

Транспорт

УДК 625.280

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-6-31-37

Е.В. Сливинский, В.И. Киселёв

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕПЛОВЗОВ С АДАПТИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Разработаны практические рекомендации по модернизации рессорного подвешивания кузова тепловоза 2ТЭ25К. Используются современные методики расчёта адаптивных торсионных рессор, что позволило обосновать рациональные геометрические характеристики центрального подвешивания кузова тепловоза.

Предложенные направления по модернизации центрального подвешивания кузовов тепловозов позволят повысить плавность хода локомотивов, улучшить условие труда локомотивных бригад.

Ключевые слова: упругий стержень, шлицы, пружина сжатия, кузов.

E. V. Slivinsky, V. I. Kiselyov

ADVANCED CENTRAL SPRINGING DEVELOPMENT FOR DIESEL LOCOMOTIVES WITH ADAPTIVE CHARACTERISTICS

The work purpose - the development of practical recommendations on the spring suspension (developed on the level of invention RU2606409) updating of diesel locomotive 2TE25K body equipped with three-axle bogies and calculation fulfillment for the substantiation of spring suspension basic geometrical parameters.

Investigation methods – for realization of the purpose specified there are used modern calculation procedures of adaptive torsion springs that allowed substantiating efficient geometrical characteristics for the central suspension of the diesel locomotive body and there are given practical recommendations on the necessity of such bogies use in practice.

Investigation results and novelty – the investigation results are passed to the leadership of the Yelets locomotive depot, it is also recommended to research and industrial heavy engineering bodies both, in our country and abroad with the purpose of its further study and its possible introduction into practice.

Conclusions – analyzing the lines offered for locomotive body central suspension updating allows increasing locomotive motion smoothness, improving train crew labor conditions and increasing diesel locomotive design reliability on the whole.

Key words: elastic rod, slots, compression spring, body.

Введение

В практике широко используется тепловоз 2ТЭ116, состоящий из кузова, установленного на раме, которая с помощью опорно-возвращающих устройств взаимосвязана с рамами тележек. Рамы тележек также соединены с помощью шкворневого узла с кузовом тепловоза (рис. 1).

Рамы тележек через рессорное подвешивание соединены с буксами колесных пар, составляющих вместе с тяговыми электродвигателями колесно-моторные блоки, которые через опорные приливы соединены с рамами тележек. Для повышения плавности хода тепловоза 2ТЭ116 в

конструкции тележек предусмотрена установка фрикционных амортизаторов. Несмотря на свою эффективность использования, такой тепловоз обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что он имеет одну степень рессорного подвешивания, причем последняя совместно с фрикционными амортизаторами не может в автоматическом режиме изменять свои жесткостные характеристики. Это не позволяет эффективно производить гашение колебаний экипажа при его движении, как на прямых, так кривых участках рельсового пути [4].



Рис.1. Общий вид тепловоза 2ТЭ116

Известен тепловоз 2ТЭ25К выпускаемый БМЗ, который имеет две ступени рессорного подвешивания, расположенного как в буксовых узлах, так и в зоне контакта кузова тепловоза с тележками, пред-

ставляющего собой центральное подвешивание (рис. 2) выполненное в виде комплектов цилиндрических винтовых пружин сжатия.



Рис. 2. Центральное подвешивание кузов тепловоза 2ТЭ25К

Для гашения колебаний кузова у тепловоза используются гидравлические гасители колебаний, установленные между рамой и кузовом. Несмотря на свою эффективность использования, такое центральное подвешивание обладает существенным

недостатком, заключающимся в том, что оно не имеет возможности изменять в автоматическом режиме свои демпфирующие характеристики. Недостатки тепловоза 2ТЭ25К подобны описанным для тепловоза 2ТЭ116 [2-8].

