

**Информация об авторах****Authors**

Губарев Павел Валентинович – к. т. н., доцент кафедры тягового подвижного состава, Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, e-mail: pavel.gybarev@yandex.ru

Глазунов Дмитрий Владимирович – к. т. н., доцент кафедры тягового подвижного состава, Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, e-mail: glazunovdm@yandex.ru

Шапшал Александр Сергеевич – к. т. н., доцент кафедры тягового подвижного состава, Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, e-mail: llh@rgups.ru

Pavel Valentinovich Gubarev – Ph.D. in Engineering Science, the Subdepartment of Traction Rolling Stock, Rostov State Transport University, Rostov-on-don, e-mail: pavel.gybarev@yandex.ru

Dmitrii Vladimirovich Glazunov – Ph.D. in Engineering Science, the Subdepartment of Traction Rolling Stock, Rostov State Transport University, Rostov-on-don, e-mail: glazunovdm@yandex.ru

Aleksandr Sergeevich Shapshal – Ph.D. in Engineering Science, the Subdepartment of Traction Rolling Stock, Rostov State Transport University, Rostov-on-don, e-mail: llh@rgups.ru

Для цитирования**For citation**

Губарев П.В. Исследование ресурса полупроводниковых приборов преобразователей электровозов / П.В. Губарев, Д.В. Глазунов, А.С. Шапшал // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 112–119. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).112–119

Gubarev P. V., Glazunov D. V., Shapshal A. S. Issledovanie resursa poluprovodnikovyykh priborov preobrazovatelei elektrovozov [Research on the resource of semiconductor converters of electric locomotives]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 112–119. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).112–119

УДК 621.33

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).119–126

И. О. Лобыцин, Е. Ю. Дульский, Е. А. Милованова, А. А. Пыхалов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 18 мая 2019 г.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОЖУХОВ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОВОЗА СЕРИИ «ЕРМАК»

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы надежности механической части при эксплуатации электровозов серии «Ермак». Предметом исследования стал узел механической части электровоза серии «Ермак» – кожух зубчатой передачи в металлическом исполнении. Расположение кожуха зубчатой передачи на электровозе определяет условия его эксплуатации, при которых высокий уровень внешних нагрузок неизбежен. Одним из основных параметров, определяющих техническое состояние кожуха, является целостность поверхности кожуха зубчатой передачи. Анализ поврежденных элементов конструкции кожуха зубчатой передачи показал, что их максимальное число приходится на образование трещин в узлах крепления кожуха к кронштейнам остова тягового электродвигателя, которые могут привести к частичному или полному разрушению кожуха зубчатой передачи, а также повреждению колесно-моторного блока в целом. В случае образования трещин на поверхности кожуха происходит его отправка на неплановый ремонт. В ходе исследований получены картины распределения напряжений на поверхности кожуха в районе узла крепления. Для предотвращения образования трещин на кожухе зубчатой передачи предложены различные варианты исполнения модифицированных узлов крепления, которые подвергались оценке напряженного состояния. По результатам оценки напряженного состояния кожуха зубчатой передачи был выбран оптимальный вариант исполнения узла крепления кожуха, который позволит снизить количество неплановых ремонтов и повысить надежность подвижного состава в целом. Статья представляет интерес для специалистов в области ремонта и технического обслуживания механической части электроподвижного состава железных дорог.

Ключевые слова: анализ надежности, механическая часть электровоза, напряженно-деформированное состояние, кожух зубчатой передачи.

I. O. Lobytsin, E. Y. Dulskiy, E. A. Milovanova, A. A. Pykhalov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: May 18, 2019

ASSESSMENT OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE GEAR TRANSMISSION CASINGS OF AN ELECTRIC LOCOMOTIVE OF THE ERMAK SERIES



Abstract. The article deals with the problems of reliability of the mechanical part during the operation of electric locomotives of the Ermak series. The subject of the study is the mechanical part of the electric locomotive of the "Ermak" series – the gear transmission casing (GTC) in metal version. The location of the gear transmission casing on the locomotive determines its operating conditions, under which a high level of external loads is inevitable. One of the main parameters that determine the technical condition of the casing is the integrity of the surface of the gear transmission casing. Analysis of the damage to the components of the gear transmission casing has shown that their maximum number is due to the formation of cracks in the casing attachment points to the brackets of the traction motor frame that can result in partial or complete destruction of the gear transmission casing and damage to the wheel-motor unit as a whole. In case of cracks on the casing surface, it is sent to an unscheduled repair. In the course of the studies, the authors obtained patterns of stress distribution on the surface of the casing near the attachment site. To prevent the formation of cracks on the gear transmission casing, various variants of modification of the modified attachment assemblies of the GTC were proposed, which were subjected to the evaluation of the stressed state. Based on the results of the evaluation of the GTC stressed state, the optimal version of the casing attachment assembly was chosen, which will allow reducing the number of unplanned repairs and increasing the reliability of the rolling stock as a whole. The article is of interest to specialists in the field of repair and maintenance of the mechanical part of the rolling stock of railways.

