



Оптимизация сроков ремонта на основе интенсивности отказов



Анатолий ГОРСКИЙ
Anatoly V. GORSKY

Валентин КОЗЫРЕВ
Valentine A. KOZYREV



Алексей СКРЕБКОВ
Alexey V. SKREBKOV

Горский Анатолий Владимирович — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). Козырев Валентин Александрович — доктор технических наук, профессор МИИТ. Скребков Алексей Валентинович — кандидат технических наук, доцент МИИТ.

Построение структуры ремонтного цикла оборудования локомотивов может быть осуществлено двумя способами: а) путем обеспечения заданного уровня надежности; б) за счет минимизации затрат на выполнение ремонтов. Для каждого способа в качестве исходных выступают эксплуатационные показатели надежности, наиболее подходящим из которых является интенсивность отказов.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, ремонт, оптимизация, функция интенсивности отказов, закон распределения, метод динамического программирования.

Расчет сроков ремонта оборудования тягового подвижного состава целесообразно осуществлять на основе анализа надежности его оборудования в реальных условиях эксплуатации. Для анализа эксплуатационных показателей надежности оборудования следует иметь достоверную информацию о значениях контролируемых параметров и (или) наработках до и между отказами, то есть динамику изменения технического состояния узлов и агрегатов подвижного состава с увеличением пробега от момента начала эксплуатации или полного восстановления оборудования.

Ранее для решения этой задачи использовался показатель безотказности — параметр потока отказов. Однако анализ применения зависимости от наработки параметра потока отказов $\omega(t)$ основного оборудования электровозов, от надежности которого зависит работоспособность локомотива в целом, показывает, что она не всегда оправдана по следующим причинам:

— имеется несовпадение структур ремонтного цикла локомотива и установленного на нем оборудования, например тяговых электрических машин;

- недостаточное качество выполнения ремонтов (особенно неплановых);
- дефицит запасных частей и агрегатов.

Поэтому предлагается в качестве показателя безотказности при оптимизации сроков ремонта использовать функцию интенсивности отказов $\lambda(l)$, оценка которой осуществлялась бы только по наработкам оборудования от предыдущего восстановления (замены) до первого отказа. По наработкам до отказа можно рассчитать оценку интенсивности отказов в интервале наработки Δl путем группирования числа отказов:

$$\lambda^*(\Delta l) = \frac{\Delta n}{n(l) \cdot \Delta l}, \quad (1)$$

где Δn – число отказов в рассматриваемом интервале наработки Δl ;

$n(l)$ – количество экземпляров одноименного оборудования, работоспособного к началу рассматриваемого интервала;

Δl – ширина интервала разбиения периода наблюдения L , в течение которого накоплена информация о наработках оборудования до отказа.

Однако группирование информации в интервалах наработки приводит к снижению достоверности получаемых результатов. Поэтому зависимость интенсивности отказов целесообразно осуществлять по функции распределения наработки до отказа оборудования $F(l)$:

$$\lambda(l) = \frac{f(l)}{1 - F(l)}, \quad (2)$$

где $f(l) = \frac{dF(l)}{dl}$ – функция плотности распределения наработки до отказа.

В свою очередь вид и параметры закона распределения наработки до отказа оцениваются по усеченной эмпирической функции $F(l)$, например методом «наименьших квадратов»:

$$\sum_{i=1}^r [F(l_i) - F(l_i)]^2 \Rightarrow \min, \quad (3)$$

где r – количество отказов оборудования из N находящихся под наблюдением в рассматриваемом периоде L ;

$F(l_i)$ – значение эмпирической функции распределения наработки до отказа в точке l_i ;

$F(l_i)$ – значение теоретической функции распределения наработки до отказа в точке l_i .

Расчет функции распределения наработки до отказа оборудования, оценка и прогнозирование технического состояния которого осуществляется по информации о контролируемых или диагностических параметрах, проводится по следующей методике [1]:

- определяются законы и числовые характеристики распределения параметров при фиксированных наработках оборудования от момента полного восстановления;
- рассчитываются аналитические зависимости от наработки числовых характеристик законов распределения;
- для различных значений наработки находится вероятность выхода параметра за установленный допуск, то есть функция распределения ресурса.

По функциям распределения наработки до отказа M видов разноименного оборудования определяются гамма-процентные ресурсы $l_{\gamma 1}, l_{\gamma 2}, \dots, l_{\gamma M}$, соответствующие заданному уровню вероятности безотказной работы $\gamma/100$.

Зная стоимости восстановления или замены каждого вида оборудования C_i на плановом ремонте, методом динамического программирования решается задача определения оптимальной структуры ремонтного цикла [2]. При этом однозначно находится схема чередования ремонтов, их объемы и межремонтные пробеги L_i каждого вида оборудования таким образом, чтобы значение суммарных удельных затрат на выполнение всех видов ремонта было минимальным:

$$q(L_1, L_2, \dots, L_M) = \sum_{i=1}^M \frac{C_i}{L_i} \Rightarrow \min. \quad (4)$$

Использование метода динамического программирования при решении этой задачи обосновывается необходимостью соблюдения принципа надежности $L_i \leq l_{\gamma i}$, то есть обеспечения вероятности безотказной работы не ниже заданного.

Для расчета оптимальной структуры ремонтного цикла оборудования также может быть использован и другой подход, заключающийся в минимизации суммарных удельных затрат на плановые и неплановые ремонты. В этом случае





целевая функция оптимизации будет иметь вид:

$$q(L_1, L_2, \dots, L_M) = \sum_{i=1}^M q_i(L_i) \Rightarrow \min, \quad (5)$$

где $q_i(L_i)$ – суммарные удельные затраты на выполнение плановых и неплановых ремонтов i -го вида оборудования при наработке L_i .