Описание перспективной конструкции тепловоза

Учитывая важность проблемы по обеспечению нормативной плавности хода тепловозного парка как отечественного так и зарубежного, в Агропромышленном институте и СКБ ЕГУ им. И. А. Бунина совместно с кафедрой ЭиЛ МИИТ по заказу ВНИИКТИ (г. Коломна) проводится широкомасштабная НИР. Одним из разделов является изучение причин, связанных с использованием устройств, обеспечивающих необходимую плавность хода локомотивов с разработкой конкретных предложений по обеспечению такого явления.

По результатам проведенного анализа большого числа патентных отечественных и зарубежных источников, разработана перспективная конструкция центрального подвешивания, которая признана изобретением (RU2606409). Описана конструкция центрального подвешивания, позволяющая в автоматическом режиме изменять свои жесткостные характеристики и производить гашение колебаний кузова тепловоза. Этот эффект достигается

тем, что каждой из тележек в продольной их плоскости на одинаковом расстоянии относительно оси симметрии, проходящей через шкворни, расположены упругие стержни, одни концы которых снабжены рычагами, взаимодействующими с днищем кузова, а другие шлицами, подвижно размещенные в опорах, жестко закрепленных на тележках. Каждый из упругих стержней своими шлицами взаимосвязан с ответными, выполненными в стаканах квадратного сечения, подвижно установленных в одних из опор. Во внутренних полостях стаканов размещены винтовые пружины сжатия, контактирующие как с внутренними их торцевыми стенками, так и с торцами упругих стержней. Каждый из стаканов, имеющих внешние торцевые наклонные поверхности, взаимодействует с сухарями клиновидной формы подвижно установленных в направляющих, жестко закрепленных на тележках. Их поверхности, обращенные в сторону кузова, контактируют с упомянутым днищем кузова тепловоза.

