 в прямых, кривых и стрелочных переводах. / С. М. Голубятников [и др.] // *Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121.* Труды ВНИТИ. – 1985. – вып. 62. – С. 97 – 108.
7. **Кобзев, С. А.** Вместе с РЖД: поступательное движение вперед / С. А. Кобзев // *Журнал для партнеров ЗАО «Трансмашхолдинг».* – 2015. – С. 4-7.

8. **Антипин, Д. Я.** Модернизация узлов подвижного состава железных дорог. / Д. Я. Антипин [и др.]. – Брянск: БГТУ, 2018. – 276 с.
9. **Степанов, А. Д.** Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов. / А. Д. Степанов [и др.]. – Москва: Транспорт, 1982. – 254 с.
10. **Воробьев, В. И.** Исследование динамических процессов в тяговом приводе локомотива с асинхронным двигателем в режимах пуска, разгона и движения с низкими скоростями: дисс... канд. техн. наук. / В. И. Воробьев. – Брянск, 1981. – 196 с.
11. **Винокуров, В. А.** Наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом / В. А. Винокуров, В. А. Ховрич // Железнодорожный транспорт. – 2000. – №8. – С. 44 – 46.
12. **Ивахин, А. И.** Варианты реализации и динамические свойства асинхронного тягового привода локомотивов с дугостаторными электродвигателями / А. И. Ивахин // Тяжелое машиностроение. – 2012. – № 10. – С. 17 – 21.
13. **Ивахин, А. И.** Возмущающие воздействия со стороны асинхронного тягового двигателя на привод маневрового тепловоза: дисс... канд. техн. наук / А. И. Ивахин. – Брянск, 1996. – 187 с.
1. **Belyaev, A.I.** Improving the reliability of locomotive underframe / A.I. Belyaev [et al], edited by K. Dobrinin. – Moscow: Transport, 1984. – 248 p.
2. **Dorofeev, O.V.** Traction drive of locomotives with high momentum collector traction electric motor. / O.V. Dorofeev [et al] // **Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology**. – 2021. – no. 2 (346). – pp. 118-129.
3. **Kurbasov, A.S.** Improving the efficiency of traction motors. / A.S. Kurbasov. – Moscow: Transport, 1977 – 223 p.
4. **Nakhodkin, M.D.** Design of traction electric machines. / M.D. Nakhodkin [et al]. – Moscow: Transport, 1976 – 624 p.
5. **Two-section electric locomotive for ore-hauling line in Scandinavia** // Zheleznice Dorogi Mira. – 2011. – no. 11. – pp. 28-35.
6. **Golubyatnikov, S.M.** The influence of the design and characteristics of the horizontal connections of the body with bogies on the dynamics of 2TE121 locomotive in straight lines, curves and switches. / S.M. Golubyatnikov [et al] // Test Results of 2TE121 Locomotive. VNITI Proceedings. – 1985. – no. 62. – pp. 97 – 108.
7. **Kobzev, S.A.** Together with Russian Railways: Moving Forward / S.A. Kobzev // Transmashholding. – 2015. – pp. 4-7.
8. **Antipin, D.Ya.** Modernization of railway rolling stock units. / D.Ya. Antipin [et al]. – Bryansk: BSTU, 2018. – 276 p.
9. **Stepanov, A.D.** Electric AC transmissions of diesel locomotives and gas turbine locomotives. / A.D. Stepanov [et al]. – Moscow: Transport, 1982. – 254 p.
10. **Vorobyov, V.I.** Investigation of dynamic processes in the traction drive of a locomotive with an asynchronous motor in the modes of start-up, acceleration and low-speed movement: D.Ph. thesis. / V.I. Vorobyov. –Bryansk, 1981. – 196 с.
11. **Vinokurov, V.A.** Ground transport with linear drive and magnetic suspension / V.A. Vinokurov, V.A. Khovrich // Railway Transport. – 2000. – no.8. – pp. 44-46.
12. **Ivakhin, A.I.** Implementation options and dynamic properties of asynchronous traction drive of locomotives with arc-type stator electric motors / A.I. Ivakhin // Russian Journal of Heavy Machinery. – 2012. – no. 10. – pp. 17 – 21.
13. **Ivakhin, A.I.** Disturbing effects from the asynchronous traction motor on the shunting locomotive drive: D.Ph. thesis. / A.I. Ivakhin. – Bryansk, 1996. – 187 p.

Ссылка для цитирования:

Воробьев, В.И. Поиск путей повышения тяговых свойств тепловозов и конструкция тягового привода / В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, О.В. Измеров, Е.В. Николаев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 12. – С. 49 - 54 . DOI: 10.30987/1999-8775-2021-12-48-59.

Статья поступила в редакцию 24.07.21.

Рецензент: д.т.н., зав. отделением динамики и прочности, подвижного состава и инфраструктуры АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава Волохов Г.М., член редсовета журнала «Вестник БГТУ». Статья принята к публикации 29.11.21.

Сведения об авторах:

Воробьев Владимир Иванович, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, e-mail: vladimvorobiev@yandex.ru.

Пугачев Александр Анатольевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Промышленная электроника и электротехника» Брянского государственного технического университета, e-mail: alexander-pugachev@rambler.ru.

Vorobyov Vladimir Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University, e-mail: vladimvorobiev@yandex.ru.

Pugachev Aleksandr Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial Electronics and Electrical Engineering at Bryansk State Technical University, e-mail: alexander-

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

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

pugachev@rambler.ru.

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

Nikolaev Evgeniy Vladimirovich, Senior Lecturer of the Department of Traction Rolling Stock at Russian University of Transport, e-mail: work-omc@yandex.ru.