

УДК 629.4.027.4:656.2

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-10-53-63

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

## ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ТЕПЛОВОЗА ДЛЯ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Рассмотрена задача поиска рациональных технических решений магистрального автономного локомотива для Восточного полигона ОАО РЖД. Установлено, что применение четырехосной тележки тепловоза ТЭМ7 не позволяет создать тепловоз, удовлетворяющий всем требованиям ОАО РЖД, а конструкция тележки ТЭМ7 нерациональна для магистральных тепловозов. Доказано, что одностороннее расположение тормозных колодок приводит к ухудшению тормозных свойств локомотива, опорно-осевой тяговый привод, несмотря

на применение асинхронного двигателя, имеет не поддресоренную массу, в 1,5 раза большую, чем у ранее выпускавшегося отечественного аналога с коллекторным двигателем и практически ту же массу колесно-моторного блока. Предложено провести конструкторскую проработку варианта привода с опорно-рамным асинхронным тяговым двигателем и осевым редуктором.

**Ключевые слова:** экипажная часть локомотива, тележка, тяговый привод, электродвигатель, динамика, надежность.

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

## SEARCH FOR RATIONAL ENGINEERING SOLUTIONS OF DIESEL LOCOMOTIVES FOR THE EASTERN RANGE

The purpose of the study is to search for rational engineering solutions for the main autonomous locomotive for the Eastern range of OAO Russian Railways.

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

Research results and novelty: it is established that the use of a four-axle truck of a diesel locomotive TEM7 does not allow to create a locomotive that meets all the requirements of OAO Russian Railways, and the design of truck TEM7 is irrational for mainline locomotives; it is proved that the one-sided arrangement of brake blocks leads to deterioration in the locomotive braking properties. The bearing and axial towline, despite the use of an asynchronous engine, has an unsprung mass 1.5 times greater than that of the previously produced domestic analogue with a collector engine

and almost the same mass of the wheel-motor unit; dynamic moments in the drive due to the lack of elastic elements during prolonged operation can reach 56% of the traction torque, which worsens the traction properties of the locomotive.

Conclusion: it is advisable to carry out a design study of the drive variant with a support-frame asynchronous traction engine and an axial gearbox, as well as to conduct a technical and economic analysis and design study of a cheaper version of a diesel locomotive with sections on three two-axle bogies, maximally unified with electric locomotives, with a booster tanker module and AC-DC transmission with axial regulation of eight-pole collector motors with support-frame suspension.

**Key words:** locomotive underframe, bogie, traction drive, electric engine, dynamics, reliability.

### Введение

В 2018 году ОАО РЖД были разработаны и утверждены Технические требования на магистральный автономный грузовой локомотив и магистральный электровоз для Восточного полигона. Особенностью этих Требований для тепловозов является условие безкипировочного пробега по топливу 6000 км, вместо пробега 800...1000 км, на который тепловозы рассчитывались ранее. При суммарной мощности дизелей не ниже 6250 кВт и скоро-

сти режима длительной тяги не менее 18 км/ч это означает, что запас топлива должен быть увеличен на несколько десятков тонн по сравнению с ранее созданными локомотивами, близкими по мощности, у которых запас топлива составлял примерно 15 т. Такое увеличение запаса топлива неизбежно влияет на общую компоновку тепловоза.

Кроме того, согласно экологической стратегии РЖД, предполагается к 2030 го-

ду перевести около трети тепловозного парка РЖД на природный газ, что экономически имеет смысл делать прежде всего для вновь проектируемых мощных локомотивов. Как показывает опыт создания автономных локомотивов на сжиженном природном газе (СПГ), емкость для СПГ должна иметь примерно вдвое большие габариты, чем для дизельного топлива, что сказывается на общей компоновке локомотива. Попытка решения данной проблемы путем использования газотурбинных локомотивов пока сдерживается отсутствием тяговой газовой турбины мощностью порядка 6 МВт, которая сохраняла бы высо-

кий к.п.д. на частичных и переходных режимах. Собственно, это то же самое препятствие, которое стояло перед создателями газотурбовозов в 40-х - 60-х годах прошлого века.

Таким образом, перед отечественным локомотивостроением возникла проблема в короткие сроки найти рациональную компоновку тепловоза с большим межэкипажировочным пробегом и рациональные решения узлов механической части, который может быть быстро освоен производством. Предлагаемая статья является попыткой решения данной задачи.

### Анализ известных вариантов решения

К настоящему времени известно о двух тепловозах, проектируемых для условий Восточного полигона: тепловозе 2ТЭ35а (фирма "Синара") и тепловозе 2ТЭ30а (фирма «Трансмашхолдинг»).

Как следует из опубликованного дизайн-проекта, тепловоз 2ТЭ35а будет представлять собой дальнейшее развитие конструкции тепловоза ТЭ8, выпущенного

ОАО "ЛТЗ" в количестве 15 шт. В качестве экипажной части тепловоза предполагается использовать четырехосные тележки маневрово-промышленного тепловоза ТЭМ7 (рис. 1), которые также были применены на магистральных тепловозах ТЭРА1 и ТЭМ7, с установкой на них асинхронных тяговых электродвигателей (ТЭД).