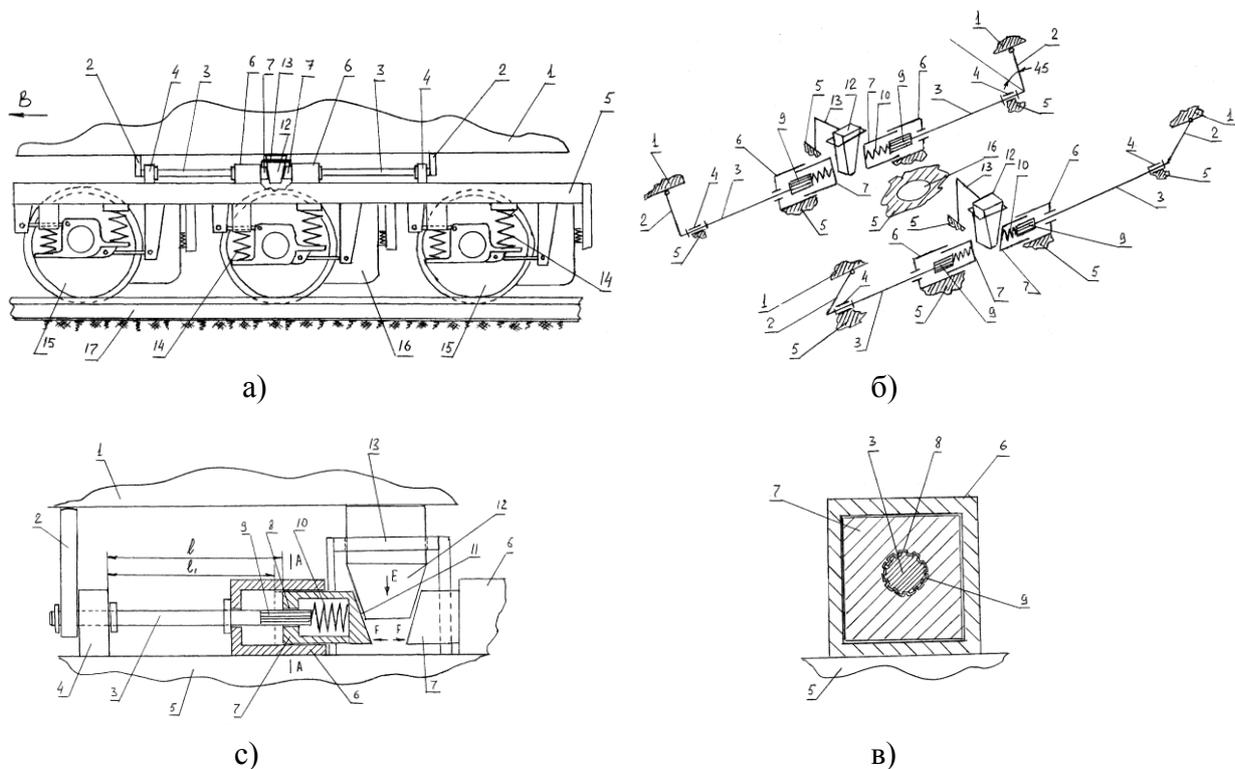


Рис. 3. Конструкция тележки по патенту RU2606409

Так на рис. 3 показана одна из тележек тепловоза - вид сбоку (а), принципиальная схема центрального подвешивания тепловоза (в), укрупненный узел центрального подвешивания тепловоза вид сбоку (с) с разрезом его деталей и сечение по А-А.

Тепловоз состоит из кузова 1, контактирующего с рычагами 2, жестко закрепленными на упругих стержнях 3, подвижно установленных в опорах 4, жестко смонтированных на раме тележки 5. Упругие стержни 3 также подвижно размещены в неподвижных опорах квадратного сечения 6, жестко закрепленных на раме 5, в которых подвижно установлены подобного сечения стаканы 7, взаимодействующие шлицами 8 со шлицами 9, выполненными на упругих стержнях 3. Между торцами упругих стержней 3 и стаканами 7 размещены цилиндрические винтовые пружины сжатия 10. Стаканы 3 имеют наклонные поверхности 11, взаимодействующие с сухарями клиновидной формы 12, примыкающими к кузову 1 также как и рычаги 2. Сухари клиновидной формы 12 расположены подвижно в направляющих 13, жестко закрепленных на раме 5. Рама 5 с помощью рессорного подвешивания 14 соединена с колесными парами 15, связанными с тяговыми электродвигателями 16. Колесные пары 15 перемещаются по рельсовому пути 17. Рама тележки 5 соединена с кузовом 1 шкворнем 16.

Работает тепловоз следующим образом. При установке кузова 1 на тележку рычаги 2 всех четырех упругих стержней 3 (рис. 2) располагают примерно под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту, при этом угловую деформацию упругие стержни 3 не получают, иными словами они не деформированы при таком положении рычагов 2. Затем кузов 1 опускают на тележку, который фиксируется шкворнем 16, при этом, упираясь в кузов 1, рычаги 2 располагаются под углом порядка $\alpha=30^\circ$. В статике тепловоза их положение не изменяется. Понятно, что при этом упругие стержни 3 так же получают угловую деформацию и окажутся в напряженном

состоянии, но в таком, что не теряют своих упругих свойств и не получают остаточной деформации. Предположим, что тепловоз получает движение по стрелке В и, преодолевая неровности пути, совершает колебания кузова 1 относительно рамы 5, амплитуда таких колебаний будет незначительна. Так, при колебаниях подпрыгивание все четыре рычага 2 получают дополнительное угловое перемещение в отличие от вышеуказанного $\alpha=30^\circ$, при этом упругие стержни 3 так же получают угловой поворот в этом же направлении. Одновременно сухари клиновидной формы 12 переместятся в своих направляющих 13 по стрелкам Е что позволит стаканом 7 получить перемещение по стрелкам F сжать свои цилиндрические винтовые пружины сжатия 10 и уменьшить тем самым рабочую длину упругих стержней 3 с l_0 до l_1 (рис. 3). Тогда крутильная жесткость упругих стержней 3 возрастет, что позволит демпфировать такое перемещение кузова 1. Такой процесс подтверждается известной зависимостью [5]:

$$K_\varphi = \frac{GJ_\rho}{d^2l}$$

где: G – модуль Юнга; J_ρ – момент инерции сечения стержня; d – диаметр стержня; l – длина стержня.