Keywords: reliability analysis, mechanical part of an electric locomotive, stress-strain state.

Введение

На протяжении многих лет основным элементом железнодорожной инфраструктуры, определяющим ее эксплуатационные показатели, является локомотив. Именно данный вид тягового подвижного состава должен удовлетворять многочисленным требованиям и нормам. В большей степени внимание уделяется требованиям к преодолению сильных нагрузок и развитию высоких скоростей. Для решения поставленных задач требуются высокотехнологические конструктивные элементы, основными из которых считаются элементы механической части. В статье приведен анализ напряженно-деформированного состояния наиболее слабых, с точки зрения надежности, элементов механической части электровозов на примере кожуха зубчатой передачи (КЗП), а именно, узлов крепления кожуха к кронштейнам остова тягового электродвигателя (ТЭД), так как это место наиболее частого образования трещин (рис. 1).

Практическая ценность заключается в том, что приведены данные по одному из самых распространенных электровозов, эксплуатируемых на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) и приписанных к ст. Вихоревка – «Ермак».

Оценка напряженно-деформированного состояния кожуха зубчатой передачи

Для решения задачи оценки напряженно-деформированного состояния КЗП в первую очередь необходимо знать конкретные числовые значения усилий, действующих на конструкцию [1]. В связи с этим выполняется расчет сил, реализуемых в определенное время, а именно, значение силы реакции G (рис. 2).

Сила реакции G рассчитывается при скорости трогания с места 0 км/ч, скорости длительного режима работы электровоза 51 км/ч и при конструкционной скорости 110 км/ч. При этом сцепной вес электровоза «Ермак», приходящийся на одну ось согласно данным эксплуатационной книги, состав-



Рис. 1. Места наиболее частого образования трещин в районе узла фиксации кожуха зубчатой передачи остова тягового электродвигателя

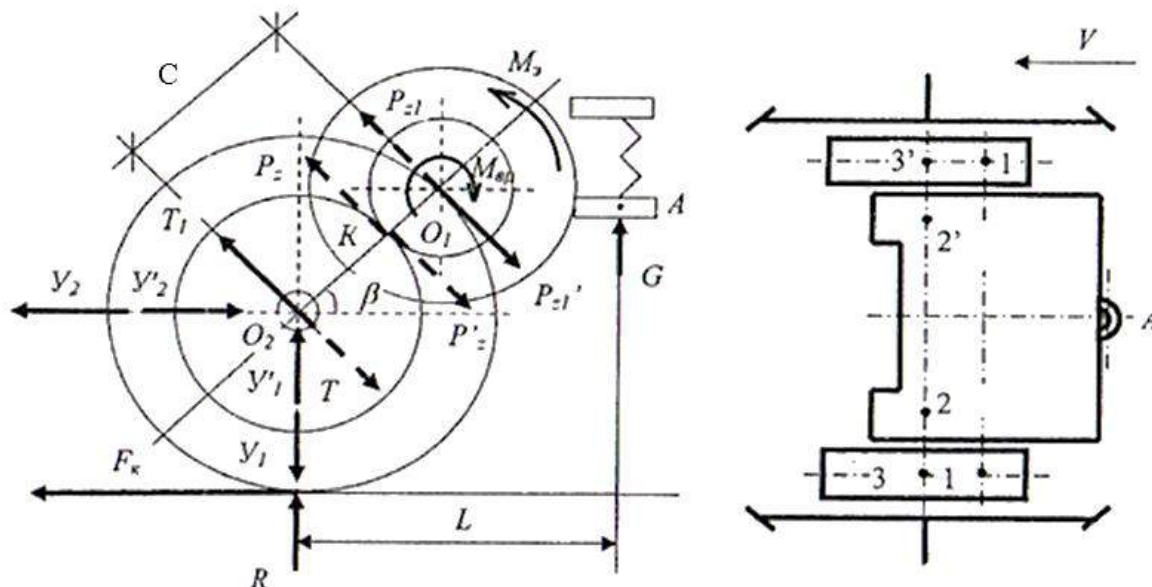


Рис. 2. Силы, действующие на элементы тягового привода I класса локомотивов

ляет 235 кН. Движение происходит на участке со звеньевым профилем без кривых и уклонов.

