



Динамика тягового привода пассажирских электровозов



Евгений РЫБНИКОВ
Evgeny S. RYBNIKOV

Татьяна ВАХРОМЕЕВА
Tatiana O. VAKHROMEVA



Рыбников Евгений Константинович – кандидат технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Вахромеева Татьяна Олеговна – старший преподаватель кафедры «Электропоезда и локомотивы» МИИТ, Москва, Россия.

Dynamics of Passenger Electric Locomotive Traction Drive

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 254)

Проблемы с креплением тяговых двигателей электровозов угрожают безопасности движения на железных дорогах. Авторы анализируют характер разрушений крепежных болтов и кронштейнов и формулируют ряд рабочих гипотез для выяснения причин. Теоретическая значимость статьи заключается в исследовании соответствия расчетной схемы, применяемой для определения сил, действующих на элементы опорной конструкции, реальным реакциям, возникающим в опорах. Особое внимание уделено появлению возможных периодических возмущений в тяговом приводе от муфты с учетом гироскопических моментов, возникающих при ее вращении. На основе динамических расчетов сделаны выводы о причинах разрушений креплений и о том, какая схема крепления тягового двигателя к раме тележки является рациональной, прежде всего – с учетом высокоскоростных режимов.

Ключевые слова: железная дорога, безопасность, крепление тяговых двигателей, система «рама тележки–тяговые двигатели», динамический анализ, гироскопические моменты муфты, разбалансировка муфты, статически неопределимая схема крепления.

Компоненты механической части тягового привода локомотивов могут добавлять значительную неподрессоренную массу, если на колесной паре находится, например, тяговый двигатель.

На скоростных пассажирских электровозах с целью снижения неподрессоренной массы применяют тяговый привод с опорно-осевым редуктором и рамным тяговым двигателем (привод класса II по классификации проф. И. В. Бирюкова).

Привод класса II по своей схеме является кинематически несовершенным по уровню динамических нагрузок в кинематической цепи «ротор тягового двигателя – редуктор – колесная пара» [1].

Для снижения динамических нагрузок в эту кинематическую цепь вводят упругий элемент в виде различных по конструкции тяговых муфт, которые снижают паразитные динамические моменты. Этот класс тягового привода широко применяется на скоростных локомотивах и даже распространяется на высокоскоростной подвижной состав – скоростные и высокоскоростные электропоезда.

До недавнего времени на эксплуатируемых электровозах в этих приводах не-

исправности появлялись только в тяговых редукторах и муфтах из-за некачественного ремонта [2, 3].

Основной компонент тягового привода – тяговый двигатель находился на подпрессоренной части рамы тележки и не имел, как правило, неисправностей по механической части.

При появлении на сети железных дорог ОАО «РЖД» новых скоростных пассажирских электровозов с асинхронными тяговыми двигателями на две системы рода тока появились разрушения креплений тяговых двигателей к раме тележки.

Эти электровозы в силу своих технических возможностей эксплуатировались на длинных плечах и со скоростями до 140 км/ч при конструкционной скорости 160 км/ч.

После нескольких случаев разрушения болтов крепления и опускания тяговых двигателей на ось колесной пары были ограничены длина эксплуатационных плеч и соответственно скоростной диапазон с целью снижения риска появления таких неисправностей [4].

Характер разрушения крепежных болтов и кронштейнов имеет признаки малоциклового усталости. Это позволяет заключить, что сначала происходят ослабления болтовых соединений, затем в процессе движения – произвольные перемещения тягового двигателя, которые разрушают опорные кронштейны с последующим падением двигателя на ось колесной пары [5].

Для выяснения причин ослабления креплений был выдвинут ряд рабочих гипотез.

Первая связывалась с динамической системой «рама тележки – тяговые двигатели», в которой возникают резонансные режимы, приводящие к ослаблению элементов креплений тяговых двигателей.

Вторая – с существованием возмущений, вызывающих резонансные колебания двигателей.