После исчезновения динамической нагрузки, вызвавшей угловой поворот рычагов 2 и движение по стрелке Е сухарей клиновидной формы 12, указанные детали возвращаются в исходное положение, как это показано на рис. 3. При боковой качке кузова 1 тепловоза относительно тележки 5 процесс увеличения упругих стержней 3 подобен выше описанному, с той лишь разницей, что в восприятии таких колебаний участвуют не все устройства, а только их пара, расположенная слева или справа чертежа. При этом упругие стержни 3, расположенные слева на рис. 3, увеличивают свою крутильную жесткость, а находящиеся справа наоборот – ее снижают. Далее описанные процессы могут повторяться неоднократно.

Расчёт параметров перспективной конструкции центрального подвешивания

Для расчёта основных геометрических параметров предложенной конструкции центрального подвешивания тепловоза с возможной привязкой её на тепловоз 2ТЭ25К, которая состоит из винтовых цилиндрических пружин сжатия (рис. 2), принята следующая известная методика [2, 10].

Известно, что каждая секция тепловоза 2ТЭ25К имеет две тележки, состоящие из рамы, колёсных пар, букс, рессорного подвешивания, тягового привода и тормозной системы. В этом случае на каждой из тележек тепловоза в продольной их плоскости на одинаковом расстоянии относительно оси симметрии, проходящей через шкворни, будут расположены по четыре упругих стержня (торсиона). Одни концы снабжены рычагами, взаимодействующими с днищем кузова тепловоза, а другие шлицами, подвижно размещёнными в опорах и жестко закреплёнными на тележках (рис. 3).

Приведем пример численного расчёта геометрических и кинематических параметров таких упругих стержней (адаптивных торсионных рессор) центрального рессорного подвешивания, выполненного в следующей последовательности. Исходя из того, что на одну тележку тепловоза действует реальная статическая нагрузка 67,8 т, то к рычагам 2 (рис. 3) каждого из упругих стержней будет приложена сила $N_{ст}=67,8/4 = 16,95$ т. Тогда рабочая нагрузка N_{δ} (динамическая) к каждому из них учётом коэффициента динамики 0,25% при скорости $V=160$ км/ч составит в данном случае 21,18 т. Следовательно, суммарная нагрузка на каждый из рычагов составит $N_{\Sigma}=N_{ст}+N_{\delta}=16,95+4,23=21,18$ т. Определим численное значение крутящего момента, приложенного к упругому стержню по зависимости $M_{кр} = N_{\Sigma}l_1 = 21,18 \cdot 0,32 = 6,77$ тм. Вычислим диаметр упругого стержня по известной зависимости [10]:

$$d_T = \sqrt[3]{\frac{16N_{\Sigma}l_1}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 21,18 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 600}} = \sqrt[3]{179193} = 56,8 \text{ мм},$$

где: $[\tau] = 600$ МПа согласно ГОСТ 14959-79, соответствующая материалу сталь 65С2ВА;

l_1 - длина рычага упругого стержня принята равной 320 мм.

Согласно сортамента на прокат, для изготовления упругого стержня оконча-

тельно назначим его диаметр, равный 60 мм. Исходя из конструктивных соображений, зададимся длиной рабочей части упругого стержня $l = 600$ мм, тогда угол закручивания торсиона при статическом нагружении составит:

$$\gamma_c = \frac{2l[\tau]}{Gd_T} = \frac{2 \cdot 600 \cdot 600}{8 \cdot 10^4 \cdot 60} = 0,15 \text{ рад} = 8,55^\circ.$$

Проверим торсион по условию прочности на кручение по зависимости:

$$\tau = \frac{16M_{кр}}{\pi d_T^3} = \frac{16 \cdot 21,18 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 60^3} = 498 \text{ МПа} \leq 600 \text{ МПа}$$

Следовательно, прочность торсиона обеспечена, так как $\tau \leq [\tau]$. Определим перемещение рычага упругого стержня, а, следо-

