

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОЖУХА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗА

Е. А. Чабан

канд. техн. наук, доцент, КрИЖТ ИрГУПС, г. Красноярск

А. Г. Андриевский

старший преподаватель, КрИЖТ ИрГУПС, г. Красноярск

Аннотация. Сложные условия эксплуатации электровозов в условиях Восточного полигона, вероятностный характер одновременного приложения нестационарных нагрузок, возможность возникновения условий резонансных колебаний кожуха зубчатых передач может приводить к наступлению предельного состояния раньше проектного срока эксплуатации. Проведение восстановительных технологических мероприятий поврежденных кожухов дает лишь временный эффект. С целью определения возможности, условий и сроков дальнейшей безопасной эксплуатации, планирования ремонтно-восстановительных работ для кожуха целесообразно давать оценку его остаточного ресурса. Предложена методика расчета остаточного ресурса кожуха зубчатых передач.

Ключевые слова: кожух зубчатой передачи, ослабление болтового крепления, предельное состояние, остаточный ресурс, номограмма.

Одним из наиболее повреждаемых элементов колесно-моторного блока (КМБ) грузового электровоза является кожух зубчатых передач (КЗП). Основными причинами возникновения выявляемых отказов для КЗП являются повреждение элементов крепления, составляющие порядка 44 % от всех отказов, и повреждение непосредственно сварной конструкции кожуха – 56 %. При этом наблюдается зависимость возникновения количества отказов от сезонного фактора – ежегодно в период с ноября по март количество отказов КЗП за счет повреждений усталостного характера резко увеличивается, а в весенне-летний период времени практически отсутствует [1, 2].

Сложные условия нагружения КЗП при эксплуатации электровозов в условиях Восточного полигона, вероятностный характер одновременного приложения нестационарных нагрузок, возможность возникновения условий резонансных колебаний может приводить к наступлению предельного состояния для кожуха раньше проектного срока эксплуатации. Основным критерием наступления предельного состояния для КЗП является возникновение повреждения в виде трещины в сварном шве кожуха, основном металле стенки

кожуха, кронштейне крепления к остову тягового электродвигателя (ТЭД) [3 - 4].

Применение консольного (навесного) крепления КЗП (рисунок 1, а и б) в КМБ электровозов имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что КЗП крепится болтами, которые установлены с зазором в отверстиях кронштейнов двигателя и подвержены вибрационным нагрузкам, что является причиной ослабления их затяжки в условиях эксплуатации и, как следствие, наступление нештатного условия крепления кожуха к остову тягового двигателя [5, 6].