Третья относилась к появлению пульсаций электромагнитного момента асинхронного тягового двигателя, способствующих ослаблению креплений.

Проведенные совместно с ВЭЛНИИ ходовые испытания двух электровозов по

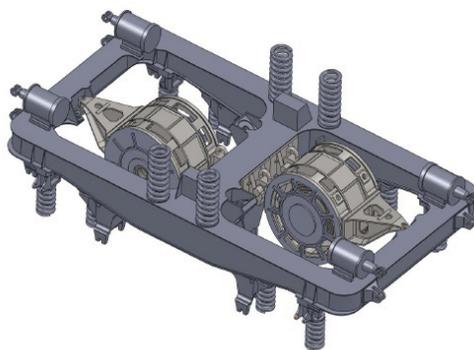


Рис. 1. Расчетная геометрическая модель системы «двигатели – рама тележки – рессорное подвешивание».

выявлению причин ослабления креплений тяговых двигателей показали:

– в динамической системе «тяговые двигатели – рама тележки» существуют собственные частоты колебаний 50 и 52 Гц, которые связаны с вертикальными и поперечными колебаниями тягового двигателя. Эти частоты были определены экспериментально методом удара [6];

– при скоростях движения электровоза 40–60 км/ч зафиксированы повышенные пульсации электромагнитного момента, передающиеся на корпус двигателя.

После замены программного обеспечения в системе автоматического управления электровозом пульсации были устранены, и тем самым отпала необходимость проверять третью рабочую гипотезу.

При разработке первой рабочей гипотезы были созданы расчетная геометрическая (рис. 1) и конечно-элементная модели системы «тяговые двигатели – рама тележки – рессорное подвешивание».

Затем проведен кинематический и силовой анализ схемы подвешивания тяговых двигателей к раме тележки.

Подвешивание тягового двигателя к раме осуществлялось по классической «трехточечной схеме», в которой реакции в опорах от действия вертикальных нагрузок определяются тремя уравнениями статики, и схема является статически определимой.

Анализ конструктивного выполнения опорных креплений тягового двигателя на раме показал, что обычно принимаемая статически расчетная схема не соответствует заданной конструкции.

Конструкции опор фактически представляют собой жесткие «заделки», в кото-



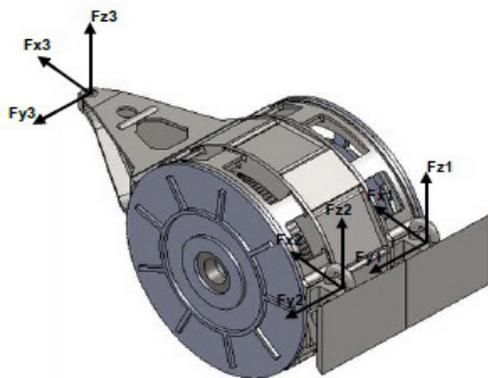


Рис. 2. Силы реакции в опорных узлах креплений тягового двигателя к раме тележки.

рых возникает в общем случае минимум по три реакции (рис. 2).

Выполненный динамический анализ исследуемой системы с проектной конструкцией опор крепления тяговых двигателей заключался в подробном вычислении собственных частот и форм колебаний [7].

На рис. 3 показана одна из форм колебаний динамической системы на частоте 50 Гц. Как видно из рисунка, большой кронштейн тягового двигателя подвергается изгибно-крутильным деформациям. Аналогичные деформации происходят и при других формах колебаний. Такие деформации способствуют ослаблению болтового крепления кронштейна на раме