В свою очередь, значение $q_i(L_i)$ определяется по функции суммарного удельного приведенного числа ремонтов $S(L_i, K_i)$:

$$q_i(L_i) = C_{\pi i} \cdot S(L_i, K_i), \quad (6)$$

где $C_{\pi i}$ – затраты на выполнение планового ремонта i -го вида оборудования;

$K_i = C_{\pi i} / C_{\text{н}i}$ – коэффициент соотношения затрат на выполнение неплановых и плановых ремонтов.

Удельное приведенное число плановых и неплановых ремонтов в межре-

монтном периоде наработки $[0, L_i]$ находится через функцию интенсивности отказов:

$$S(L_i, K_i) = \frac{1}{L_i} \left(1 + K_i \int_0^{L_i} \lambda(l) dl \right). \quad (7)$$

Оптимальная структура ремонтного цикла, рассчитанная по этой методике, обеспечивает минимум затрат на выполнение ремонтов. Но вероятность безотказной работы соответствующего оборудования в этом случае не имеет ограничений ни справа, ни слева, а зависит только от затрат на выполнение ремонтов и интенсивности нарастания потока отказов, то есть функции $\lambda(l)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горский А. В., Воробьев А. А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. – М.: Транспорт, 1994.
2. Скребков А. В., Алексеев С. А., Соколов С. А. Оптимизация межремонтных пробегов ТПС//Мир транспорта.– 2009.– № 1. ●

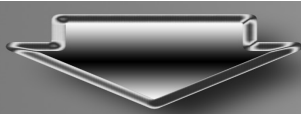
OPTIMIZATION OF DEADLINES ADJUSTED FOR FAILURES INTENSITY

Gorsky, Anatoly V. – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).
Kozyrev, Valentine A. – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).
Skrebkov, Alexey V. – Ph. D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors argue that engineering of repair cycle of locomotive equipment should be made by two methods: either by ensuring the standard level of reliability, or by minimizing repair costs. Operation indices of reliability are the basic ones in both cases, and failures intensity is most suitable among them for prior assessment.

Key words: traction rolling stock, repairs, optimization, function of failures intensity, distribution law, method of dynamic programming.

Координаты авторов (contact information): Горский А. В. – (495) 684–22–31, Козырев В. А. – (495) 684–28–52, Скребков А. В. – skrebkov_av@mail.ru.



ВЫСТАВКА К 175-ЛЕТИЮ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ РОССИИ

С 7 по 9 сентября в Москве на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ», где в разные годы испытывалась и проходила сертификацию различная железнодорожная техника, принимала своих гостей выставка, приуроченная к 175-летию железных дорог России.

В открытии выставки принял участие президент ОАО «РЖД» В. И. Якунин. В рамках торжественной церемонии собравшимся был представлен памятник, посвященный истории отечественного транспортного машиностроения. На постамент установлен паровоз Л-3348 (названный в честь своего главного конструктора Л. С. Лебединского), символизирующий богатое наследие железнодорожной инженерной мысли. На открытии памятника присутствовали потомки конструктора паровоза.

«Паровоз долгое время был основной рабочей силой российских железных дорог, а в скором времени на сети уже появятся десятки газотурбовозов. Инновации невозможны без знаний истории и технической культуры, опыта предыдущих поколений. Высочайший уровень, которым сегодня обладают наши инженеры, надо сохранять и поддерживать. Изучение прошлого — дорога в будущее», — отметил В. И. Якунин.

По ходу мероприятия был организован динамический показ железнодорожной техники. Посетители смогли увидеть как исторический, так и наиболее современный тяговый подвижной состав, используемый на сети железных дорог России. В ретро-параде приняло участие рекордное количество техники. Это и легендарные паровозы Ов, Эу, Су, Л, ПЗ6, ЛВ, и первые электропоезда, и локомотивы, уже давно не применяемые в отрасли, образцы которых сохранились и стали настоящими музейными экспонатами. Среди современного тягового подвижного состава, продемонстрированного на выставке, стоит отметить грузовой магистральный электровоз постоянного тока с асинхронным тяговым приводом 2ЭС10 «Гранит», ЭТ4А и экспериментальный газотурбовоз ГТ-1 — локомотив третьего тысячелетия.

Показ динамической экспозиции включал в себя также демонстрацию специального подвижного состава, в том числе путевой техники, при помощи которой для зрителей была про-



ведена показательная замена звена железнодорожного пути. Свои возможности презентовали пожарный и аварийно-восстановительный поезд. На искусственной полосе препятствий выступили автомобили высокой проходимости «КамАЗ», используемые для доставки ремонтных бригад в труднодоступные районы железнодорожной сети. Была продемонстрирована в движении по рельсам техника на двойном ходу — экскаваторы, трактор, дефектоскопы на базе УАЗ «Патриот», «КамАЗ».

Кроме того, официальные лица и гости выставки совершили ознакомительную поездку на электропоезде «Ласточка» (Desiro Rus), который в настоящее время проходит сертификацию для использования на железных дорогах России, а в дальнейшем будет применяться для перевозки гостей и участников Олимпиады-2014 в Сочи. Во время ознакомительных поездок электропоезд набирал скорость до 116 км/ч, при этом сохранялся очень тихий, плавный ход.

В рамках выставочных мероприятий прошел второй этап молодежного конкурса инновационных проектов «Новое звено». Финалисты ежегодного общесетевого соревнования были определены из более чем 300 молодых железнодорожников, представлявших все дороги страны.

(По материалам пресс-центра ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»), пресс-службы ОАО «РЖД», газеты «Инженер транспорта» (МИИТ)).