Поскольку нагрузка, связанная с реализацией силы тяги, является полезной, стремятся повысить ее значение до значения, предельного по сцеплению, на что и должна быть рассчитана передача [2, 3]. Наибольшее значение касательной силы тяги F_k каждой колесной пары считается по формуле (1):

$$F_k = \varphi_{сц} \cdot P_{сц}^k, \quad (1)$$

где $\varphi_{сц}$ – расчетный коэффициент сцепления; $P_{сц}^k$ – нажатие колеса на рельс, 117,5 кН.

Расчетный коэффициент сцепления рассчитывается по формуле (2):

$$\varphi_{сц} = 0,28 + \frac{3}{50 + 20V} - 0,0007V, \quad (2)$$

$$P_z = \frac{F_k \cdot R_k}{R_{бзк}}, \quad (3)$$

где R_k – радиус круга катания колеса колесной пары (0,625 м); $R_{бзк}$ – радиус большого колеса (0,44 м); P_z – проекция на перпендикуляр к централи силы, действующей в контакте зубчатых колес по линии зацепления.

Сила реакции в элементах подвески КМБ G рассчитывается по формуле (4):

$$G = \frac{2P_z(C - R_{ш})}{L}, \quad (4)$$

где L – база подвешивания тягового двигателя, 0,944 м; C – централь зубчатой передачи, 0,604 м; $R_{ш}$ – радиус малой шестерни, 0,105 м.

Для определения силы реакции G_k , приходящейся на КЗП от остова ТЭД, необходимо определить коэффициент отношения массы ТЭД НБ-514 к массе КЗП электровоза серии «Ермак» по формуле (5):

$$K = \frac{M_{тэд}}{K_{кзп}}, \quad (5)$$

где K – коэффициент отношения масс ТЭД и КЗП; $M_{тэд}$ – масса ТЭД, 4280 кг; $M_{кзп}$ – масса КЗП, 148 кг.

Расчет искомой величины G_k производится по формуле (6):

$$G_k = \frac{G}{K}, \quad (6)$$

где G_k – сила реакции в элементах подвески КМБ, приходящаяся на КЗП, кН.

Так как направление силы G_k строго вертикально, а КЗП располагается под углом 30° (см. рис. 1), следовательно, необходимо разбить величину G_k на две составляющие G_{kx} и G_{ky} , по оси X и Y соответственно, расчет производится по формулам (7) и (8):

$$G_{kx} = G_k \cdot \sin 30^\circ, \quad (7)$$

$$G_{ky} = G_k \cdot \cos 30^\circ, \quad (8)$$

Т а б л и ц а 1

Результаты расчетов величины реакции G

Скорость, км/ч	0	51	110
Реакция G , кН	60	43,6	35,3
Составляющая G_{kx} , кН	1,038	0,754	0,610
Составляющая G_{ky} , кН	1,798	1,306	1,057



где G_{Kx} – составляющая силы G_K по оси X , кН; G_{Ky} – составляющая силы G_K по оси Y , кН (табл. 1)

Следующим этапом является создание трехмерной твердотельной модели КЗП электровоза (рис. 3) с целью последующей оценки напряженно-деформированного состояния расчетной модели методом конечных элементов (МКЭ) [4, 5]. Для создания расчетной модели, которая должна отражать основные параметры моделируемой детали, но при этом быть максимально простой для применения МКЭ в дальнейших расчетах, необходимо упростить модель посредством удаления деталей, отверстий и скруглений, не имеющих прямого влияния на результаты расчетов. Также к расчетной модели КЗП необходимо добавить детали крепления к остову ТЭД, такие как кронштейны, болты и т. д. с целью получения максимально реалистичного распределения усилий в узлах крепления КЗП [6–8].

Данный метод лежит в основе большинства программных комплексов, служащих для выполнения инженерного проектирования с использованием электронно-вычислительной техники. Он позволяет рассчитать деталь различной формы при любых нагрузках и закреплениях. Поэтому этот метод свободен от большого количества допущений, ограничивающих их точность, при получении аналитических уравнений.

Основная идея МКЭ заключается в том, что любую непрерывную величину, такую как температура, перемещение и давление возможно аппроксимировать дискретной моделью, строящейся на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Кусочно-непрерывные функции находятся при

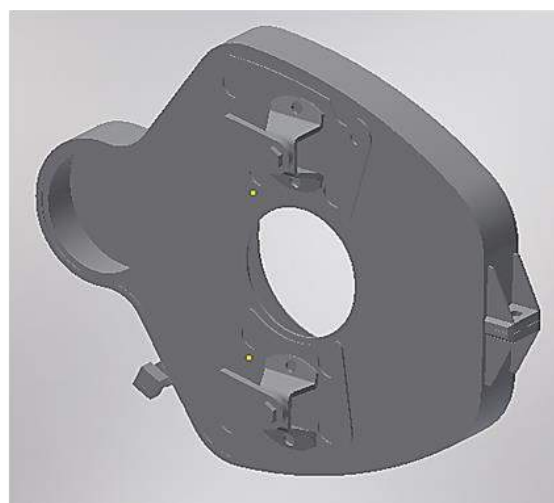
помощи значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области [9].