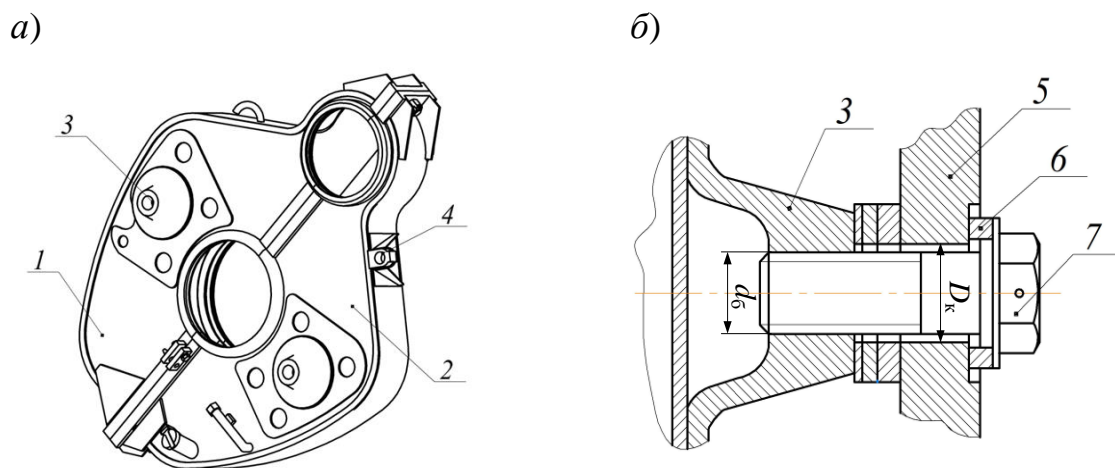


Рисунок 1 – Кожух зубчатой передачи (а), эскиз болтового соединения «бобышка КЗП – кронштейн тягового двигателя» (б): 1 – верхняя разъемная часть; 2 – нижняя разъемная часть; 3 – бобышка; 4 – кронштейн кожуха; 5 – кронштейн двигателя; 6 – упругая шайба; 7 – болт

Основные причины неработоспособного состояния КЗП можно разделить на две группы [1]:

- повреждение элементов крепления – отсутствие и излом болтов, а также повреждение резьбы болтов и бобышки – 44 %;
- повреждение сварной конструкции кожуха – развитие усталостных трещин и его разрушение, а также излом кронштейнов – 56 %.

Необходимо отметить, что обнаружение трещин и проведение восстановительных технологических мероприятий поврежденных КЗП дает лишь временный эффект, учитывая ускоренное образование трещин в области ремонта. В этом случае с целью определения возможности, условий и сроков его дальнейшей безопасной эксплуатации, планирования ремонтно-восстановительных работ целесообразно проводить оценку остаточного ресурса КЗП, который необходимо осуществлять по результатам оценки параметров технического состояния болтовых креплений к остову ТЭД.

Оценку параметров технического состояния болтовых креплений и КЗП рекомендуется проводить по результатам проведения обследования и оперативной диагностики при проведении планового технического осмотра (ТО), выполняемом с целью получения данных о текущем техническом состоянии КЗП. В случае выявления нештатного крепления КЗП к ТЭД после проведения ТО в Журнале регистрации технического состояния электровоза рекомендуется указать пробег электровоза для обследуемого кожуха, а также причины невосприятости нагрузки болтовыми креплениями, которыми могут являться: ослабление болтового соединения в процессе эксплуатации электровоза или отказ болтового соединения в процессе эксплуатации электровоза. Целью такого анализа параметров технического состояния КЗП является установление уровня фактической нагруженности, необходимого для прогнозирования остаточного эксплуатационного ресурса КЗП.

Анализ параметров текущего технического состояния КЗП включает:

- оценку параметров технического состояния болтовых креплений КЗП, их соответствие требованиям нормативно-технической и конструкторской документации, а по отклонению от требований – установление определяющих параметров технического состояния;

- оценку фактической нагруженности болтовых креплений КЗП к остову ТЭД, выполненную расчетным методом с учетом всех режимов нагружения и действующих нагрузок, фактической геометрии конструкции, фактических толщин ее несущих элементов, имеющихся и выявленных концентраторов напряжений и экспериментальных результатов численных исследований напряженно-деформированного состояния КЗП;

- заключение о возможности дальнейшей эксплуатации КЗП с установлением назначенного ресурса в случае отсутствия повреждений, влияющих на параметры технического состояния кожуха.

Для КЗП, эксплуатируемого в условиях циклического нагружения, прогнозирование остаточного ресурса рекомендуется проводить по результатам контроля технического состояния его болтовых креплений к остову ТЭД. Контроль технического состояния проводится в соответствии с технологией технического обслуживания и ремонта для обследуемой серии электровоза. В этом случае показателем остаточного ресурса КЗП является наработка в виде пробега электровоза с КЗП, имеющим нештатное крепление к остову ТЭД.

Расчет остаточного ресурса КЗП предлагается выполнять по следующей

методике:

1. Определяется суммарное время работы электровоза на кривых и прямых участках пути

$$T = T_{кр} + T_{пр} = \frac{S_{кр} + S_{пр}}{v_{тех}},$$

где T – суммарное время работы электровоза; $T_{кр}$ и $T_{пр}$ – время работы в кривых и прямых участках соответственно; $S_{кр}$ и $S_{пр}$ – пробег в кривых и прямых участках соответственно; $v_{тех}$ – техническая скорость.

