



УДК 629.424.1

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

*В. Л. Горобец, д.т.н., зав. кафедры «БЖД» Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта г. Днипро, О.Л.Янгулова, к.т.н., доц. «Кафедра теоретической и строительной механики» Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта г. Днипро,*

*А.В. Зверева, зав. учебной лаборатории кафедры «БЖД» Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта г. Днипро, Г.В. Логвинов, начальник ремонтного отдела Департамента локомотивного хозяйства ПАО «Укрзалізниця»*

*У статті наведено основні вимоги до результатів та змісту робіт з продовження терміну експлуатації тягового рухомого складу як магістрального, так і промислового транспорту. Описано ряд методів непрямой оцінки залишкового ресурсу основних несучих конструкцій тягового рухомого складу, зроблено зауваження щодо номенклатури та змісту робіт та дозвільних документів.*

Процедура продления сроков службы тягового подвижного состава (ТПС) промышленного транспорта является видимо простой операцией, что позволяет выходить на рынок данных услуг организациям, не вполне отдающим себе отчет об истинном содержании работ по оценке и продлению назначенного срока службы железнодорожного подвижного состава и научном обосновании решения этой далеко не тривиальной задачи.

Дальнейшие рассуждения, изложенные в данной работе, применимы в равной мере как к промышленному, так и магистральному ТПС.

Согласно ДСТУ 2860-94 [1], эксплуатация единицы тягового подвижного состава с истерпанным назначенным сроком службы должна быть немедленно прекращена, независимо от ее технического состояния. Назначенные сроки службы железнодорожной техники, как правило, гораздо меньше физического ресурса конструкции, что в сочетании с проведением определенных расчетных и экспериментальных работ допускают их обоснованное увеличение.

В соответствии с вышеизложенным, документы по продлению срока службы подвижного состава обязаны содержать положение о величине его назначенного срока службы, в противном случае такие документы не имеют юридической силы и их использование является противозаконным.



Согласно [2], концепция продления срока службы ТПС может быть представлена следующим образом:

1. Тяговый подвижной состав определенного типа эксплуатируется примерно в равных условиях эксплуатации. При условии сохранения качества технологии его изготовления, экземпляры ТПС, получившие наибольшую наработку в течение срока службы, могут быть использованы для оценки остаточного ресурса всего этого типа ТПС;
2. Основным критерием целесообразности увеличения срока службы ТПС является обеспечение требуемого остаточного ресурса его несущих конструкций (рам тележек, главной рамы кузова) на период сверхнормативной эксплуатации ТПС;
3. Основным условием продления срока службы ТПС является его соответствие нормативным требованиям, предъявляемым к новому и вновь проектируемому тяговому подвижному составу.

Не следует путать понятия индивидуального продления назначенного срока службы единицы ТПС, продление сроков службы серий ТПС и поэтапное продление срока службы, которое заключается в оценке текущего технического состояния единицы или группы ТПС. Поэтапное продление срока службы является дополнительным, второстепенным инструментом краткосрочного (на период между ремонтами) обеспечения продолжения эксплуатации и при нормальном уровне научного обеспечения связано с использованием оценки живучести несущих конструкций, во избежание возникновения трещин в основных несущих конструкциях, которые могут привести к аварийной ситуации.

Под индивидуальным продлением назначенного срока службы локомотива в данном случае понимается назначение дополнительного срока его эксплуатации в зависимости от:

- технического состояния основных НК (основная рама, рамы тележек);
- состояния сварных соединений (по основной раме и рамам тележек);
- степени коррозионного повреждения несущих элементов экипажной части;
- возраста локомотива;
- условий предшествующей эксплуатации;
- последствий аварийных ситуаций или инцидентов.

К проверяемым при этом величинам относятся:

- толщина элементов (верхняя и нижняя полки, боковые стенки) продольной балки рамы тележки локомотива;



- толщина элементов (верхняя и нижняя полки, боковые стенки) основных продольных балок рамы кузова локомотива;
- наличие видимых трещин и иных нарушений прочности сварных швов основных несущих конструкций локомотива

Оценка остаточного ресурса основных несущих конструкций (НК) (рам тележек, рамы кузова или несущего кузова) тягового подвижного состава выполняется в результате сравнения следующих величин:

1. Оценки предела выносливости основной НК, которая выполняется расчетными, расчетно-экспериментальными или экспериментальными методами;
2. Оценки эксплуатационных нагрузок, действующих на НК, которая выполняется расчетными, расчетно-экспериментальными или экспериментальными методами

Ниже приведен краткий обзор методов, связанных с косвенными оценками остаточного ресурса ТПС.

По критерию коррозионного износа несущая способность, связанная с предельными значениями коррозионного износа, может определяться на основании:

- упрощенного расчета ресурса несущей конструкции;
- применения метода сравнительной оценки ресурса несущей конструкции;
- проведения теоретических и экспериментальных работ по оценке ресурса несущей конструкции локомотива [3].