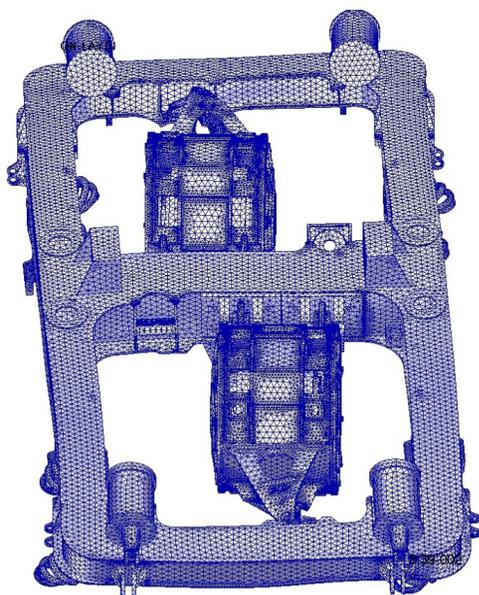


Рис. 3. Форма колебаний рамы тележки и двигателей при частоте 50 Гц.

тележки.

Анализ данных эксплуатации электровоза подтверждает этот факт — ослабление и разрушение опор двигателя начинаются с ослабления именно большого кронштейна.

Динамический анализ модернизированной схемы крепления тягового двигателя с устройством цилиндрической скользящей опоры показал, что форма колебаний динамической системы с частотой 50 Гц устраняется.

На рис. 4 представлены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) вертикальных ускорений опор тягового двигателя при возмущениях, действующих на корпус тягового двигателя.

Как следует из анализа АЧХ, собственные частоты в диапазоне 50–60 Гц отсутствуют, а нагружение опор на других частотах практически равномерное.

Согласно второй рабочей гипотезе был выполнен анализ спектров ускорений, полученных при ходовых испытаниях на корпусе тягового двигателя. Выявлены частоты, которые коррелировали с частотами вращения ротора тягового двигателя.

Для передачи вращения от ротора тягового двигателя к редуктору в тяговых приводах класса II используются карданные тяговые муфты, состоящие из двух полу-муфт и карданного торсионного вала.

В рассматриваемом тяговом приводе применена тяговая муфта, состоящая из торсионного вала, на концах которого имеются зубчатая полу-муфта и пластинчатая резинокордная полу-муфта [8–10].

Было выполнено исследование на вероятность появления возможных периодических возмущений при работе этой муфты с учетом гироскопических моментов, возникающих при ее вращении [6].

Исследования режима разгона электровоза, при котором муфта раскручивается от 0 до 2000 об./мин показали, что при частоте вращения муфты 1000 об./мин (соответствует скорости движения электровоза 100–110 км/ч) резинокордная пластинчатая полу-муфта теряет устойчивость. При этом резинокордные пластины изменяют форму, из-за чего, как свидетельствуют данные эксплуатации, происходит вытягивание пластин и креплений («выпучивание оболочки»). Фактически наступает разбалансировка муфты,

и появляются периодические возмущения, передающиеся на корпус [11–13].

В результате выполненного исследования выявлены следующие причины разрушения опорных креплений тяговых двигателей пассажирского электровоза со вторым классом тягового привода:

– схема подвешивания тягового двигателя к раме тележки является статически неопределимой из-за конструктивного исполнения элементов крепления;

– при эксплуатации электровозов со скоростями движения свыше 100–110 км/ч происходит разбалансировка тяговой муфты с резинокордной полумуфтой, что создает периодические возмущения, вызывающие вибрации тягового двигателя и способствующие ослаблению креплений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков И. В., Савоськин А. Н., Бурчак Г. П. и др. Механическая часть тягового подвижного состава: учебник / Под ред. И. В. Бирюкова – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.

2. Рыбников Е. К. Исследование динамических качеств тягового привода электропоездов / Дис... канд. техн. наук. – М., 1973. – 188 с.

3. Соколов Ю. Н. Исследование муфт с торообразным резинокордным элементом для силовых приводов локомотивов / Дис... канд. техн. наук. – Коломна, 1972. – 210 с.

