

Транспорт

УДК 625.280

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-8-33-38

Е.В. Сливинский

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАДИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛЁСНЫМИ ПАРАМИ ТЕПЛОВОЗА ТЭП60

Проведены с использованием современных методик расчёты деталей машин на контактную прочность основных геометрических параметров разработанной тележки тепловоза. Показана возможность её создания и испытания в эксплуатационных условиях.

Создана на уровне изобретения бесчелюстная тележка тепловоза, которая рекомендуется научно-исследовательским и промышленным структурам в области тяжёлого машиностроения,

как в нашей стране, так и за рубежом с целью дальнейшего изучения и возможного внедрения её в практику.

Представлена разработка новой неизвестной мировой практике ходовая часть тепловоза, снабжённая РУКП, позволяющая повысить пробег тепловозов до нормативных значений и снизить затраты на их заводские и деповские ремонты.

Ключевые слова: рама, втулка, стержень, пружина сжатия, направляющая, поводок, упор.

E.V. Slivinsky

ESTIMATE OF DESIGN ELEMENT STRENGTH IN LONG-RANGE RADIAL CONTROL OF WHEEL PAIRS OF TEP60 DIESEL LOCOMOTIVE

The contact strength calculations of machinery on basic geometrical parameters of a diesel locomotive bogie developed with the use of current procedures are carried out. There is shown a possibility for its creation and testing under operation conditions.

A diesel locomotive jawless bogie is created at the level of invention which is recommended by scientific-research and manufacturing structures in the field of heavy mechanical engineering both in our country

and abroad with the purpose of the further analysis and possible its introduction into practice.

There is presented a development of a new diesel locomotive undercarriage unknown in world practice and supplied with RUKP allowing increasing a diesel locomotive run up to standard values and decreasing costs for diesel locomotive industrial and depot repair works.

Key words: frame, bush, shank, compression spring, rail, lever, stop.

Введение

Пассажирский односекционный тепловоз ТЭП60 (рис.1, 2) с электрической передачей, выпускаемый Коломенским тепловозостроительным заводом, предназначен был для пассажирской службы на отечественной железнодорожной сети.



Рис. 1. Общий вид тепловоза ТЭП60

Силовая установка тепловоза, состоящая из дизель-генератора, расположена в средней части кузова тепловоза. Сам же кузов имеет две кабины управления тепловозом и установлен на двух трёхосных тележках, снабжённых колёсно-моторными блоками (КМБ). Конструкция каждой из

тележек представляет собой жёсткую раму, подпружиненную винтовыми пружинами сжатия относительно КМБ и их буксовых узлов, которые при помощи поводков соединены с рамой тележки. Общий вид такого узла показан на рис. 2 [1,5].



Рис. 2. Буксовый узел тепловоза ТЭП60

Несмотря на свою эффективность использования, указанный тепловоз обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что при его движении в тележках колесных пар относительно геометрического центра образующей дуги рельсового пути и копирования ее последними, происходит повышенный износ гребней колес, а в отдельных случаях возможен и сход тележки с рельс.

В агропромышленном институте и СКБ ЕГУ им. И.А. Бунина совместно с ка-

федрой ЭИЛ МИИТ на протяжении ряда лет проводится бюджетная НИР на тему: «Динамика, прочность и надежность транспортных, строительно-дорожных и сельскохозяйственных машин, а также промышленного стандартного и нестандартного оборудования применительно к Черноземному региону РФ» и, в частности, одному из её разделов посвящены исследования, направленные на повышение надёжности магистральных и промышленных локомотивов.

Методы и анализ объекта исследования

Анализ значительного числа библиографических источников, а также отечественных и зарубежных патентов, позволил разработать на уровне изобретения (RU2606411) техническое решение, направленное на повышение долговечности гребней колёс колёсных пар тепловозов при использовании более совершенного по конструкции РУКП.

Такая конструкция РУКП отличается от известных как отечественных образцов, так и зарубежных тем, что торцевые поверхности букс крайних колесных пар те-

лежки тепловоза в вертикальной их плоскости снабжены прямоугольной формы направляющими с подвижно расположенными в них ответной формы стержнями, причем последние установлены подвижно во втулках, жестко закрепленных на раме тележки. Другие концы закреплены на подпружиненной относительно рамы тележки, поперечно расположенной балке, контактирующей с криволинейной формы упорами, жестко закрепленными на днище кузова тепловоза.

На рис. 3 показана передняя часть тележки локомотива сбоку и принципиаль-

ная схема механизма фиксации колесных пар тележки.