вательно, и экипажной части тепловоза от действия статической нагрузки по формуле:

$$\Delta_c = 2l_1 \sin \frac{\gamma_c}{2} = 2 \cdot 320 \cdot \sin \frac{8,55^\circ}{2} = 640 \cdot 0,0784 = 47 \text{ мм}$$

Как было отмечено выше, движение тепловоза 2ТЭ25К, с учетом неровностей

пути со скоростью 160 км/ч, вызывает дополнительную нагрузку $N_{\Sigma} = 21,18$ т на

упругий стержень, сопровождающуюся колебаниями его кузова. При этом за счёт контакта сухаря клиновой формы 12 с стаканом 7 (рис. 3) длина упругого стерж-

ня снизится с 600 мм до 550 мм, тогда угол закручивания упругого стержня в этом случае составит:

$$\gamma_{\partial} = \frac{2l[\tau]}{Gd_r} = \frac{2 \cdot 550 \cdot 600}{8 \cdot 10^4 \cdot 60} = 0,1375 \text{ рад} = 7,01^{\circ}.$$

Перемещения от такого динамического нагружения будут:

$$\Delta_{\partial} = 2l_1 \sin \frac{\gamma_c}{2} = 2 \cdot 320 \cdot \sin \frac{7,01^{\circ}}{2} = 640 \cdot 0,0612 = 36,7 \text{ мм}$$

Видно, что перемещения экипажной части тепловоза в динамике снизились на 10,3мм. Это произошло за счёт увеличения

крутильной жёсткости упругого стержня, которая увеличилась с J_c до J_{∂} в 1,65 раза, что видно из формул:

$$J_c = \frac{N_{cm}}{\Delta_c} = \frac{169500}{47} = 3606 \text{ Н/мм}, \quad J_{\partial} = \frac{N_{\Sigma}}{\Delta_{\partial}} = \frac{218800}{36,7} = 5961 \text{ Н/мм}.$$

Для возврата в исходное положение упругого стержня (рис. 3) подобраны геометрические характеристики возвратной пружины 10, которые равны и выбраны из известного источника [2]. Рабочая нагрузка пружины $P_{np} = 800$ Н; наружный диаметр пружины $D_{np} = 20$ мм; диаметр проволоки витка пружины $d_{\partial} = 4$ мм; длина пружины $h = 200$ мм; шаг пружины $t = 8$ мм;

материал пружины – Сталь 60С2, пруток по ГОСТ 14959-79.

Для автоматизации расчётов с применением ЭВМ, разработана программа с использованием языка *Delphi*, позволяющая проектировать предложенное рессорное подвешивание для других типов локомотивов.

Заключение

Результаты исследования переданы руководству Елецкого участка Белгородского центра ОАО «РЖД», а также рекомендуются отечественным и зарубежным научным и производственным структурам,

проектирующим, изготавливающим и модернизирующим различные по назначению магистральные тепловозы для возможного внедрения разработки в практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железнодорожный транспорт. Энциклопедия. Гл. ред. Н.С. Конарев. М.: Большая Российская Энциклопедия, 1994. 540с.
2. Камаев А.А. [и др.]. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: учеб. для студентов ВУЗов / под. ред. А.А. Камаева. М.: Транспорт, 1981. 263с.
3. Конструкция и динамика тепловозов / под. ред. В.Н. Иванова / 2-е издание доп. М.: Транспорт, 1974. 264с.
4. Филонов С. П. Тепловоз 2ТЭ116. М.: Транспорт, 1985. / Архивировано 21 ноября 2015 года Архивная копия от 21 ноября 2015 на Wayback Machine.
5. Абрамов Е.Р. Тепловозы серии 2ТЭ116 и их разновидности // Локомотивы и моторвагонный подвижной состав с двигателями внутреннего сгорания отечественных железных дорог. М., 2015. С. 108 - 121.
6. Раков В. А. Грузовые тепловозы 2ТЭ116 // Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза 1976-1985. М.: Транспорт, 1990. С. 73 - 77.
7. Раков В. А. Тепловоз 2ТЭ116 и его модификации // Локомотивы отечественных железных дорог 1956 - 1975. - М.: Транспорт, 1999. С. 164-166.
8. Spiryagin, M., Cole, C., Sun, Y.Q., McClanachan, M., Spiryagin, V., McSweeney, T. // Design and simulation of rail vehicles / (2014) Design and Simulation of Rail Vehicles, pp. 1-311.