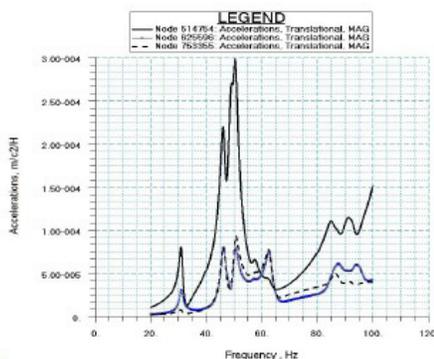
4. Бирюков И. В. Анализ особенностей электро-механических процессов в тяговом приводе электро-возов двойного питания по результатам их опытной эксплуатации и разработка рекомендаций по исключению ослабления креплений в тяговом приводе перспективных электровозов ЭП20: отчет о НИР. – М.: МИИТ, 2008. – 216 с.

5. Рыбников Е. К., Мочалова Т. О. Причины разрушения креплений тяговых двигателей в тележках электровозов ЭП10 // Безопасность движения поездов: Труды XIII научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2012. – Ч. 5. – С. 25.

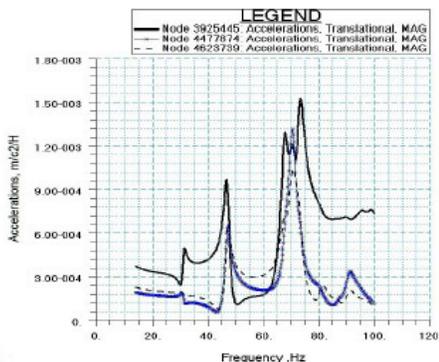
6. Вахромеева Т. О. Разработка математической модели тяговой муфты для исследования крутильных колебаний // Инновации и инвестиции. – 2013. – № 5. – С. 183.

7. Динамический анализ. Базовый курс. Руководство пользователя MSC Nastran. Версия 69: Пер. с англ. / Под ред. В. В. Макеева. – М.: Центр высоких технологий в машиностроении, 2007. – 313 с.

8. Соколов Ю. Н., Пономарев А. С., Дегтярев В. Е. Повышение надежности узлов тягового



а)



б)

Рис. 4. АЧХ вертикальных ускорений в точках крепления тягового двигателя к раме тележки: а) штатное выполнение креплений; б) крепление двигателей с применением скользящей цилиндрической опоры на концевой балке рамы тележки.

привода пассажирских электровозов ЭП1М и ЭП10 / Локомотив-информ. – 2010. – № 6. – С. 4–11.

9. Оболочка резинокордная 645X315 модель Н-327 для высокоэластичной муфты. Паспорт ИТ 4400.00.000 ПС, 1989. – 7 с.

10. Оболочка резинокордная 645X315 модель Н-327 для высокоэластичной муфты. Технические условия ТУ38.504253–90. Омское НПО «Прогресс», 1990. – 11 с.

11. Расчет собственных частот и критических скоростей трехмерной модели ротора в MSC Nastran с использованием стандартизированной DMAP процедуры Rotordynamics. Методическое пособие. MSC Software Corporation, 2009. – 53с.

12. Genta, G. Vibration Dynamics and Control. – Springer, 2009, 856 p.

13. Диментберг Ф. М. Изгибные колебания вращающихся валов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 248 с.

Координаты авторов: **Рыбников Е. К.** – rek40@mail.ru, **Вахромеева Т. О.** – vakhromeeva.tatiana@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 22.12.2014, актуализирована 20.10.2015, принята к публикации 21.10.2015.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20–21 марта 2014 года).



*Rybnikov, Evgeny C., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.
Vakhromeeva, Tatiana O., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

Problems with mounting of electric locomotive traction motors threaten railway safety. The authors analyze the nature of destruction of fastening bolts and brackets, and formulate a number of working hypotheses explaining causes of destruction. The theoretical significance of the article is to examine the conformity of a design scheme used to determine forces acting on elements of the supporting struc-

ture, with actual reactions occurring in the bearings. Particular attention is paid to possible emergence of periodic disturbances in traction drive from clutch taking into account gyroscopic moments, occurring when it is rotating. On the basis of dynamic calculations conclusions are suggested about the causes of destruction of mounts and about what scheme of traction motor fastening to the bogie frame is rational, especially for high-speed modes.