Для расчета напряженно-деформированного состояния КЗП электровоза серии «Ермак» применяется программная среда «MSC Patran» – флагманский программный продукт корпорации «MSC Software», позволяющий интегрировать автоматизированные системы проектирования, моделирования, анализа и оценки результатов расчетов. Использование комплекса Patran в комбинации с другими программными продуктами приводит к достижению наибольшей эффективности в оценке работоспособности и оптимальности конструкции изделий при их разработке, производстве и эксплуатации еще до момента изготовления и испытания опытных образцов [10–12]. После импорта геометрии кожуха в «MSC Patran» модель КЗП разбивается на сетку конечных элементов, ей задаются свойства материала Сталь 3, прикладываются граничные условия и усилия, действующие извне (см. табл. 1). Так как ранее была обоснована необходимость рассмотрения напряженно-деформированного состояния именно узла крепления КЗП, следовательно на эту часть и будет направлен анализ напряженно-деформированного состояния. Далее представлены результаты расчета напряженного и деформированного состояний узла крепления КЗП электровоза серии «Ермак» (рис. 4, 5).

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния КЗП позволяют выяснить, что образование трещин в узлах крепления КЗП напрямую зависит от мест концентрации напряжения и деформации (рис. 6).



а



б

Рис. 3. Модели кожуха зубчатой передачи электровоза серии «Ермак», выполненные в среде «Autodesk Inventor»:

а – фотореалистичное изображение кожуха; б – оптимизированная расчетная модель

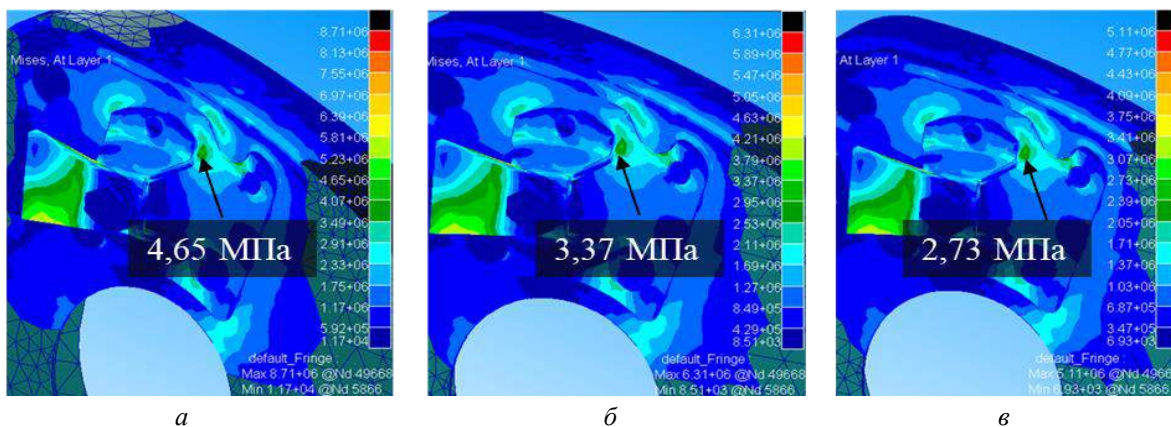


Рис. 4. Результат расчета напряженного состояния кожуха зубчатой передачи электровоза серии «Ермак»:

а – в момент трогания с места; *б* – при скорости длительного режима работы электровоза 51 км/ч; *в* – при конструкционной скорости 110 км/ч