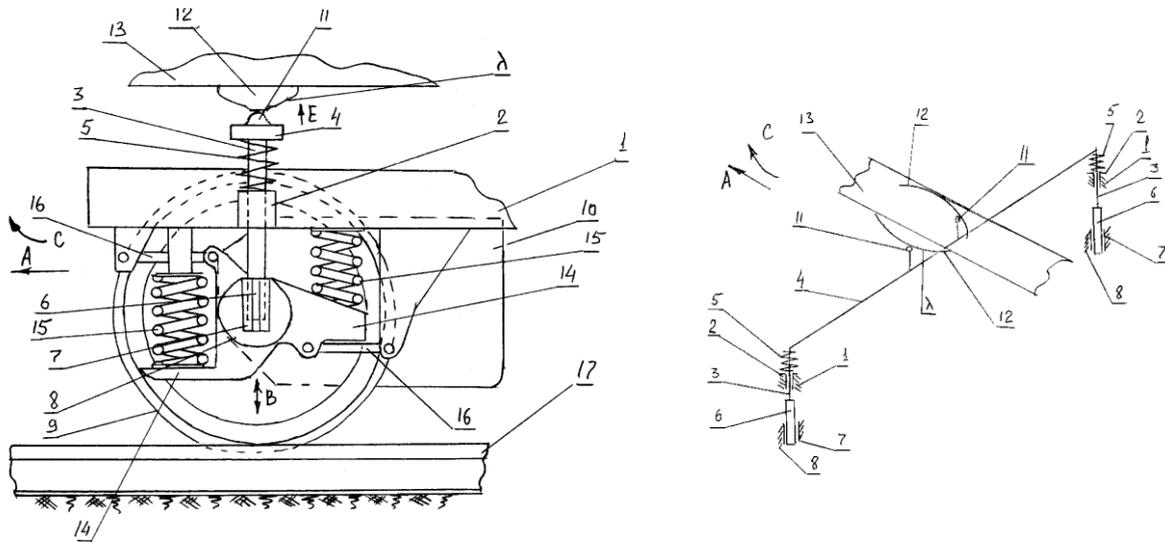


Рис. 3. Конструкция РУКП по патенту RU2606411.

Трехосная тележка локомотива состоит из рамы 1, на которой жестко закреплены втулки 2 и в них подвижно расположены стержни 3. Одни концы стержней 3 закреплены на поперечной балке 4, между ней и втулками 2 расположены винтовые пружины сжатия 5, а другие имеют прямоугольную форму 6 и подвижно размещены в направляющих 7, жестко присоединенных к буксам 8 колесных пар 9, связанных с тяговыми электродвигателями 10. На поперечной балке 4 в средней ее части расположены выступы 11, контактирующие с упорами криволинейной формы 12, установленными на днище 13 кузова локомотива. На крыльях 14 букс 8 размещены рессорные комплекты 15, взаимосвязанные с рамой 1 тележки, сами буксы 8 с помощью поводков 16 также соединены шарнирно с указанной рамой 1. Тележка размещена на рельсовом пути 17.

Работает трехосная тележка локомотива следующим образом. При прямолинейном поступательном движении локомотива (сам локомотив и его тележки, как это бывает в практике, на чертежах не показаны). По стрелке А (рис. 3) при жесткой связи рамы 1 с буксой 8, осуществляемой соединением стержня 3, расположенного во втулке 2, жестко присоединенной к раме 1 тележки, с направляющей 7, по-

следняя совместно с колесной парой 9 и тяговым электродвигателем 10 расположена перпендикулярно продольной оси рельсового пути 17. Иными словами, рессорные комплекты 15 за счет указанной фиксации стержня 3 относительно рамы 1 и буксы 8 являются заблокированы относительно рамы 1 поперечной плоскости, и тем самым обеспечивают устойчивость движения локомотива, исключая колебания виляния тележки. Однако, колебания подпрыгивания колесных пар 9 в вертикальной плоскости тележки, возникающие при преодолении неровностей рельсового пути 17, успешно демпфируются рессорными комплектами 15, так как направляющие 7 букс 8 свободно проскальзывают по стрелкам В по прямоугольной форме 6 концов стержней 3.

Предположим теперь, что локомотив вошел в кривую рельсового пути по стрелке С, что вызовет угловой поворот тележки в эту же сторону, тогда как кузов локомотива такого углового поворота не получит. Но совместно с тележкой повернется в эту же сторону и поперечная балка 4, что позволит при наличии кривизны λ упора криволинейной формы 12 занять такое положение, когда под действием винтовых пружин сжатия 5 поперечная балка 4 переместится в направлении стрелки Е, она

увлечет за собой по этой же стрелке стержень 5, а он, покинув направляющую 7, разблокирует буксы 8 и ее рессорное подвешивание 15. В результате такой разблокировки колесные пары 9, за счет набегания гребней их колес, упруго деформируются в поперечной плоскости рессорные комплекты 15, позволят расположиться колесным парам 9 по радиусу относительно центра траектории кривой рельсового пути 17. Следует отметить, что колесные пары 9, расположенные по торцам не только одной, но и второй тележки локомоти-

Результаты исследования

Анализ конструкции предложенного технического решения показывает, что одним из ответственных его узлов, существенно влияющий на его работоспособность и надёжность, является контактное соединение выступа 11, контактирующее с упорами криволинейной формы 12, установленными на днище 13 кузова локомотива (рис. 3). Известно, что напряжения, возникающие при сжатии двух соприкасающихся тел, называют контактными [2, 3]. Контактные напряжения при статическом нагружении не могут вызвать разрушения, а приводят лишь к возникновению местных пластических деформаций. Однако при повторном действии нагрузок в зоне контакта может появиться трещина, которая, постепенно проникая вглубь детали, приводит к ее разрушению. Особенно нежелательно возникновение больших напряжений смятия между трущимися деталями, так как пластическое деформирование пятна контакта способствует усилению износа [1, 2, 9, 10].

Известно так же, что контактные напряжения играют основную роль при расчете шариковых и роликовых подшипников, зубчатых колес, элементов кулачковых механизмов, колес подвижного состава, шаровых и цилиндрических катков и др. [2].

Нагрузка у таких деталей передается через малые участки поверхности и вызы-

ва, получают такое перемещение, так как все они будут оборудованы подобной конструкцией, которая показана на рис. 3. После прохождения локомотивом кривой рельсового пути 17, колесные пары 9 занимают такое положение, как это было перед поворотом их по стрелке С, причем стержни 5 вновь заблокируют последние и обеспечат требуемую устойчивость движения тележки, исключив её виляние. Далее описанные процессы могут повторяться неоднократно.

вайт в зоне контакта большие контактные напряжения. В нашем случае, где происходит контакт выступа 11 и упора криволинейной формы 12 (см. рис. 3), имеющие криволинейные поверхности, можно принять, что их характеристика взаимодействия идентична взаимодействию двух шаров, и расчётная схема такого взаимодействия представлена на рис. 4.

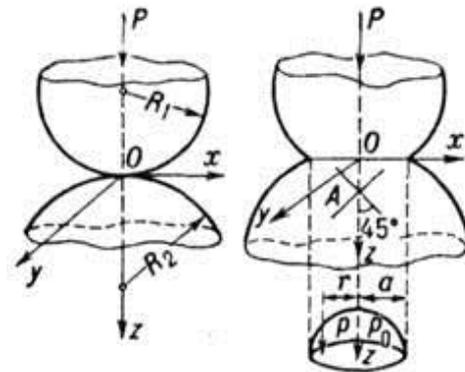


Рис. 4. Расчётная схема по определению контактных напряжений

Так, при сжатии таких поверхностей радиусами R_1 и R_2 силой P в результате местных упругих деформаций образуется площадка контакта диаметром $2a$, при этом радиус такой площадки можно определить по формуле, используя следующие исходные данные: усилие $P=160$ кг, приложенное к стержню 3 (фиг. 3), приведённый радиус кривизны сжатых поверхностей $\rho_{np} = 19,2$ мм и $E_{np} = 2497,6$ кг/см²:

$$a = 1,109 \sqrt[3]{P \frac{\rho_{np}}{E_{np}}} = 1,109 \sqrt[3]{160 \frac{19,2}{2497,6}} = 1,1883 \text{ см} = 11,8 \text{ мм},$$

где, ρ_{np} – приведённый радиус кривизны сжатых поверхностей $\rho_{np} = \rho_1 \rho_2 / (\rho_1 \pm \rho_2)$; E_{np} – приведённый модуль упругости материала $2 E_1 \cdot E_2 / E_1 + E_2$.

Напряжения, возникающие в зоне контакта таких поверхностей, можно определить по формуле [2]:

$$\sigma_{\max} = 0,388 \sqrt[3]{P \frac{E_{np}^2}{\rho_{np}^2}} = 0,388 \sqrt[3]{160 \frac{2497,6^2}{19,2^2}} = 55,7 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq [\sigma] = 750 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Видно, что условие прочности выполнено.

Ещё не менее важным конструктивным элементом предложенного технического решения является винтовая пружина сжатия 5 (рис. 3), поэтому выберем её основные геометрические размеры исходя из того, что рабочей нагрузкой для неё явля-

ется рабочее усилие $P=160 \text{ кг}$. Согласно ГОСТ 18793 – 80 выберем следующие её параметры [1, 6]: наружный диаметр $D_{\text{нар}}=75 \text{ мм}$, диаметр витка $d=10 \text{ мм}$, шаг $t=18 \text{ мм}$, высота пружины $H=125 \text{ мм}$, рабочая нагрузка $P_{\text{раб}}=215 \text{ кг}$, материал сталь 65Г по (ГОСТ 9389-75).

Заключение

Результаты исследования переданы руководству Елецкого участка Белгородского центра ЮВЖД ОАО «РЖД», а так же рекомендуются для широкого изучения и анализа с целью возможного внедрения

как отечественным, так и зарубежным научно-исследовательским и производственным структурам, проектирующим, выпускающим и эксплуатирующим магистральные и промышленные тепловозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкция и динамика тепловозов / под ред. В.Н. Иванова. Изд. 2-е, доп. М.: Транспорт, 1974. 336 с.
2. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. М.: Наука, 1970. 544 с.
3. Тарновский И.Я., Леванов А.Н., Поксеваткин М.И. Контактные напряжения при пластической деформации. М.: Металлургия, 1966. 280 с.
4. Naveen S., Kiran C., Prabhu M. Study on Bogie and Suspension System of an Electric Locomotive (Wap-4)(2014) IJMER, 4, pp. 1-14.
5. Kahnert P. Development and Optimisation of Innovative Running Gear Concepts for An Ultra-High-Speed Train (2015), Stockholm, KTH Royal Institute of Technology.
6. Абрамов Е.Р. Тепловозы серии 2ТЭ116 и их разновидности // Локомотивы и моторвагонный подвижной состав с двигателями внутреннего сгорания отечественных железных дорог. М., Железнодорожное дело, 2015. С. 108-121.
7. Раков В. А. Грузовые тепловозы 2ТЭ116 // Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза 1976-1985. М.: Транспорт, 1990. С. 73-77. ISBN 5-277-00933-7.
8. Раков В. А. Тепловоз 2ТЭ116 и его модификации // Локомотивы отечественных железных дорог 1956 – 1975. Изд. 2-е. М.: Транспорт, 1999. С. 164-166. ISBN 5-277-02012-8.
9. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных по времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
10. Голубятников С.М., Добрин Л.К., Кокорев Л.И. [и др.]. Исследование динамики локомотивов // Тр. ВНИТИ, вып. 30. М.: ВНИТИ, 1967. С. 281-322.
1. *Design and Dynamics of Diesel Locomotives* / under the editorship of V.N. Ivanov. 2-d Edition supplemented. М.: Transport, 1974. pp. 336.
2. Fedosiev V.I., *Resistance of Materials*. М.: Science, 1970. pp. 544.
3. Tarnovsky I.Ya., Levanov A.N., Poksevatkin M.I. Contact stresses at plastic deformation. М.: *Metalurgy*, 1966. pp. 280.
4. Naveen S., Kiran C., Prabhu M. Study on Bogie and Suspension System of an Electric Locomotive (Wap-4)(2014) IJMER, 4, pp. 1-14.

5. Kahnert P. Development and Optimisation of Innovative Running Gear Concepts for An Ultra-High-Speed Train (2015), Stockholm, KTH Royal Institute of Technology.
6. Abramov E.R. Diesel locomotives of 2TE116 series and their kinds // *Diesel Locomotives and Motor Car Rolling-Stock with Internal Combustion Engines of Domestic Railways*. M., Railway Matter, 2015. pp. 108-121.
7. Rakov V.A. *Freight Diesel Locomotives and Motor Car Rolling-Stock of Soviet Railways 1976-1985*. M.: Transport, 1990. pp. 73-77. ISBN 5-277-00933-7.
8. Rakov V.A. 2TE116 diesel locomotive and its modifications // *Diesel Locomotives of Domestic Railways 1956 – 1975*. 2-d Edition. M.: Transport, 1999. pp. 164-166. ISBN 5-277-02012-8.
9. Kogaev V.P. *Strength Calculations at Time Stress Fluctuations*. M.: Mechanical Engineering, 1977. pp. 232.
10. Golubyatnikov S.M., Dobrin L.K., Kokorev L.I. [et al.]. Investigation of Diesel Locomotive Dynamics // *VNITI Proceedings*, issue 30. M.: VNITI, 1967. pp. 281-322.

Ссылка для цитирования:

Сливинский Е.В. Оценка прочности конструктивных элементов перспективного радиального управления колёсными парами тепловоза ТЭП60 // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2020. № 8. С. 33 - 38. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-8-33-38.

Статья поступила в редакцию 10.12.19.

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

Кобищанов В.В.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 22.07.20.

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.