Keywords: railway, safety, mounting of traction motors, system «bogie frame – traction motors», dynamic analysis, clutch gyroscopic moments, clutch imbalance, statically indeterminate mounting scheme.

Background. Components of mechanical part of locomotive traction drive can contribute significantly to the increase of the unsprung mass, if on a wheel set, for example, a traction motor is located.

On high-speed passenger electric locomotives in order to reduce unsprung weight a traction drive is applied with supporting axial gear and frame traction motor (drive of class II according to classification of professor I. V. Biryukov).

Drive of class II according to his scheme is cinematically imperfect in terms of dynamic loads in the kinematic chain «traction motor rotor – gearbox – wheel set» [1].

To reduce dynamic loads a resilient element is introduced into the kinematic chain in a form of various by structures traction clutches, which reduce artificial dynamic moments. This class of traction drive is widely used in high-speed locomotives, and even extends to high-speed rolling stock – speed and high-speed electric trains.

Until recently, with regard to operated electric locomotives malfunctions appeared in these drives only in traction gearboxes and clutches due to poor repair [2, 3].

Objective. The objective of the authors is to study traction drive dynamics of passenger electric locomotives, and some particular problems of mounting of traction motors.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, simulation.

Results. The main component of a traction drive, that is traction motor, was located on the sprung part of the bogie frame and did not usually have mechanical malfunctions.

When new high-speed passenger electric locomotives with asynchronous traction motors and purposed to use two systems of current appeared, destruction of traction motors fastenings to the bogie frame began to occur.

These electric locomotives due to their technical capabilities were operated on long hauls and with speeds up to 140 km/h while the design speed was 160 km/h.

After several cases of destruction of fastening bolts and descending of traction motors on the wheel set axle, the length of operational hauls was limited and respectively speed range was limited as well to reduce a risk of occurrence of such faults [4].

The nature of destruction of fastening bolts and brackets shows signs of low cycle fatigue. This suggests that after first weakening of bolted connections

random movements of the traction motor occur, destroying support brackets, followed by the fall of the motor axle on the wheel set [5].

To clarify the reasons for weakening of mounts, a number of working hypotheses was offered.

The first one was associated with a dynamic system «bogie frame – traction motors», in which resonant modes arise, leading to weakening of elements of traction motors fastening.

The second one was associated with existence of disturbances that cause resonant vibrations of engines.

The third one referred to appearance of fluctuations of electromagnetic torque of asynchronous traction motor, facilitating weakening of fastenings.

Carried out in cooperation with All-Russian Research and Design Institute for Electric Locomotive Building (hereinafter – VELNII) running tests of two locomotives, intended to identify the causes of weakening of traction motors fastenings have shown:

- in the dynamic system «traction motors – bogie frame» own vibration frequencies of 50 Hz and 52 Hz exist which are associated with vertical and transverse vibrations of the traction motor. These frequencies were determined experimentally by an impact method [6];

- at speeds of 40–60 km/h increased fluctuations of electromagnetic torque, transmitted to the motor housing, were recorded.

After changing the software in the electric locomotive automatic control system fluctuations were eliminated, and thus there was no need to check the third working hypothesis.

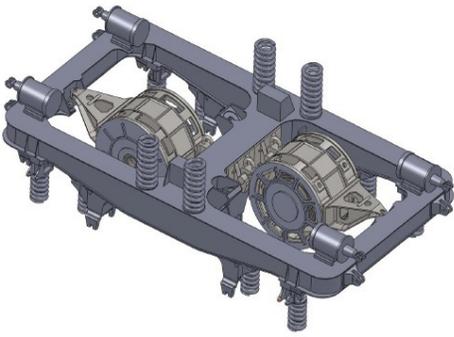
When designing the first working hypothesis geometric (Pic. 1) and finite element models of the system «traction motors – bogie frame – spring suspension» were created.

Then kinematic and power analysis of the scheme of traction motors suspension to the bogie frame were conducted.