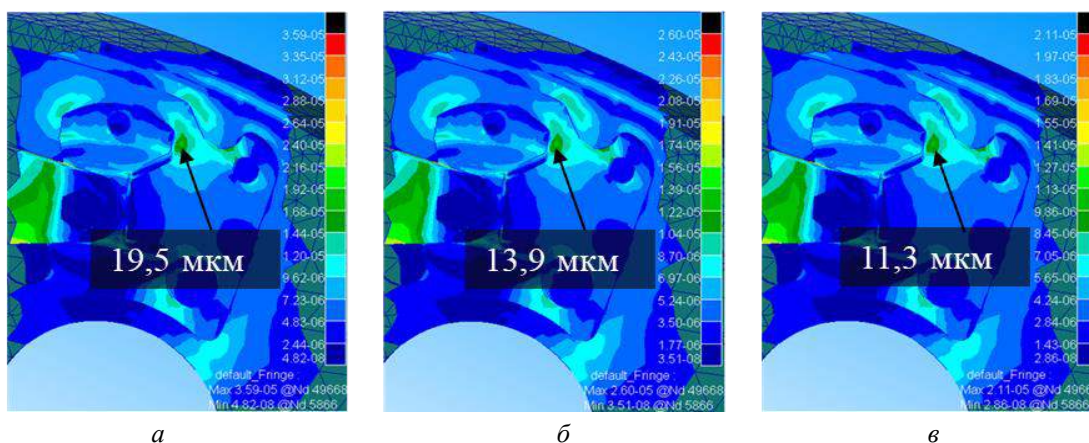


Рис. 5. Результат расчета деформированного состояния кожуха зубчатой передачи электровоза серии «Ермак»:

а – в момент трогания с места; *б* – при скорости длительного режима работы электровоза 51 км/ч; *в* – при конструкционной скорости 110 км/ч

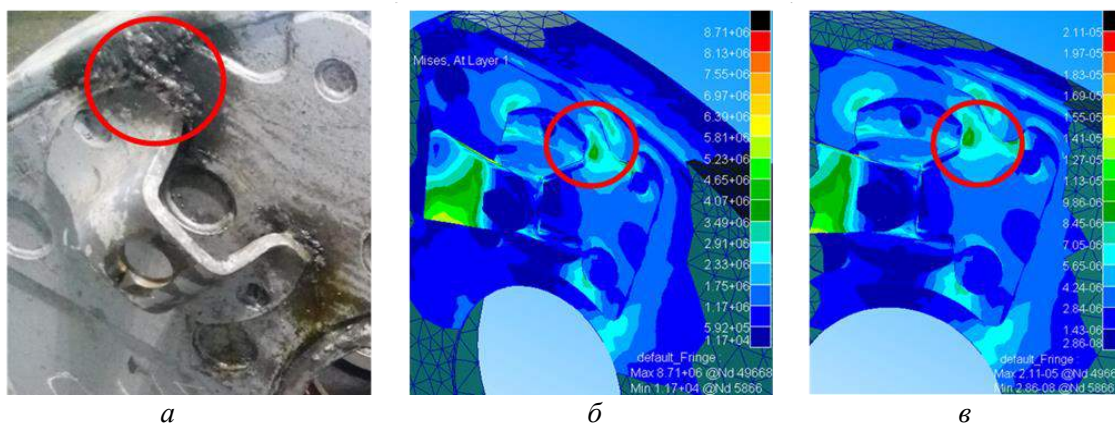


Рис. 6. Сравнительный анализ места образования трещин на реальном кожухе зубчатой передачи в депо и мест наибольшей концентрации напряжений и деформации при расчете напряженно-деформированного состояния кожуха зубчатой передачи электровоза серии «Ермак»:

а – место образования трещины на реальном кожухе в депо; *б* – место наибольшей концентрации напряжений в узле крепления кожуха; *в* – место наибольшей деформации в узле крепления кожуха



Так как градация распределений напряжений и деформаций по рассматриваемому узлу практически идентичны, то рассмотрение только напряженного состояния узла крепления КЗП позволит объективно оценить степень изменения нагрузок при выполнении модернизации рассматриваемого узла [13].

С целью снижения общего уровня концентрации напряжений и их перераспределения представлены различные варианты конструктивного исполнения модифицированных узлов крепления КЗП, которые в дальнейшем подвергались оценке

напряженного состояния (рис. 7). Все представленные варианты были подвержены оценке напряженного состояния (рис. 8).

При выборе самого выгодного варианта исполнения рассматриваемого узла КЗП необходимо учесть стоимость каждого из трех самых эффективных вариантов [14, 15]. Вариант «в» является наилучшим с точки зрения величины напряжения, однако капиталовложения, необходимые для внедрения данного варианта в производство, в разы превышают капиталовложения для внедрения в производство варианта «г», а его эффективность