Упрощенный расчет ресурса несущей конструкции [4], при котором срок службы индивидуально для каждой единицы ТПС продляется на основании соотношения

$$t_{\text{продл}} = \begin{cases} \frac{\delta_{\text{ср.изм}} - \delta_{\text{мин}}}{\delta_{\text{ном}} - \delta_{\text{ср.изм}}} \cdot t_{\text{возр}} & \text{при } t_{\text{продл}} \leq 15 \text{ лет;} \\ 15 & \text{при } t_{\text{продл}} > 15 \text{ лет;} \end{cases} \quad (1)$$

где  $t_{\text{продл}}$  – период продления срока службы, лет;  $\delta_{\text{ном}}$  – проектная толщина элемента конструкции рамы кузова;  $\delta_{\text{ср.изм}}$  – средняя фактическая величина толщины элемента рамы кузова, которая измерена на момент проведения КРП;  $\delta_{\text{мин}}$  – минимальная допустимая толщина элемента рамы кузова;  $t_{\text{возр}}$  – срок эксплуатации ТПС на момент проведения обследования, в годах. В случае получения срока службы рамы локомотива, который превышает 15 лет, он принимается равным указанной величине.



Соотношение (1) получено на основании следующих положений:

- равномерная коррозия рамы кузова является явлением, которое имеет место на протяжении всего срока службы электровоза;
- скорость равномерной коррозии рамы кузова единицы ТПС одинакова на протяжении его срока службы.

Уровень  $\delta_{\min}$  минимальной допустимой толщины элемента рамы кузова может быть определен:

- по упрощенному расчету сечения НК локомотива (в случае, когда основные балки в основном работают на сгиб или растяжение - сжатие);
- по полному расчету кузова, или его несущей рамы на прочность.

Для определения минимальной допустимой толщины элемента рамы кузова локомотива примем следующие предпосылками:

- в процессе продолжительной эксплуатации основных НК ТПС данного типа не было случаев их разрушения за потерей несущей способности или за наличием существенной равномерной или местной коррозии;
- конструкция в исходном состоянии обеспечивает нормативное [4] значение коэффициента запаса  $[n]=2$ ;
- может быть установлен минимальный коэффициент  $n<2$ , при котором эксплуатация НК может быть продолжена;
- при уменьшении толщины НК она остается достаточной для того, чтобы в конструкции не наблюдались большие деформации;
- НК рамы локомотива работают, в основном, в условиях плоского изгиба.

Минимальная абсолютная толщина несущей конструкции по критерию равномерной коррозии при условии сохранения структурных кондиций металла, определяется как

$$t_{\min} = 0,01 \cdot t_0 \cdot W^{-1} \left( \frac{n_{\min} \cdot W_0}{[n]} \right) \quad (2)$$

в формуле (2):  $t_0$  – проектное значение толщины элемента сечения НК;  $n_{\min}$  – минимальный коэффициент запаса выносливости;  $W^{-1}$  – функция, обратная функции момента сопротивления изгибу  $W(*)$ ;  $W(0)=W_0$  – момент сопротивления изгибу при проектной толщине НК;  $n_{\min}$  –



минимальный коэффициент запаса выносливости;  $[n]=2$  – нормативное [3] значение коэффициента запаса выносливости.

Указанная формула, в сочетании с формулой (1) позволяет осуществить упрощенный расчет оценки ресурса НК кузовов ТПС по критерию сохранения несущей способности НК кузова при равномерной коррозии.

Для оценки остаточного ресурса основной рамы может быть использован метод сравнительной оценки ресурса несущей конструкции или метод «слабого элемента» [5].

Выражение, которое связывает ресурс наиболее нагруженной точки основной несущей конструкции с ресурсом так называемого «слабого» элемента

$$R = \left( \frac{\Phi_{\min \xi}}{\|\Phi_{\xi}\|} \right)^m R_{\min}. \quad (3)$$

С учетом фактического месторасположения датчика (соотношения напряжений по форме колебаний в его расположении и максимальным напряжением в сечении данной балки), концентраторов напряжения в области «слабого» элемента и в основной несущей конструкции, формула (3) дополняется соответствующими коэффициентами пересчета

$$R = \left( \frac{\Phi_{\min \xi} \cdot k_{S\min} \cdot k_{K\min}}{\|\Phi_{\xi}\| \cdot k_{K\xi}} \right)^m \cdot k_H^{-1} \cdot R_{\min}, \quad (4)$$

где  $k_{K\xi}$  - наибольший коэффициент концентрации напряжений в основной НК (при необходимости оценки ресурса её сварных соединений);  $k_{S\min} = \sigma_{\xi\max} / \sigma_{\xi\partial}$  - отношение максимального напряжения в сечении «слабого» элемента  $\sigma_{\xi\max}$  при неблагоприятной форме колебаний  $\xi$  НК к напряжению  $\sigma_{\xi\partial}$  (для той же формы колебаний) в месте расположения датчика в области «слабого» элемента (коэффициент распределения напряжений по сечению);  $k_{K\min}$ ,  $k_{K\xi}$  - коэффициенты концентрации напряжений в области «слабого» элемента и основной НК;  $k_H \leq [k_{\sigma}]^m = 1 \div 16$  - коэффициент надежности расчета, связанный с коэффициентом запаса выносливости, величина которого выбирается из условий и характера эксплуатации НК, состояния и возраста несущих конструкций, а также обеспечения



безопасности движения на магистральных путях.

Аналитический расчет остаточного ресурса методом «статистического проигрывания». Для уточненной оценки ресурса несущих конструкций тепловоза используется классическая степенная кривая выносливости Велера

$$\sigma^m N = \text{const} = C \quad (5)$$

где  $\sigma^m N$  – объем наработки, пропорциональный ресурсу  $C$ ,  $N$  – количество циклов к разрушению при напряжении  $\sigma$ ,  $m=4\div 5$  (показатель кривой Велера для конструкции).

Примем, что распределение напряжений в конструкции является нормальным и его параметры, оцененные при проведении динамических прочностных испытаний локомотива, актуальны.

Дополним математическую модель (5) пределом выносливости  $\sigma_{-1}$  в явном виде. Ее расчетные соотношения [14] запишем в виде

$$N = \begin{cases} N_0 (\sigma_{-1} / \sigma)^m & \text{при } \sigma_T > \sigma \geq \sigma_{-1}; \\ \infty & \text{при } \sigma < \sigma_{-1} \end{cases} \quad (6)$$

Для создания простейшей модели выносливости, основанной на принципе снижения границы выносливости, примем следующие предыдущие предположения:

1. Полная мера наработки до разрушения  $C$  в выражении (5) является постоянной величиной, инвариантной относительно порядка приложения, продолжительности действия и величин нагрузок, воспринимаемых материалом (конструкцией) к исчерпанию его ресурса;
2. Абсцисса точки перелома (ограничение)  $N_{-1}$  кривой выносливости в области многоциклового усталости является постоянной величиной (ее значением можно задаться в запас надежности расчета);
3. Для показателя степени кривой выносливости  $m$  не характерна важная побежалость, или можно принять его как постоянную величину;
4. Процессы нагрузки в процессе работы конструкции имеют случайный характер, который допускает [6] принятие линейной гипотезы накопления усталостных повреждений.



Мера наработки зависит от трех следующих параметров: разрушительного напряжения  $\sigma$ , показателя степени кривой выносливости  $m$  и количества циклов нагружения.

Таким образом, приведенный выше ряд косвенных методов оценки остаточного ресурса позволяет получить научно обоснованные значения назначенного срока службы НК тягового подвижного состава с проведением минимального объема экспериментальных исследований.

## ВЫВОДЫ

1. Разрешительные документы по продлению срока службы подвижного состава обязательно и в явном виде должны содержать положение о величине его нового назначенного срока службы, в противном случае такие документы не имеют юридической силы и их использование является противозаконным.

2. Назначение продленного срока службы тягового подвижного состава должно быть обосновано расчетными, расчетно-экспериментальными или экспериментальными методами и Заказчик работ вправе требовать этого от Исполнителя при проведении работ по продлению срока службы тягового подвижного состава.

3. Для обоснования оценок остаточного ресурса разработан и апробирован ряд косвенных методов, которые позволяют получить научно обоснованные значения назначенного срока службы несущих конструкций тягового подвижного состава.

4. Нельзя подменять комплекс работ по оценке и назначению срока службы единиц тягового подвижного состава его поэтапным продлением, которое служит дополнительным, второстепенным инструментом краткосрочного (на период между ремонтами) обеспечения продолжения эксплуатации единиц тягового подвижного состава.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 92 с.
2. Блохин Е.П. /Продление срока службы тягового подвижного состава – один из способов обеспечения его надежной эксплуатации [Текст]//Е.П. Блохин, В.Л. Горобец, А.Д. Лашко и др. // Транспорт: Зб. наук. пр. ДНТУ, Випуск 6. – Дніпропетровськ: Арт - Прес, 2000. – С. 14–20.





3. *Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава [Текст]. – Киев: Гос. Администрация ж.д. транспорта Украины, ДИИТ, 1998. -51 с.*
4. *Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм [Текст].; – Москва, 1998 г.*
5. *Методика сравнительной оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава с учетом влияния на них модернизаций [Текст]. – К: КУЕТТ – УЗ, 2004. 25 с.*
6. *Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.*