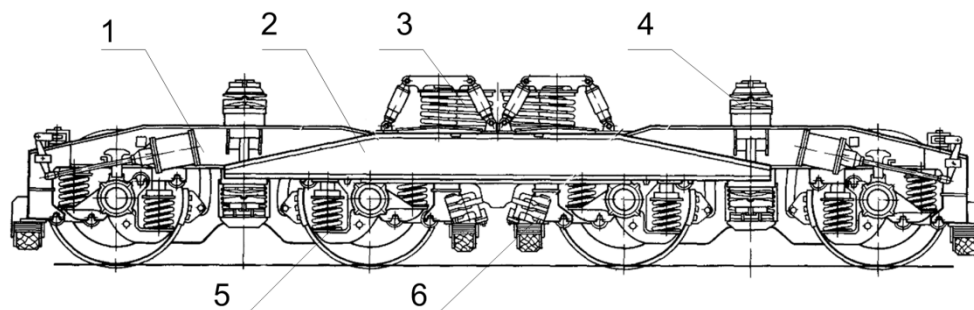


Рис. 1. Тележка тепловоза ТЭМ7:

- 1 – двухосная тележка; 2 – промежуточная рама; 3 – центральная ступень рессорного подвешивания; 4 – маятниковая подвеска;  
5 – буксовая ступень рессорного подвешивания; 6 – наклонная тяга

Выбор данного варианта тележки, очевидно, обусловлен тем, что она освоена производством на ОАО «ЛТЗ», что позволяет представить опытные образцы тепловоза в самом ближайшем времени, а также позволяет в дальнейшем сэкономить на технологической оснастке.

К скрытым недостаткам такого решения относится то, что при модификации тележки для электровоза 2ТЭ35а при проектировании возникает значительный объ-

ем униформации (неизвестной новой информации, требуемой для проектирования, [1]). Тележка тепловоза ТЭМ7 была создана в 1973 году для тепловоза с осевой силой тяги 43 кН, в то время как в варианте для 2ТЭ35а осевая сила тяги увеличивается до 62,5 кН или в 1,45 раза. Таким образом, требуется исследование напряженного состояния рамных конструкций тележки и ряда других узлов (буксовые поводки, шкворневой узел, устройство передачи си-

лы тяги). Тележка имеет значительное количество узлов с парами трения (механизм передачи силы тяги на промежуточную раму, маятниковая подвеска).

Использование в четырехосной тележке тепловоза ТЭМ7 промежуточной рамы, которая опирается на две двухосные тележки, было обусловлено использованием тепловоза ТЭМ7, как маневрового и промышленного, для путей с малыми радиусами кривых (80 м) и значительными вертикальными неровностями, при небольшом весе дизель-генераторной группы мощностью всего в 15 МВт. В результате вес тележек тепловоза ТЭМ7 вырос до 42,2% от общего веса [2], что нерационально для тепловозов магистральной службы с более мощной и тяжелой силовой установкой. В варианте для магистрального тепловоза вес подобной тележки может быть существенно снижен за счет непосредственного опирания кузова на двухосные тележки, несочлененные либо сочлененные нижней рамой, не несущей вертикальных нагрузок, как это было сделано на тепловозе ТЭ136.

При диаметре колес 1050 мм возможности повышения надежности тягового привода, который должен обеспечивать

осевую силу тяги 62,5 кН, ограничены из-за низкого объема межосевого пространства, в связи с чем обычно приходится применять одностороннюю тяговую передачу с консольным расположением малого зубчатого колеса на валу ТЭД. Тепловоз 2ТЭ35а рассчитан на межремонтный пробег 10 тыс. км. до ТО-2, что меньше, чем в требованиях ОАО РЖД (12 тыс. км), и на пробег по топливу не более 900 км вместо 6000 км.

Таким образом, тепловоз 2ТЭ35а выгоден для использования не на магистральных линиях РЖД, а на крупных промышленных железных дорогах в восточной части страны, где, при сложном профиле, для удешевления строительства дороги можно допустить кривые радиусом до 80 м.

Для тепловоза 2ТЭ30а предполагается применить новую трехосную тележку (рис.2) с колесами диаметра 1250 мм и базой 3900 мм, что на 100 мм больше унифицированной бесчелюстной тележки грузовых тепловозов и на 500 мм меньше базы тележки тепловоза ТЭ121, при этом осевую нагрузку предполагается повысить до 255 кН.

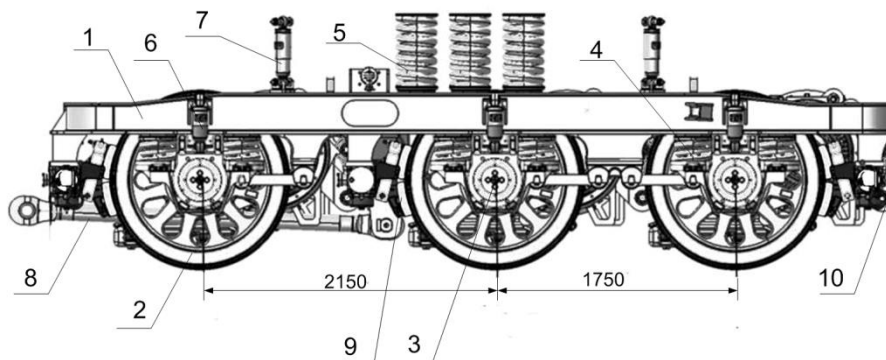


Рис. 2. Тележка тепловоза 2ТЭ30а (проект):

- 1 – рама; 2 – колесная пара; 3 – букса; 4 – буксовая ступень рессорного подвешивания; 5 – центральная ступень рессорного подвешивания; 6 – гаситель буксовой ступени; 7 – гаситель центральной ступени; 8 – устройство передачи силы тяги; 9 – тормозная колодка; 10 – подвеска тягового электродвигателя

Целесообразность повышения осевой нагрузки до 25...27 тс и увеличения диаметра колеса до 1250 мм была обоснована АО «ВНИИЖТ» (ЦНИИ МПС) еще к 70-м годам прошлого века. Предполагалось, что

это приведет к сокращению расходных норм для определения эксплуатационных расходов на 22 % расходной нормы на локомотиво-км [3]. Также АО «ВНИИЖТ» был сделан вывод, что увеличение диамет-

ра колеса до 1250 мм приведет к увеличению сцепления колеса с рельсом на 4 % [4]. Отечественной промышленностью в 80-е годы прошлого века были созданы и освоены серийным производством тепловозы секционной мощностью около 3 МВт с диаметром колеса 1250 мм, выпуск которых был прекращен по обстоятельствам, не связанным с их техническими и экономическими характеристиками.

В отличие от выше рассмотренного тепловоза 2ТЭ35а, тепловоз 2ТЭ30а предполагается использовать с бустерным танкерным модулем, представляющим собой четырехосный тендер с ведущими осями и запасом дизельного топлива или сжиженного природного газа (СПГ), что позволяет довести безэкипировочный пробег по топливу до требуемых ОАО РЖД 6000 км, а также реализовать требуемую силу тяги 1 МН при меньшей склонности тепловоза к боксованию. ТМХ предполагает также выпуск электровоза осевой формулой 3о-3о, максимально унифицированного с 2ТЭ30а.

Таким образом, выбор данного варианта экипажной части продиктован стремлением создать не просто тепловоз, имеющий значительный резерв модернизации на перспективу, а новую платформу для создания различных локомотивов.

К недостаткам данного варианта прежде всего следует отнести необходимость создания новой трехосной тележки, что, как показывает практика отечественного тепловозостроения, обычно занимает длительное время из-за необходимости решения ряда проблем, выявляемых на натурных испытаниях. Рассмотрим объем и источники информации для данной тележки.

Прежде всего отметим, что в тележке был учтен ряд замечаний к первоначальному варианту, высказанных авторами в [5]. В первую очередь, база тележки была сокращена на 450 мм (более чем на 10 %), что сопровождается уменьшением общей длины тележки и момента инерции в горизонтальной плоскости, в том числе и по сравнению с ранее построенным тепловозом 2ТЭ121. Это дает основания полагать, что достижение требуемых величин воз-

действия на путь в горизонтальной плоскости окажется проще, чем для тепловоза 2ТЭ121, тем более, что, в отличие от 80-х годов прошлого века, задача обеспечить эксплуатацию таких тепловозов на пути с рельсами Р50 потеряла актуальность. С боковин рамы тележки убраны пазы для рычагов тормозной системы, что увеличивает прочность рамы и облегчает задачу обеспечения ее прочности при концентрации нагрузки со стороны кузова. Следует отметить, что применение для передачи нагрузок с тележки на кузов наклонной тяги и вызванное этим смещение центра поворота в сторону первой направляющей колесной пары может приводить и к росту квазистатической составляющей рамной силы [6].

Для уменьшения базы тележки применено одностороннее расположение колодок пневматического тормоза. Основными недостатками одностороннего расположения колодок применительно к данному локомотиву являются повышенный износ колодок и создание усилий, приводящих к перераспределению осевых нагрузок, поскольку тормозное усилие, создаваемое колодкой, приложено вне центра колеса и не скомпенсировано усилием, создаваемым колодкой с противоположной стороны. Это может вызвать склонность к возникновению юза разгруженных колесных пар и сказываться на общей эффективности пневматического тормоза локомотива. Теоретически перераспределение нагрузок по осям при пневматическом торможении может быть компенсировано с помощью пневматического догрузателя, однако данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Для тепловоза применен тяговый привод интегрированной конструкции (рис. 3), особенности которого были ранее рассмотрены авторами в [7]. К достоинствам данного варианта относится потенциальная возможность унификации данного тягового привода с уже освоенным производством тяговым приводом электровоза с асинхронным ТЭД, например, 2ЭС5С, что уменьшает униформацию, связанную с изготовлением конструкторской документации и отработки технологии произ-

водства. Как было установлено авторами, основными недостатками таких приводов являются:

– низкая технологичность изготовления и ремонта из-за жесткого разъемного соединения тягового электродвигателя (ТЭД) и редуктора;

– возможность перекоса зубьев тяговой передачи вследствие изгиба оси колесной пары;

– возможность возникновения высоких динамических нагрузок в элементах привода из-за отсутствия упругих звеньев в тяговой передаче.

Определим приведенную необрессоренную массу колесно-моторного блока тепловоза по методике, изложенной в [8]:

$$m_n = m_{\text{п}} + m_{\text{в}} = m_{\text{кп}} + m_{\text{тэд}} \frac{a}{c} + \frac{I_c + I_p i(i+2)}{c^2}; \quad (1)$$

где  $m_{\text{кп}} = 5000$  кг – масса колесной пары с буксами и редуктором;  $a = 0,6$  м – расстояние от вала ТЭД до точки подвеса;  $c = 1,1$  м – расстояние от оси колесной пары до точки подвеса,  $i = 6,72$  – передаточное число,  $m_{\text{тэд}} = 2200$  кг – масса ТЭД,  $I_c$  – момент инерции статора ТЭД;  $I_p$  – момент инерции ротора ТЭД. Полагая, что моменты инерции ротора и статора ТЭД при разных диаметрах статора и ротора будут примерно пропорциональны квадрату массы ТЭД (масса меняется пропорционально квадрату диаметра, момент инерции – пропорционально диаметру в четвертой степени), примем  $I_c = 480$  кг·м<sup>2</sup>,  $I_p = 16$  кг·м<sup>2</sup>. При указанных величинах необрессоренная масса  $m_n = 6300$  кг, что в 1,5 раза выше, чем у тепловоза 2ТЭ121 с опорно-рамным приводом и осевым редуктором, и

на 11 % выше необрессоренной массы тепловоза 2ТЭ116 с учетом приведенной в [9] величины сил инерции ТЭД. Более того, суммарная масса КМБ тепловоза 2ТЭ30а составляет 7200 кг, что лишь на 6 % меньше суммы необрессоренной массы колесной пары и тягового электродвигателя тепловоза 2ТЭ121 (7600 кг), несмотря на то, что на тепловозе 2ТЭ30а применены асинхронные ТЭД, а на 2ТЭ121 – коллекторные. Иными словами, использование асинхронного ТЭД дало лишь незначительное снижение массы экипажной части, а увеличение статической нагрузки на ось по сравнению с серийно производимыми отечественными тепловозами усугубляется увеличением воздействия необрессоренных масс.

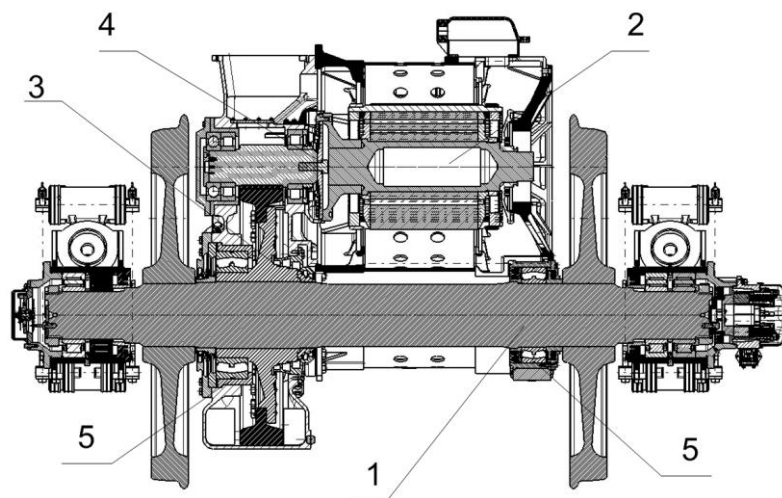


Рис. 3. Тяговый привод тепловоза 2ТЭ30а (проект):  
1 – колесная пара; 2 – тяговый электродвигатель (ТЭД);  
3 – редуктор; 4 – мембранная муфта; 5 – осевые подшипники

Причина данного явления в том, что применение интегрированного тягового привода привело к увеличению массы колесной пары с редуктором из-за увеличения поперечного сечения оси колесной пары для повышения жесткости и необходимости обеспечения поперечной жесткости редуктора, нагруженного боковыми усилиями и крутящими моментами от ТЭД.

Рассмотрим динамическую нагруженность тягового привода при условии безударного режима работы тяговой передачи и пренебрежимо малого скольжения между колесами и рельсами. В этом случае максимальный момент на валу ТЭД  $M_d$  может быть определен по упрощенному методу, изложенному в [9] на основе следующей формулы:

$$M_d = \frac{I_p(i+1)}{c} \ddot{x}_{кп}; \quad (2)$$

где  $\ddot{x}_{кп}$  – максимальные вертикальные ускорения оси колесной пары. На основании опыта натурных испытаний приводов тепловозов с опорно-осевыми приводами примем допущение, что наибольшие ускорения необрессоренных масс возникают вследствие удара при проезде единичной неровности в виде угла перелома в стыке рельсовых звеньев. Пренебрегая рассеянием энергии при деформации подрельсового основания пути и приведенной массой рельса, примем, что кинетическая энергия необрессоренных масс при вертикальном перемещении перед ударом равна потенциальной энергии деформированного пути:

$$\frac{m_n V_B^2}{2} = \frac{k_n x_{кп}^2}{2}; \quad (3)$$

где  $m_n$  – необрессоренная масса привода;  $V_B$  – вертикальная составляющая скорости необрессоренных масс;  $x_{кп}$  – максимальное перемещение колесной пары при деформации пути, при условии считать эту деформацию упругой,  $k_n$  – жесткость пути. Усилие при максимальной деформации пути  $F = m_n \ddot{x}_{кп} = k_n x_{кп}$ , откуда, с учетом (3),

$$\ddot{x}_{кп} = x_{кп} \frac{k_n}{m_n} = V_B \sqrt{\frac{k_n}{m_n}}. \quad (4)$$

Таким образом, максимальное ускорение необрессоренных масс проектируемого локомотива для заданной скорости в первом приближении можно определить, исходя из результатов испытаний аналога с другой необрессоренной массой и сходной осевой нагрузкой, вызывающей прогибы пути в районе стыка близкой величины. Полагая для аналога  $V_{Ba} = V_B$  и  $k_{па} = k_n$ , получим:

$$\ddot{x}_{кп} = \ddot{x}_{кпа} \sqrt{\frac{m_{на}}{m_n}}; \quad (5)$$

где  $\ddot{x}_{кпа}$  – вертикальные ускорения колесной пары аналога;  $m_{на}$  – необрессоренная масса аналога, в качестве которого примем тепловоз 2ТЭ121 с тем же диаметром колес и осевой нагрузкой 250 кН. Как видно из диаграммы рис. 4, при движении по участкам с разным состоянием пути на плече большой протяженности высокие значения ускорений могут наблюдаться и при движении со скоростью, соответствующему длительному режиму тяги.

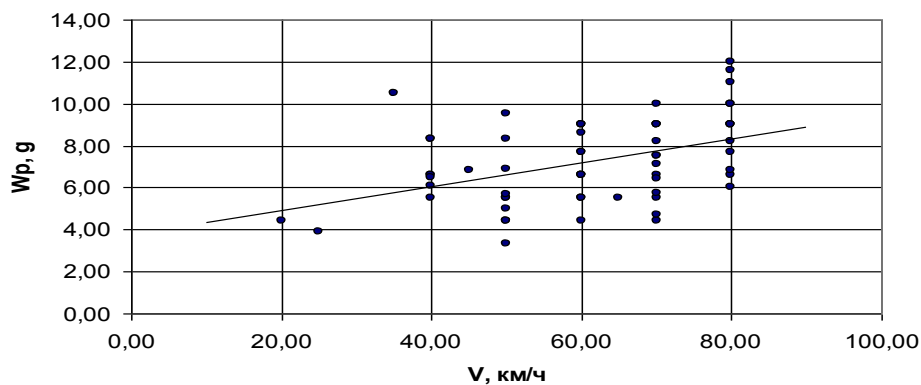


Рис. 4. Экстремальные значения вертикальных ускорений осевого редуктора тепловоза 2ТЭ121 на участке Воркута-Сосногорск

Поскольку расчет носит предварительный характер, примем, что при движении со скоростью 19 км/ч, соответствующей скоростью длительного режима тяги,  $\ddot{x}_{\text{кпа}} = 50 \text{ м/с}^2$ . Отсюда  $\ddot{x}_{\text{кп}} = 39 \text{ м/с}^2$  и  $M_{\text{д}} = 4400 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , что составляет 56 % от тягового момента на валу осевого редуктора. Наличие значительного дополнительного крутящего момента повышает вероятность проскальзывания колеса по рельсу, что ухудшает тяговые свойства. Следует отме-

тить, что в приводе тепловоза 2ТЭ121 с упругой связью между ТЭД и тяговой передачей относительная доля динамического момента в данном режиме была примерно вдвое ниже (рис. 5), несмотря на то, что момент инерции ротора ТЭД тепловоза 2ТЭ121, приведенный к колесной паре, в 1,6 раза выше момента инерции ротора ТЭД тепловоза 2ТЭ30а, принятого в вышеприведенном расчете.

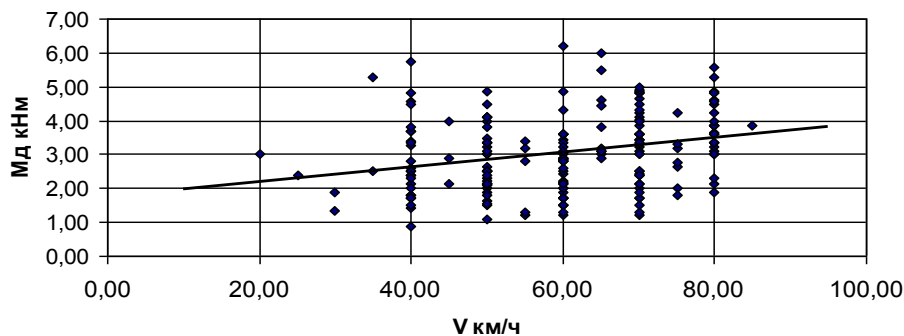


Рис. 5. Экстремальные значения динамической составляющей крутящего момента на валу осевого редуктора тепловоза 2ТЭ121 на участке Воркута-Сосногорск

Из изложенного следует, что в целом ставка фирмы «Трансмашхолдинг» на создание новой трехосной тележки с повышенной нагрузкой на ось является правильным решением, обеспечивающим в перспективе рост конкурентоспособности отечественного транспортного машиностроения. Однако высокий уровень униформации при создании новой тележки

может задержать введение в эксплуатацию новых локомотивов на Восточном полигоне. Иными словами, имеется противоречие между требованием новизны конструкции экипажной части и трудностями создания новой экипажной части. Рассмотрим возможности разрешения этого противоречия.

### Предлагаемые варианты решений

Рассмотрим возможность для снижения неподрессоренной массы тепловоза использовать привод с опорно-рамным подвешиванием ТЭД. Данная задача может быть решена двумя основными способами: использованием тягового привода с полым карданным валом на оси и с осевым редуктором.

Привод с полым карданным валом на оси использован на ряде отечественных локомотивов, в частности на электровозе ЭП20 производства фирмы «Трансмашхолдинг». К недостаткам этого варианта относится низкая технологичность интегрированного тягового привода и необходимость создания карданных поводковых

муфт для обеспечения тягового усилия 84 кН на ось. Авторами [10] было предложено существенно повысить технологичность изготовления и ремонта данного типа привода за счет использования высокомоментных асинхронных ТЭД с дисковым ротором. Однако, поскольку создание ТЭД с дисковым ротором также предполагает большой объем униформации, данный вариант может рассматриваться лишь как решение на перспективу.

Более простым с точки зрения технологии является вариант с осевым редуктором, который был без особых проблем реализован на пассажирском электровозе ЭП1 производства «Трансмашхолдинг» и

электровозе ДСЗ производства ГП «ДЭВЗ». Рассмотрим возможности реализации такого привода с использованием асинхронного ТЭД СТА-1200У1, примененном на электровозе ДСЗ.

Требуемое передаточное число может быть определено по следующей формуле:

$$i = \frac{F_k D_k}{2 M \eta}, \quad (6)$$

где  $F_k = 84,2$  кН – осевая сила тяги тепловоза 2ТЭ30а в продолжительном режиме,  $D_k = 1,25$  м – диаметр колеса тепловоза,  $M = 10,4$  кН·м – крутящий момент двигателя СТА-1200У1 в продолжительном режиме,  $\eta = 0,98$  – к.п.д. редуктора и передаточного механизма.

При заданных параметрах  $i = 5,16$  (119:23), что на 30 % ниже передаточного числа привода тепловоза 2ТЭ30а. Увеличение числа зубьев ведущего колеса позволяет уменьшить ширину зубчатого венца и осевые габариты редуктора.

Скорость вращения ротора двигателя при конструкционной скорости движения составит:

$$n_{\max} = \frac{n_{\text{con}} v_{\max} N_1}{v_{\text{con}} N_2}, \quad (7)$$

где  $n_{\text{con}} = 1138$  мин<sup>-1</sup> – частота вращения двигателя СТА-1200У1 в продолжительном режиме;  $v_{\max} = 120$  км/ч – конструкционная скорость движения тепловоза 2ТЭ30а;  $v_{\text{con}} = 19$  км/ч – скорость движения тепловоза 2ТЭ30а в продолжительном режиме тяги;  $N_1 = 450$  кВт – мощность на валу двигателя тепловоза 2ТЭ30а в продолжительном режиме;  $N_2 = 1200$  кВт – мощность на валу двигателя СТА-1200У1 в продолжительном режиме. При указанных значениях  $n_{\max} = 2700$  мин<sup>-1</sup>, что на 7,5 % ниже, чем максимальная скорость вращения ТЭД СТА-1200У1 (2900 мин<sup>-1</sup>). Это означает, что в приводе не возникнет проблем с нагревом роторных подшипников, несмотря на необходимость увеличения их внутреннего диаметра по сравнению с ТЭД при интегрированном типе привода.

Благодаря симметричному расположению осевых подшипников и подшипников ведущего вала, а также отсутствию усилий, действующих на осевой редуктор

со стороны ТЭД, корпус редуктора может быть выполнен сварным и облегчен по сравнению с осевым редуктором тепловоза 2ТЭ30а. В совокупности с возможностью облегчения сверленной оси колесной пары, это позволяет предположить, что необремененная масса при данном типе привода не будет существенно превышать необремененной массы тепловоза 2ТЭ121, несмотря на применение крыльчатых букс, при этом суммарная масса колесно-моторного блока не превысит массу такого на тепловозе 2ТЭ30а, несмотря на применение ТЭД с меньшей скоростью вращения. Передаточный механизм авторы предлагают выполнить в виде двух зубчатых муфт, расположенных снаружи ТЭД по обе стороны последнего, что снимает ограничения по длительности эксплуатации, вызванные старением резиновых элементов. В качестве элемента, снижающего динамические моменты в приводе, служит торсионный вал в полом якоре.

Из изложенного следует, что применение опорно-рамного привода с осевым редуктором может рассматриваться, как эффективная мера снижения неподдрессированной массы тепловоза 2ТЭ30а, а также улучшения тягово-сцепных свойств тепловоза за счет снижения динамических моментов, возникающих в валопроводах тягового привода при прохождении неровностей пути. В связи с этим авторы считают целесообразным проведение конструкторской проработки указанного варианта привода и ТЭД для него, имеющего крутящий момент в продолжительном режиме работы не ниже 10-11 кН.