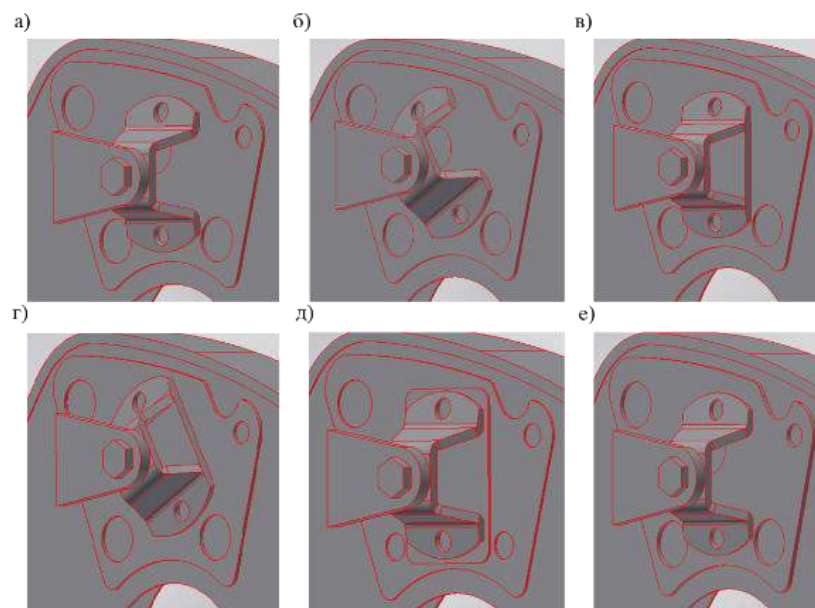


Рис. 7. Различные варианты исполнения модифицированных узлов крепления кожуха зубчатой передачи:
а–е – различные варианты исполнения узлов крепления кожуха

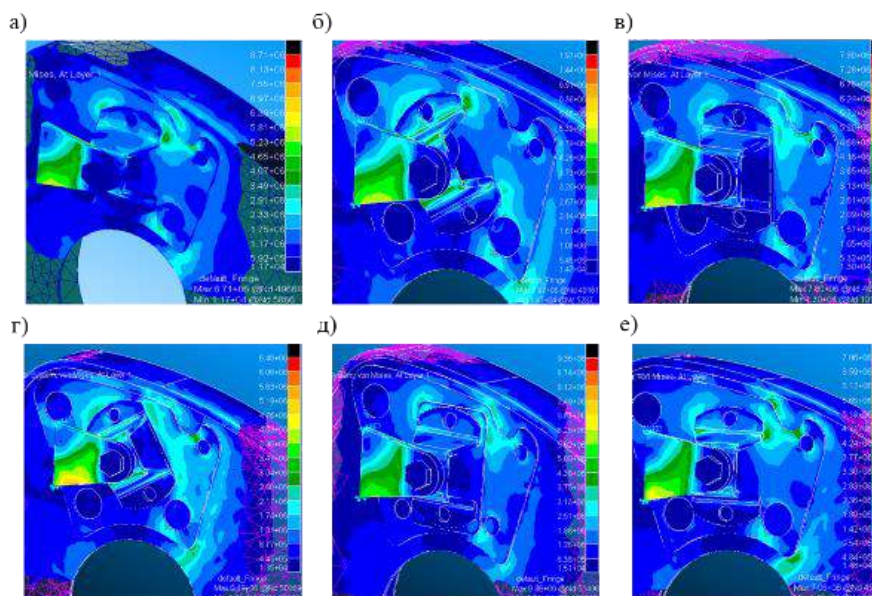


Рис. 8. Оценка напряженного состояния различных вариантов исполнения модифицированных узлов крепления кожуха зубчатой передачи:
а–е – различные варианты исполнения узлов крепления кожуха

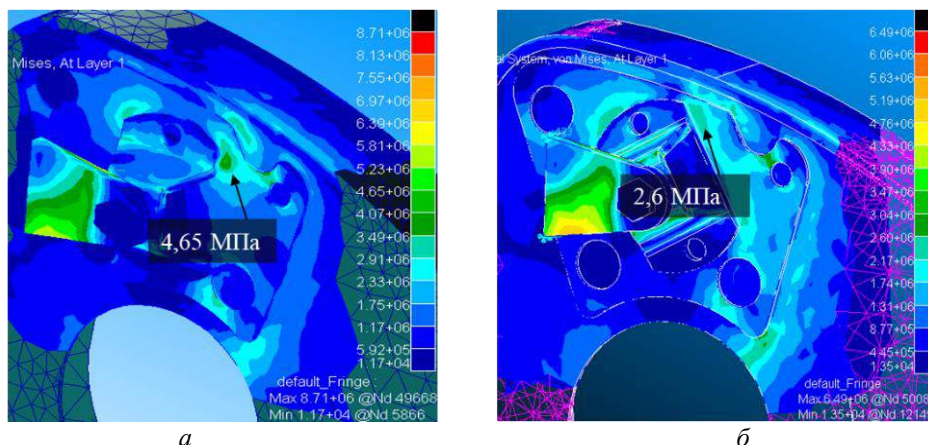


Рис. 9. Сравнение картины напряжения исходного и наиболее эффективного варианта исполнения узла крепления кожуха зубчатой передачи:

а – исходный вариант исполнения узла крепления кожуха; *б* – наиболее эффективный вариант исполнения узла крепления кожуха

выше всего на 5,2 %, что является менее рентабельным вариантом в сравнении с «г». Аналогичная ситуация и с вариантом «е» (см. рис. 7).