2. Поскольку в процессе эксплуатации электровоз движется с различными скоростями, доли времени работы в интервалах скоростей задаются согласно [7], то время работы электровоза можно представить в виде произведения

$$T = (T_{кр} + T_{пр})(k_{v1} + k_{v2} + k_{v3} + k_{v4} + k_{v5} + k_{v6} + k_{v7} + k_{v8}),$$

причем сумма $\sum_{i=1}^{n=8} k_{vi} = 1$, где k_{vi} – доли работы электровоза в i -ом интервале скоростей, для электровоза с конструкционной скоростью до 120 км/ч.

$$T = \left(\frac{S_{кр} + S_{пр}}{v_{тех}} \right) (k_{v1} + k_{v2} + k_{v3} + k_{v4} + k_{v5} + k_{v6} + k_{v7} + k_{v8}).$$

3. Количество циклов нагружения можно определить по формуле

$$N = T \sum_{i=1}^n \frac{v_i k_{vi}}{L_{нер}}$$

4. Определяется долговечность кожуха по формуле

$$T_k = \frac{1}{N} = \frac{1}{\frac{T \sum_{i=1}^n \frac{v_i k_{vi}}{L_{нер}}}{N}}$$

5. Расчет остаточного ресурса КЗП (в годах) определяется по следующей формуле

$$T_k = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{365 S_{ср.сут.} \alpha_i}{v_{тех}} \left(\frac{\sum_{j=1}^n \frac{v_j k_{vj}}{L_{нерi}}}{N_0 \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ai} + \psi \sigma_{mi}} \right)^m} \right)},$$

где $S_{ср.сут.}$ – среднесуточный пробег локомотива;

$v_{тех}$ – техническая скорость локомотива;

α_i – коэффициент учитывающий долю пути от общего пробега с характерными длинами неровностей $L_{нерi}$;

v_j – средняя скорость для j -го интервала скоростей;

k_{vj} – доля времени работы электровоза в j -м интервале скоростей;

N_0 – базовое число циклов при испытании;
 σ_{-1} – предел выносливости для стали КЗП;
 σ_{ai}, σ_{mi} – амплитуда и среднее значение напряжений цикла для i -го режима нагружения;
 m – показатель степени кривой усталости материала;
 ψ – коэффициент чувствительности материала КЗП к асимметрии цикла нагружения;
 k – число учитываемых режимов эксплуатационного нагружения.

На рисунке 2 показана номограмма для оценки влияния на долговечность КЗП повышенных нагрузок в случае отказа точек крепления: верхней бобышки и кронштейна (1), нижней бобышки и кронштейна (2), верхней бобышки (3), нижней бобышки (4).