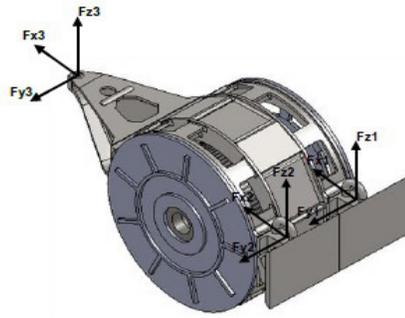
Suspension of the traction motor to the frame was carried out by the classical «three-point scheme» in which responses in the bearings from the action of vertical loads are defined by three equations of statics, and the scheme is statically determinate.

Analysis of structural embodiment of the traction motor bearing mounts on the frame showed that the usually assumed as statically determinate, the design scheme does not correspond to design structure.

Construction of supports is actually hard «seals», in which generally minimum three reactions occur (Pic. 2).



Pic. 1. Design geometric model of the system «traction motors – bogie frame – spring suspension».



Pic. 2. Reaction forces in support units of the traction motor mounts to the bogie frame.

Dynamic analysis of the system with project design of fastening supports of traction motors includes detailed computation of natural frequencies and forms of oscillations [7].

Pic. 3 shows one form of dynamic system oscillations at a frequency of 50 Hz. As can be seen, a big bracket of the traction motor is subjected to flexural-torsional deformations. Similar deformations occur in other forms of vibrations. These deformations facilitate weakening of bolt fastening of the bracket on the bogie frame.

An analysis of electric locomotive operating data confirms this fact – weakening and destruction of engine supports begin with weakening of this big bracket.

Dynamic analysis of the upgraded fastening scheme of the traction motor with a cylindrical sliding support showed that the form of oscillations of the dynamic system with the frequency of 50 Hz is eliminated.

Pic. 4 shows amplitude-frequency characteristics of vertical accelerations of bearings of the traction motor at disturbances acting on the traction motor housing.

An analysis of the frequency response shows, that natural frequencies in the range 50–60 Hz are absent, and loading of supports at other frequencies is almost uniform.

According to the second working hypothesis the analysis of the spectra of accelerations, measured on traction motor housing during running tests on, was conducted. Frequencies were identified which correlated with the rotor speed of the traction motor.

To transmit rotation from the traction motor rotor to the gearbox in traction drives of class II cardan traction clutches are used consisting of two semi-clutches and cardan torsion shaft.

In the considered traction drive traction clutch is applied consisting of a torsion shaft, on the ends of which there are a gear semi-clutch and a laminose rubber-cord semi-clutch [8–10].

A study on the probability of occurrence of periodic disturbances during operation of this clutch, taking into account gyroscopic moments, occurring when it is rotating, was conducted [6].

Research of mode of electric locomotive acceleration at which the clutch spins at from 0 to 2000 rpm showed that at a clutch speed of 1000 rpm (corresponding to the speed of an electric locomotive of 100–110 km/h) rubber-cord laminose semi-clutch loses stability. At the same time rubber-cord plates change shape, because of which, as the operation data show, stretching of plates and fasteners occurs

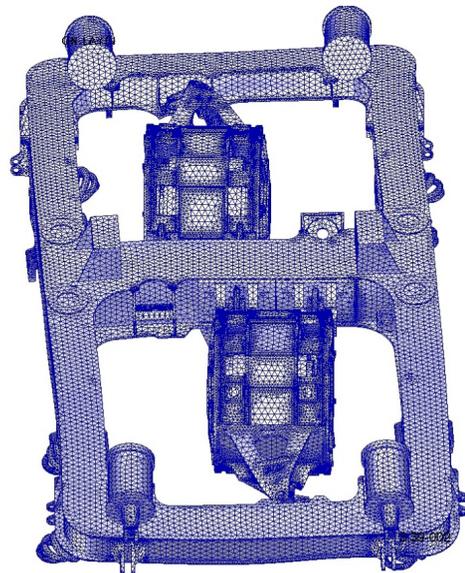
(«casing shell buckling»). In fact, clutch imbalance occurs, and there are periodic perturbations transmitted to the housing [11–13].