Представлено также сравнение картины напряжения двух вариантов исполнения КЗП (рис. 9).

По итогам анализа напряженного состояния узла крепления КЗП электровоза серии «Ермак» с использованием программных комплексов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным вариантом исполнения рассматриваемого узла, с точки зрения соотношения цена – качество, является вариант, когда опорные поверхности скобы

соединены пластиной толщиной в 10 мм и скоба повернута против часовой стрелки на 30°.

Заключение

В результате анализа напряженного-деформированного состояния узла крепления КЗП электровоза серии «Ермак» был выбран наиболее эффективный вариант исполнения рассматриваемого узла, с точки зрения соотношения цена – качество. Предлагаемый вариант исполнения узла крепления КЗП позволяет снизить величину концентрации напряжений в проблемных зонах на 44,1 %, что положительно скажется на надежности КЗП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милованова Е.А. Расчет на прочность рамы тележки локомотива от действия весовой нагрузки. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2015. 37 с.
2. Теория локомотивной тяги / под ред. В.Д. Кузьмича. М. : Маршрут, 2005. 448 с.
3. Теория электрической тяги / под ред. Осипова С.И. М. : Маршрут, 2006. 436 с.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М. : Мир, 1979. 389 с.
5. Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC. PATRAN-NASTRAN. Ч. 1. М., 2003. 130 с.
6. Механическая часть тягового подвижного состава / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак и др. М. : Транспорт, 1992. 440 с.
7. Электровоз ЗЭС5К. Альбом чертежей. М. : ВЭЛНИИ-ОХЧ, [2011].
8. Руководство по эксплуатации. Электровоз магистральный 2ЭС5К (ЗЭС5К) Ермак. ИДМБ.661142.009РЭ. Новочеркасск : Изд-во НЭВЗ, 2004. 1357 с.
9. Яблочников Е.И., Комисаренко А.Л. Применение метода конечных элементов в системах MSC Patran и Nastran. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2007. 22 с.
10. Гуменюк А.В. MSC Patran-Nastran. Новые возможности. М. : MSC Software RUS, 2016. 33 с.
11. Дульский Е.Ю. Основы компьютерного моделирования. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2015. 128 с.
12. Чернявский А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения : прил. к журн. «Справочник. Инженер. журн.». М. : Машиностроение, 2003. 24 с.
13. Худоногов, А.М. Дульский Е.Ю. Анализ надежности тяговых электрических машин электровозов серии «ЕРМАК» // Проблемы транспорта Восточной Сибири : Сб. тр. Четвертой Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Ч. 1. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2013. С. 20 – 24
14. Юренков М.Г. Анализ влияния условий эксплуатации на надежность тяговых электродвигателей // Исследование работы электрооборудования и вопросы прочности электроподвижного состава : науч. тр. Омск : Изд-во ОмИИТ, 1974. С. 57–60.
15. Галкин В.Г., Парамзин В.П. Надежность тягового подвижного состава. М. : Транспорт, 1981. 184 с.

REFERENCES

1. Milovanova E.A. Raschet na prochnost' ramy telezhki lokomotiva ot deistviya vesovoi nagruzki: uchebnoe izdanie [Calculation of the strength of the frame of the locomotive trolley from the action of the weight load: an educational publication]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2015. 37 p.



2. Kuz'mich V.D., Rudnev B.C., Frenkel' S.Ya. Teoriya lokomotivnoi tyagi: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta [The theory of locomotive traction: a textbook for railway transport universities]. In Kuz'mich V.D. (ed.) Moscow: Marshrut Publ., 2005, 448 p.
3. Osipov S.I., Osipov S.S., Feoktistov V.P. Teoriya elektricheskoi tyagi: uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta [Theory of electric traction: a textbook for railway transport universities]. In Osipov S.I. (ed.) Moscow: Marshrut Publ., 2006, 436 p.
4. Segerind L. Primenenie metoda konechnykh elementov [Application of the finite element method]. Moscow: MIR Publ., 1979, 389 p.
5. Rybnikov E.K., Volodin S.V., Sobolev R.Yu. Inzhenernye raschety mekhanicheskikh konstruktivnykh sistem MSC. PATRAN-NASTRAN. Chast' 1, ucheb. posobie [Engineering calculations of mechanical structures in the MSC system. PATRAN-NASTRAN. Part 1. A teaching guide]. Moscow, 2003, 130 p.
6. Biryukov I.V., Savos'kin A.N., Burchak G.P. et al. Mekhanicheskaya chast' tyagovogo podvizhnogo sostava: uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [The mechanical part of the traction rolling stock: a textbook for railway transport universities]. In Biryukov I.V. (ed.) Moscow: Transport Publ., 1992, 440 p.
7. Elektrovoz 3ES5K. Al'bom chertezhei. VEINII-OKhCh [Electric locomotive 3ES5K. Album of drawings. All-Russian Research and Design Institute of Electric Locomotive].
8. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Elektrovoz magistral'nyi 2ES5K (3ES5K) Ermak. IDMB.661142.009RE [Operation manual. Main electric locomotive 2ES5K (3ES5K) Ermak. IDMB.661142.009RE]. Novocherkassk: NEVZ Publ., 2004, 1357 p.
9. Yablochnikov E.I., Komisarenko A.L. Primenenie metoda konechnykh elementov v sistemakh MSC Patran i Nastran [Application of the finite element method in the MSC Patran and Nastran systems]. St. Petersburg: SPbGU ITMO Publ., 2007, 22 p.
10. Gumenyuk A.V. MSC Patran-Nastran. Novye vozmozhnosti [MSC Patran-Nastran. New features]. Moscow: MSC Software RUS Publ., 2016, 33 p.
11. Dul'skii E.Yu. Osnovy komp'yuternogo modelirovaniya: uchebnoe posobie [Fundamentals of computer simulation: a textbook]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2015, 128 p.
12. Chernyavskii A.O. Metod konechnykh elementov. Osnovy prakticheskogo primeneniya [Finite element method. Basics of practical application]. *Inzhenernyi zhurnal "Spravochnik". Prilozhenie [Engineering Journal "Handbook". Appendix]*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2003. 10, pp.1 – 23; 2003. 11, pp. 1–24.
13. Khudonogov A.M., Dul'skii E.Yu. Analiz nadezhnosti tyagovykh elektricheskikh mashin elektrovozov serii «ERMAK» [Analysis of the reliability of electric traction electric locomotives series "ERMAK"]. *Problemy transporta Vostochnoi Sibiri. Sbornik trudov Chetvertioi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh fakul'tetov «Transportnye sistemy» i «Sistemy obespecheniya transporta» [Problems of transport in Eastern Siberia. Collection of works of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists of the Faculties "Transport Systems" and "Transport Support Systems"]*. Irkutsk : IrGUPS Publ., 2013. Part 1, 136 p., pp. 20–24.
14. Yurenkov M.G. Analiz vliyaniya uslovii ekspluatatsii na nadezhnost' tyagovykh elektrodvigatelyei [Analysis of the influence of operating conditions on the reliability of traction motors]. *Issledovanie raboty elektrooborudovaniya i voprosy prochnosti elektropodvizhnogo sostava: nauch. tr. [Study of the work of electrical equipment and issues of strength of electric rolling stock: scientific papers]*. Omsk: OmIIT Publ., 1974, pp. 57–60.
15. Galkin V.G., Paramzin V.P. Nadezhnost' tyagovogo podvizhnogo sostava [Reliability of the rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1981, 184 p.

Информация об авторах

Authors

Лобыцин Игорь Олегович – аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lobycin@mail.ru.

Дульский Евгений Юрьевич – к. т. н., доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: E.Dulskiy@mail.ru.

Милованова Евгения Алексеевна – к. т. н., доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: evakami@yandex.ru.

Пыхалов Анатолий Александрович – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pykhalov_aa@mail.ru.

Igor' Olegovich Lobytin – Ph.D. student at the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lobycin@mail.ru.

Evgenii Yur'evich Dul'skii – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, e-mail: E.Dulskiy@mail.ru.

Evgeniya Alekseevna Milovanova – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: evakami@yandex.ru.

Anatolii Alexandrovich Pykhalov – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pykhalov_aa@mail.ru.

Для цитирования

For citation

Лобыцин И.О. Оценка напряженно-деформированного состояния кожухов зубчатой передачи электровоза серии «Ермак» / И.О. Лобыцин, Е.Ю. Дульский, Е.А. Милованова, А.А. Пыхалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 119–126. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).119–126

Lobytin I. O., Dul 'skii E. Y., Milovanova E. A., Pykhalov A. A. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kozhukhov zubchatoi peredachi elektrovoza serii «Ermak» [A sssessment of the stress-strain state of the gear transmission casings of an electric locomotive of the Ermak series]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 119–126. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).119–126