Следует обратить внимание на то, что на Восточном полигоне тепловоз 2ТЭ30а предполагается использовать именно с бустерными танкерными модулями, а вариант без модуля предназначен для эксплуатации в европейской части России. Исходя из этого обстоятельства, авторы предлагают для сокращения сроков освоения производства и эксплуатации тепловоза с повышенной нагрузкой на ось также рассмотреть вариант с осевой формулой 2о-2о+2о-2о+2о-2о, унифицированный по силовой установке, передаче и вспомогательным агрегатам с создаваемым



тепловозом 2ТЭ30а, а по экипажной части – с двухосными тележками электровозов, уже выпускаемых «Трансмашхолдингом», при этом те же двухосные тележки могут быть использованы для бустерного танкерного модуля. В этом случае на самой секции размещается лишь небольшой запас топлива, требуемый для самостоятельного перемещения отдельных секций по деповским путям. Такой вариант позволит выявить в эксплуатации и решить проблемы, связанные с силовой установкой тепловоза и вспомогательными системами, до окончания работ, связанных с доводкой новой экипажной части. Более того, с учетом ТЭД бустерного танкерного модуля, в этом случае сила тяги 1010 кН может быть реализована и с помощью коллекторных ТЭД с поосным регулированием силы тяги, что существенно удешевило бы стоимость оборудования тепловоза (напомним, что в настоящее время именно тепловозы с коллекторными ТЭД и поосным регулированием составляют основную часть грузовых тепловозов, заказываемых отечественными железными дорогами). Еще в 70-е годы прошлого века в нашей стране был разработан проект восьмиполусного коллекторного ТЭД, позволяющего реализовать осевую силу тяги 80 кН при кон-

### Выводы

1. Установлено, что при создании тепловоза 2ТЭ35а фирмы «Синара» с восьмиосной тележкой на базе тележки тепловоза ТЭМ7 может возникнуть ряд проблем, связанных с ограниченными возможностями модернизации тележки (необходимость исследования прочности рам тележек и промежуточной рамы, наличие большого числа пар трения в опорно-возвращающих устройствах и узлах передачи силы тяги, ограниченные габариты для размещения тягового привода при диаметре колеса 1050 мм). Применение верхней промежуточной рамы тележки при восьмиосном экипаже увеличивает общий вес экипажной части. В связи с этим, а также с тем, что тепловоз 2ТЭ35а не может обеспечивать пробег по топливу 6000 км, и пробег до ТО-2 12000 км, требуемых ОАО «РЖД», он выгоден для использования не

струкционной скорости 120 км/ч [11]. Реализации данного проекта в то время мешал недостаточный опыт в создании тяговых приводов грузовых локомотивов с опорно-рамным подвешиванием ТЭД, что в настоящее время не является проблемой. Опорно-рамное подвешивание коллекторных ТЭД, как показывает опыт ранее построенных тепловозов, позволяет существенно повысить их надежность вследствие снижения воздействующих на узлы ТЭД динамических нагрузок. На основании этого можно считать целесообразным проведение технико-экономической и конструкторской проработки удешевленного варианта тепловоза для Восточного полигона с передачей переменного тока, поосным регулированием ТЭД, тяговым приводом с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором и осевой формулой секции 2о-2о+2о-2о+2о-2о и бустерным танкерным модулем на двух или трех двухосных тележках, при максимальной унификации двухосных тележек с выпускаемыми в настоящее время для грузовых или грузопассажирских электровозов, чтобы определить целесообразность производства и эксплуатации таких тепловозов.

на магистральных линиях РЖД, а на крупных промышленных железных дорогах в восточной части страны,

2. Проектируемый тепловоз 2ТЭ30а фирмы «Трансмашхолдинг» с осевой нагрузкой 255 кН позволяет реализовать требования ОАО «РЖД» в отношении пробега по топливу и до ТО-2. В новом варианте экипажной части учтена часть замечаний, ранее высказанных авторами: сокращена база и общая длина тележки. Вместе с тем одностороннее расположение тормозных колодок может ухудшить тормозные свойства локомотива.

3. Установлено, что применение для тепловоза 2ТЭ30а асинхронных ТЭД в сочетании с опорно-осевым тяговым приводом интегрированной схемы не является неэффективным способом снижения неподрессоренной массы. Неподрессоренная

масса тепловоза 2ТЭ30а с учетом вращающихся масс в 1,5 раза выше, чем у ранее выпускавшегося тепловоза 2ТЭ121 с коллекторным ТЭД и тем же диаметром колес 1250 мм, при этом масса колесно-моторного блока тепловоза 2ТЭ30а приближается к массе колесно-моторно блока тепловоза 2ТЭ121 из-за того, что снижение веса ТЭД сопровождается увеличением веса редуктора и колесной пары с буксами.

4. Установлено, что при скорости движения длительного режима динамические моменты в приводе тепловоза 2ТЭ30а, не имеющего упругого звена в валопроводах, могут составлять 56% от статического, что ведет к увеличению вероятности проскальзывания колеса по рельсу и ухудшению тяговых свойств.

5. Установлена возможность существенного снижения неподрессоренной массы тепловоза 2ТЭ30а и улучшения его

тяговых свойств за счет применения тягового привода с опорно-рамным подвешиванием асинхронного ТЭД и осевым редуктором и целесообразность конструкторской проработки такого варианта привода.

6. Доказана целесообразность проведения технико-экономической и конструкторской проработки удешевленного варианта тепловоза для Восточного полигона с передачей переменного тока, поосным регулированием ТЭД, тяговым приводом с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором, осевой формулой секции 2о-2о+2о-2о+2о-2о и бу-стерным танкерным модулем на двух или трех двухосных тележках, при максимальной унификации двухосных тележек с выпускаемыми в настоящее время для грузовых или грузопассажирских электровозов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Измеров, О. В.** Инновационное проектирование машин: монография / О. В. Измеров [и др.], под ред. А.С. Космодамианского. – Орел : ОрелГТУ, 2010. – 413 с.
2. **Моисеев, Г. А.** Секционная мощность тепловозов и проблемы надежности / Г. А. Моисеев. – Москва: Транспорт, 1978. – 112 с.
3. **Тепловозы. Конструкция, теория и расчет** / Под ред. Н. И. Панова. – Москва: Машиностроение, 1976. – 543 с.
4. **Фуфрянский, Н. А.** Развитие локомотивной тяги / Н. А. Фуфрянский [и др.], под ред. Н. А. Фуфрянского и А. Н. Бевзенко. – Москва: Транспорт, 1982. – 303 с.
5. **Антипин, Д. Я.** Поиск рациональной экипажной части тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / Д. Я. Антипин, О. В. Измеров, Д. Г. Надточей // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. - №4. - С. 9 – 11.
6. **Филонов, С. П.** Характеристики и основные конструктивные решения тележек тепловоза 2ТЭ121 / С. П. Филонов, А. Т. Литвинов, П. К. Добрынин, Ю. В. Колесин // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121 // Тр. ВНИТИ; вып. 62. – Коломна : 1985, С. 49 – 60.
7. **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. - Брянск, 2019. - С. 42-46.
8. **Иванов, В. Н.** Конструкция и динамика тепловозов / В. Н. Иванов. – Москва: Транспорт, 1974. – 336 с.
9. **Евстратов, А. С.** Экипажные части тепловозов / А. С. Евстратов. – Москва: Машиностроение, 1987 – 136 с.
10. **Космодамианский, А. С.** Проблемы развития тяговых приводов пассажирских электровозов с бесколлекторными ТЭД / А. С. Космодамианский [и др.] // Транспорт Урала. – 2020. - № 2 (65). – С. 20-25.
11. **Курбасов, А. С.** Повышение работоспособности тяговых электродвигателей / А. С. Курбасов. – Москва: Транспорт, 1977 – 223 с.
1. **Izmerov, O.V.** Innovative Machine Design. Monography. Orel, OrelGTU, 2010, 413 p.
2. **Moiseev, G.A.** Sectional Capacity of Diesel Locomotives and Reliability Problems. Moscow, Transport, 1978, 112 p.
3. **Panova, N.I.** Diesel Locomotives. Design, Theory and Calculation. Moscow, Mashinostroenie, 1976, 543 p.
4. **Fufryanskiy, N.A.** Delopment of Locomotive Traction. Moscow, Transport, 1982, 303 p.
5. **Antipin, D.Ya., Izmerov, O.V., Nadtochey, D.G.** Search for a Rational Diesel Locomotive Underframe with an Increased Axle Load. *Trudi Rostovskogo Gosudarstvennogo Unkiversiteta Putey Soobsheniya* [Proceedings of Rostov State University of Railways], 2018, no.4, pp. 9 – 11.
6. **Filonov, S.P., Litvinov, A.T., Dobrynin, P.K., Kolesin, P.K.** Characteristics and Basic Design Solutions for 2TE121 Diesel Locomotive Bogies.

- Trudi VNITI* [Proceedings of VNITI], vol. 62, Kolomna, 1985, pp. 49 – 60.
7. **Vorobyov, V.I., Izmerov, O.V.** Aggregate Layout of Traction Drive for Diesel Locomotive with Increased Axle Load. *Sovershenstvovanie Transportnih Mashin* [Improvement of Transport Machines], Bryansk, 2019, pp. 42-46.
8. **Ivanov, V.N.** Design and Dynamics of Diesel Locomotives. Moscow, Mashinostroenie, 1987, 136 p.
9. **Evstratov, A.S.** Diesel Locomotive Underframes. Moscow, Mashinostroenie, 1987, 136 p.
10. **Kosmodamianskiy, A.S., Vorobyov, V.I., Kapustin M.Yu., Izmerov, O.V.** Problems of Development of Traction Drives with Brushless Traction Motors for Passenger Electric Locomotives. *Transport of the Urals*, 2020, no. 2 (65), pp. 20-25.
11. **Kurbasov, A.S.** Improving the Efficiency of Traction Motors. Moscow, Transport, 1977, 223 p.

Ссылка для цитирования:

*Воробьев В.И. Поиск рациональных технических решений тепловоза для восточного полигона / В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, О.В. Измеров, Е.В. Николаев В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, О.В. Измеров, Е.В. Николаев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 10. – С. 53 - 63 . DOI: 10.30987/1999-8775-2021-10-53-63.*

Статья поступила в редакцию 14.07.21.

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 26.08.21.

#### 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., 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 the Rolling Stock of Railways at Bryansk State Technical University. E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru.

**Pugachev Aleksandr Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Haed of the Department of Industrial Electronics and Electrical Engineering at Bryansk State Technical University. E-mail: alexander-pugachev@rambler.ru.

**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: workomc@yandex.ru.

**Izmerov Oleg Vasilyevich**, Postgraduate Student of the Department of the Rolling Stock of Railways 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: workomc@yandex.ru.