Conclusion. As a result of the study the following causes of destruction of support mounts of traction motors of passenger electric locomotive with a second class of traction drive were revealed:

- scheme of traction motor suspension to the bogie frame is statically indeterminate because of the embodiment of fasteners;
- if electric locomotives are operated at a speed exceeding 100–110 km/h, then the relationship between traction clutch drive and rubber-cord semi-clutch is unbalanced, and this factor creates periodic disturbance, causing vibrations of the traction motor, and facilitating weakening of fastenings.

REFERENCES

1. Biryukov, I. V., Savoskin, A. N., Burchak, G. P. [et al]. Mechanical part of traction rolling stock: textbook [Mehanicheskaja chast' tjazhovogo podvizhnogo sostava: uchebnik]. Ed. by I. V. Biryukov. Moscow, Transport publ., 1992, 440 p.



Pic. 3. Form of oscillations of bogie frame and motors at frequency of 50 Hz.



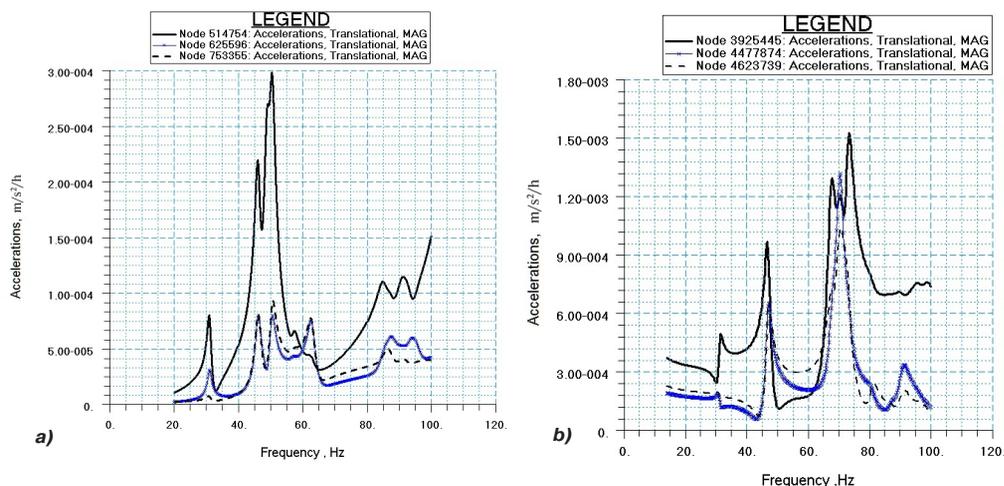


Fig. 4. Frequency response of vertical accelerations at points of the traction motor fastening to the bogie frame: a) standard fastening; b) engine mounting using sliding cylindrical support on the end beam of the bogie frame.

2. Rybnikov, E. C. Research on dynamic characteristics of electric train traction drive [*Issledovanie dinamicheskikh kachestv tzhagovogo privoda elektropoezdov*]. Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, Transport publ., 1973, 188 p.

3. Sokolov, Yu. N. Research of clutches with toroidal rubber-cord element for actuators of locomotives [*Issledovanie muft s torobraznym rezinokordnym elementom dlja silovyh privodov lokomotivov*]. Ph.D. (Eng.) thesis. Kolomna, 1972, 210 p.

4. Biryukov, I. V. Analysis of features of electromechanical processes in electric locomotive traction drive of double power as a result of their trial operation and development of recommendations to eliminate weakening of fastenings in traction drive of advanced electric locomotive EP20: research report [*Analiz osobennostej elektromechanicheskikh processov v tzhagovom privode elektrovozov dvojnogo pitaniya po rezul'tatam ih opytnoj eksploatacii i razrabotka rekomendacij po iskljucheniju oslablenija krepjenij v tzhagovom privode perspektivnyh elektrovozov EP20: otchet o NIR*]. Moscow, MIIT publ., 2008, 216 p.