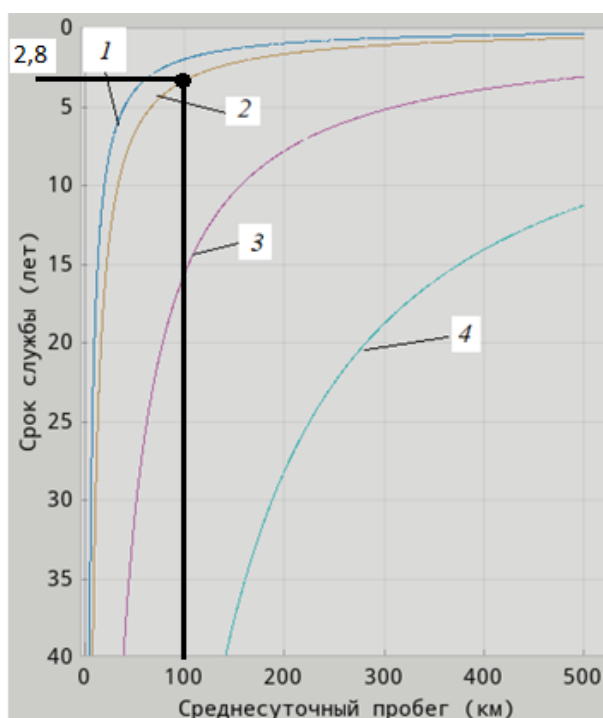


Рисунок 2 – Номограмма для оценки влияния на долговечность КЗП повышенных нагрузок в случае отказа точек крепления: верхней бобышки и кронштейна (1), нижней бобышки и кронштейна (2), верхней бобышки (3), нижней бобышки (4)

Остаточный ресурс КЗП определяется следующим образом. По расчетной кривой долговечности для КЗП по оси абсцисс определяют пробег, соответствующий половине пробега для электровоза с момента проведения последнего ТО. Затем по кривой долговечности определяют соответствующее ему количество лет, характеризующее уменьшение эксплуатационного ресурса КЗП. Учитывая, что ресурс КЗП при благоприятных условиях его эксплуатации рассчитан на срок порядка 50 лет, эксплуатация кожуха в условиях нештатного закрепления может значительно снижать его эксплуатационный ресурс.

В качестве примера рассмотрим определение остаточного ресурса обследуемого при очередном ТО КЗП, для которого было выявлено ослабление болтового крепления нижней бобышки и кронштейна. Пробег для электровоза с момента проведения последнего ТО составил порядка 1 000 км.

По кривой долговечности для КЗП (рис. 2) на оси абсцисс определяем пробег, соответствующий величине пробега при нарушении условий крепления, например, 100 км. Этому пробегу соответствует уменьшение ресурса до 2,8 лет. В журнале указываем, что остаточный ресурс для обследуемого КЗП составляет 2,8 года.

Результаты анализа параметров текущего технического состояния КЗП рекомендуется оформлять в виде технического заключения с решением о возможности его дальнейшей эксплуатации с указанием назначенного эксплуатационного ресурса. Результаты выполненных расчетов по прогнозированию остаточного ресурса КЗП должны оформляться в виде отчета и служить основанием для принятия решения о наблюдении и проведении профилактических ремонтно-восстановительных мероприятий.

Список использованных источников

1. Москвичев В. В., Чабан Е. А., Андриевский А. Г. Проблемы кожухов зубчатой передачи электровозов: отказы, нагруженность, виброзащита // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1(65). – С. 31-42.
2. Андриевский А. Г., Чабан Е. А. Обеспечение конструкционной прочности кожуха зубчатой передачи грузового локомотива // Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем: материалы и доклады, Кемерово, 05–09 октября 2020 года. – Кемерово: ФИЦ ИВТ, 2020. – С. 68-70.
3. Андриевский А. Г., Москвичев В. В., Чабан Е. А. Расчетно-экспериментальное определение динамических характеристик кожуха тяговой зубчатой передачи электровоза // Известия Транссиба. 2020. № 3(43). – С. 47-57.
4. Проблема надежности кожухов зубчатой передачи электровозов серии "Ермак" / Е. Ю. Дульский, И. О. Лобыцин, Е. А. Милованова, П. Ю. Иванов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 4(60). – С. 87-92.
5. Андриевский А. Г., Чабан Е. А. Влияние на прочность кожуха зубчатой передачи электровоза условий его закрепления // Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем: материалы и доклады, Красноярск, 16–20 октября 2023 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий", 2023. – С. 99-102.
6. Галиев, И. И. Анализ причин неисправностей кожуха зубчатой передачи локомотива 2ЭС6 «Синара» / И. И. Галиев, М. Х. Минжасаров, Д. В. Липунов // Известия Транссиба. – 2023. – № 3(55). – С. 33-44.
7. ГОСТ Р 55513-2013. Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые: введен 2014-07-01 / разработан Научно-исследовательский и конструктор.-технолог. ин-т подвиж. состава. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 41 с.