9. Lei, X., Noda, N.-A. / Analyses of dynamic response of vehicle and track coupling system with random irregularity of track vertical profile / (2002) Journal of Sound and Vibration, 258 (1), pp. 147-165.
10. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. М.: Наука, 1970. – 544с.
11. Беляев А.И., Ткаченко В.П. Выбор параметров передаточных механизмов для комбинированного тягового привода // Вестник ВНИИЖТ. 1980. №1. С. 23-27.
1. Railway Transport. Encyclopedia. Editor-in-chief: N.S. Konarev. M.: Large Russian Encyclopedia, 1994. pp. 540.
2. Kamaev A.A. [et al.]. Structure, Calculation and Design of Locomotives: college student's textbook / under the editorship of A.A. Kamaev. Transport, 1981. pp. 263.
3. Structure and Dynamics of Diesel Locomotives / under the editorship of V.N. Ivanov / second edition supplemented. M.: Transport, 1974. pp. 264.
4. Filonov S.P. Diesel Locomotive 2TE116. M.: Transport, 1985. / Archived November 21, 2015. Archive copy of November 21, 2015 by Wayback Machine.
5. Abramov E.R. Diesel locomotives of series 2TE116 and their types // Locomotives and Motor-car Rolling-Stock with Internal Combustion Engines of Domestic Railways. M., 2015. pp. 108-121.
6. Rakov V.A. Cargo diesel locomotives 2TE116 // Locomotives and Motor-car Rolling-Stock of Railways of the Soviet Union 1976-1985. M.: Transport, 1990. pp. 73-77.
7. Rakov V.A. Diesel Locomotive 2TE116 and Its Modifications // Locomotives of Domestic Railways 1956-1975. – M.: Transport, 1999. pp. 164-166.
8. Spiryagin, M., Cole, C., Sun, Y.Q., McClanachan, M., Spiryagin, V., McSweeney, T. // Design and simulation of rail vehicles / (2014) Design and Simulation of Rail Vehicles, pp. 1-311.
9. Lei, X., Noda, N.-A. / Analyses of dynamic response of vehicle and track coupling system with random irregularity of track vertical profile / (2002) Journal of Sound and Vibration, 258 (1), pp. 147-165.
10. Feodosiev V.I. Resistance of Materials. M.: Science, 1970. – pp. 544.
11. Belyaev A.I., Tkachenko V.P. Choice of transmission mechanisms for combined traction drive // Bulletin of VNIIZhT. 1980. No.1. pp. 23-27.

Ссылка для цитирования:

Сливинский Е.В., Киселёв В.И. Разработка перспективного центрального подвешивания тепловозов с адаптивной характеристикой // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 6. С. 31-37. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-6-31-37.

Статья поступила в редакцию 10.02.20.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета

Кобищанов В.В.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 25.05.20.

Сведения об авторах:

Сливинский Евгений Васильевич, д.т.н., профессор кафедры «Технологические процессы в машиностроении и агроинженерии», Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, тел. 8 920 246 86 81, e-mail: evgeni_sl@mailo.ru.

Slivinsky Evgeny Vasilievich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Engineering Processes in Mechanical Engineering and Agricultural Engineering”, Bunin State University of Yelets, phone: 8 920 246 86 81, e-mail: evgeni_sl@mailo.ru.

Киселёв Валентин Иванович, д.т.н., профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы», Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, тел. 8 903 261 35 65, e-mail: kiselev40@mail.ru.

Kiselyov Valentin Ivanovich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Electric Trains and Diesel Locomotives”, Bunin State University of Yelets, phone: 8 903 261 35 65, e-mail: kiselev40@mail.ru.