5. Rybnikov, E. C., Mochalova, T. O. Causes of destruction of traction motor fastenings in bogies of electric locomotives EP10 [*Prichiny razrushenija krepjenij tzhagovyh dvigatelej v telezhkah elektrovozov EP10*]. Traffic safety: Proceedings of XIII scientific-practical conference. Moscow, MIIT publ., 2012, Part 5, p. 25.

6. Vakhromeeva, T. O. Development of traction clutch mathematical model to study torsional vibrations [*Razrabotka matematicheskoy modeli tzhagovoy mufty dlja issledovaniya krutit'nyh kolebanij*]. *Innovacii i investicii*, 2013, Iss. 5, p. 183.

7. Dynamic Analysis. Basic Course. User guide. MSC Nastran version 69 [*Dinamicheskij analiz. Bazovyy kurs*].

Rukovodstvo pol'zovatelya MSC Nastran Versija 69. Transl. from English. Ed. by V. V. Makeev. Moscow, Centre for High Technology in Mechanical Engineering, 2007, 313 p.

8. Sokolov, Yu. N., Ponomarev, A. S., Degtyarev, V. E. Improving reliability of traction drive units of passenger electric locomotives EP1M and EP10 [*Povyshenie nadezhnosti uzlov tzhagovogo privoda passazhirskih elektrovozov EP1M i EP10*]. *Lokomotiv-inform*, 2010, Iss. 6, pp. 4–11.

9. Rubber-cord casing 645X315. Model H-327 for highly flexible clutch. Passport IT 4400.00.000 PS [*Obolochka rezinokordnaja 645H315 model' N-327 dlja vysokoelastichnoj mufty. Paspport IT 4400.00.000 PS*], 1989, 7 p.

10. Rubber-cord casing 645X315. Model H-327 for highly flexible clutch. Technical standards TU38.504253–90 [*Obolochka rezinokordnaja 645H315 model' N-327 dlja vysokoelastichnoj mufty. Tehnicheskie uslovija TU38.504253–90*]. Omsk SPA «Progress», 1990, 11 p.

11. Calculation of natural frequencies and critical speeds of three-dimensional model of the rotor in MSC Nastran using standardized DMAP procedure Rotordynamics. Study guide [*Paschet sobstvennyh chastot i kriticheskikh skorostej trehmernoj modeli rotora v MSC Nastran c ispol'zovaniem standartizirovannoj DMAP procedury Rotordynamic*]. MSC Software Corporation, 2009, 53p.

12. Genta, G. *Vibration Dynamics and Control*. Springer, 2009, 856 p.

13. Dimentberg, F. M. Bending oscillations of rotating shafts [*Izhibnye kolebanija vrashhajushhihsja valov*]. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1959, 248 p. ●

Information about the authors:

Rybnikov, Evgeny C. – Ph.D. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, rek40@mail.ru.

Vakhromeeva, Tatiana O. – senior lecturer of the department of Electric trains and locomotives of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, vakhromeeva.tatiana@yandex.ru.

Article received 22.12.2014, revised 20.10.2015, accepted 21.10.2015.

The article is based on the papers, presented by the authors at the International scientific and practical conference «Rolling stock's Design, Dynamics and Strength», dedicated to the 75th anniversary of V. D. Husidov, held in MIIT University (March, 20–21, 2014).

T

РЕЛЬСОВАЯ ВОЙНА 258

Мобильность – залог победы.



ПРЕСС-АРХИВ 270

Генерал «повёз пассажиров в наступление».

РЕТРОСПЕКТИВА 274

Крым – Кавказ: третий век проекты сменяют друг друга...

RAIL WAR 258

Mobility guarantees the victory.

NEWS FROM THE... ARCHIVES 270

The general drove the passengers into the attack.

RETROSPECTIVE VIEW 274

Crimea – Caucasus: projects have been alternating for three centuries...



КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL

