

## ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

© 2011 И.К. Андрончев, А.А. Булатов, О.Г. Булатова

Самарский государственный университет путей сообщения

Поступила в редакцию 10.11.2011

Предложена классификация смазочных материалов, применяемых при техническом обслуживании и ремонте железнодорожного подвижного состава. Представлены математические выражения для определения расхода смазочных материалов в соответствии с их классификацией.

Ключевые слова: методика, смазочный материал, техническое обслуживание, ремонт, подвижной состав, железнодорожный транспорт, надежность

Достигнутый уровень надежности еще далек от требуемого в современных условиях эксплуатации подвижного состава. От низкой надежности тягового подвижного состава экономика отрасли терпит существенный экономический ущерб. Последствия отказов машин, технических систем и объектов можно разделить на две категории:

1) прямые потери из-за отказа, аварии, катастрофы (простой отказавших машин, производства, т. е. невыполнение заданных функций, задач; влияние на здоровье и жизнь людей; вредное экологическое воздействие на окружающую среду);

2) затраты на восстановление отказавших технических устройств, их ремонт и восстановление работоспособности.

Затраты на ремонт локомотивов, мотор-вагонных поездов составляют существенную часть эксплуатационных расходов компании «Российские железные дороги».

Около 30 % работников локомотивного хозяйства занято на ремонте локомотивов. Ремонт каждого локомотива за весь срок службы обходится дороже более чем в 10 раз его первоначальной стоимости.

Недостаточная надежность технических средств железных дорог приводит к задержкам поездов, снижению пропускной и провозной способности железных дорог.

Например, для оценки качества электровоза необходимо учитывать в первую очередь функциональные показатели – мощность, скорость, силу тяги (при трогании, на руководящем подъеме), удельный расход энергии на единицу выполненной работы и др.

По каждому виду технического устройства имеется свой набор параметров, показателей качества, указанных в паспорте. Дело в том, что все паспортные показатели и параметры характеризуют лишь

технические возможности тяговой единицы, но эти возможности реализуются только при производственной эксплуатации подвижного состава. Причем различные машины могут вести себя в работе по-разному. Уже тогда, в 70-х гг., сотрудниками локомотивных кафедр вузов МПС была начата разработка методов и технических средств диагностирования узлов локомотивов как основного направления повышения надежности и совершенствования системы ТОР тягового подвижного состава, сформулированы теоретические и методические основы перехода к более гибкой и дифференцированной системе ТОР от жесткой планово-предупредительной. И это явилось основным содержанием научных работ, выполненных на третьем этапе сотрудниками локомотивных кафедр совместно с работниками железных дорог. Обсуждению этой проблемы была посвящена всесоюзная научно-техническая конференция "Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта", проведенная в 1989 г. в ОмИИТе совместно с ЦП НТО МПС.

Исследованиями [1] установлено, что целесообразно применять три методики регионального ремонтного цикла электровозов:

- корректировка существующего общероссийского (сетевого) регламентного ремонтного цикла применительно к данному региону с учетом его характеристик;
- разработка специфического для Поволжского региона регламента системы технического содержания на базе общесетевого;
- разработка индивидуального – для электровоза, используемого в данном регионе – системы технического содержания.

Разработка индивидуального перечня работ для электровоза, с внедрением в полном объеме системы АСУТ не представляет особой сложности, поскольку у каждого электровоза будет свой «электронный» паспорт, в котором будут храниться все данные и досье от момента постройки или капитального ремонта. Причем индивидуальный цикл должен основываться на общесетевом с учетом местных коэффициентов адаптации [2].

*Андрончев Иван Константинович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе СамГУПС;  
Булатов Андрей Александрович, директор транспортного общеинженерного института;  
Булатова О.Г.*

В связи с различными климатическими и другими условиями технического содержания сложных технических систем в т.ч. электровозов коэффициент вариации ресурсов их одноименных деталей и узлов колеблется в пределах 0.7-1.2. Это связано с большим рассеиванием интенсивности изнашивания деталей и соединений, под воздействием различных условий эксплуатации. При соблюдении единой периодичности и технических требований на ремонт тягового подвижного состава на сети дорог – вне зависимости от особенностей условий эксплуатации – частота отказов и расходы на техническое содержание также велики.

Климатические и другие условия системы технического содержания (СТС) в границах региона различаются не столь сильно, однако, специфический для данного региона ремонтный цикл для ТПС, учитывающий это рассеивание, позволяет значительно снизить частоту отказов и расход запасных частей. Индивидуальный ремонтный цикл еще в большей степени сокращает вариацию. При установлении одновременно индивидуального и регионального ремонтных циклов, технико-экономическая эффективность СТС окажется еще выше.

Для адаптации СТС к конкретным условиям полигона обращения необходимо учесть все значимые факторы, которые влияют на динамику изменения контролируемых параметров и потенциальные возможности по повышению надежности в эксплуатации в заданном регионе. Например, параметром, характеризующим изоляционные свойства диэлектриков, является сопротивление изоляции. Все электрические цепи, работающие под напряжением, имеют определенное сопротивление, которое не должно быть меньше некоторого предельного допустимого значения. Например, сопротивление изоляции цепи тяговых двигателей в эксплуатации должно быть не менее 1,2 МОм. Следовательно, в эксплуатации необходимо периодически (либо постоянно) оценивать техническое состояние объектов - отдельных узлов и агрегатов или локомотива в целом. Процесс определения состояния объекта называется техническим диагностированием. В ходе оценки технического состояния получают конкретные значения диагностических признаков или параметров, которые затем сравнивают с установленными требованиями и нормами (допусками). Получение информации о техническом состоянии объекта может осуществляться на основе физических, химических, биологических и других явлений, происходящих под воздействием погодных условий.

Разработка общего коэффициента адаптации рассчитывается исходя из условий влияния и коэффициента веса на конкретный контролируемый параметр. При корректировке ремонтного цикла, в первую очередь необходимо учесть климатические условия работы локомотивов.

Региональный ремонтный цикл определяется из условий минимума издержек с учетом постепенных и внезапных отказов, вызванных климатическими

факторами, и оптимизируется на основе варьирования и удельного изменения предельного технического ресурса. Методика определения лимитирующих узлов по климатическому фактору базируется на основных законах теории вероятности и надежности. Количественной характеристикой является число отказов данного вида оборудования, а качественной – параметр потока отказов. Методика направлена на выявление лимитирующих узлов по влиянию климатических факторов.

Информацию о деградационном процессе лимитирующих узлов можно получить из рассмотрения динамики некоторых процессов изменения контролируемых параметров.

Обозначим через  $Y_t$  значение параметра в момент  $t$ . В теории восстановления рассматривается стохастический процесс  $\{Y_t\}_{t \geq 0}$ , задаваемый в виде  $Y_t = Y_0 + X_t$ , где  $\{X_t\}_{t \geq 0}$  – действительно-значимый стохастический процесс, обладающий свойством  $P(X_0=0)=1$ .

При обслуживании не по нормативу а по состоянию каждого конкретного узла, не рассматривается ансамбль случайных функций  $\{Y_t\}_{t \geq 0}$ , а отдельная реализация  $Y_t$ . При этом будем считать известной модель динамики определяющего параметра с точностью до постоянных неизвестных коэффициентов этой модели, оцениваемых путем математической обработки измерений процесса  $Y_t$ .

Динамика определяющего параметра задается в виде

$$Y_t = Y_0 + Vt \quad (1)$$

где  $Y_0$  – известная величина;  $V$  – нормально распределенная случайная величина с математическим определением  $\mu_v$  и дисперсией  $\sigma_v^2$ , т.е.  $P=(V \leq y) = \Phi[(y - \mu_v) / \sigma_v]$ , а распределение  $\phi(x)$  задано выражением

$$\phi(x) = \frac{\int_{-\infty}^x e^{-(y/2)^2} dy}{2(\pi)^{1/2}} \quad (2)$$

Таким образом, параметр  $Vt$  распределен нормально с математическим ожиданием  $M[Y_t] = Y_0 + \mu_v t$  и дисперсией  $D[Y_t] = \sigma_v^2 t^2$ .

Тогда односторонняя допустимая область и монотонно возрастающие реализации стохастического процесса  $\{Y_t\}_{t \geq 0}$  для  $P(V \geq 0) = 1$  и вероятность безотказной работы будет:

$$F(\ell) = \Phi \left[ \frac{Y_B - M(Y_1)}{\sigma(Y_1)} \right] \quad (3)$$

Интервал восстановления  $\tau_B$  рассчитывается из условия  $F(\tau_B) = P_{зад}$ , где  $P_{зад}$  – заданное значение вероятности безотказной работы.

Тогда из (3) следует равенство:

$$U_{Рзза} = \frac{Y_B - Y_0 - \mu_v \tau_B}{\sigma_B \tau_B} \quad (4)$$

И следовательно

$$\tau_B = \frac{Y_B - Y_0}{\mu_V + \sigma_V U_{Rзад}}$$

где  $U_{Rзад}$  – квантиль стандартного нормального распределения.

Будем считать, что систематическая погрешность отсутствует, а случайная нормально распределенная погрешность характеризуется дисперсией  $\sigma_0^2$ . в качестве неизвестной величины  $V$  принимаем ее оценку, полученную методом наименьших квадратов [90]:

$$V_i = \frac{1}{i\Delta_t} \sum_{j=1}^n (Y_j - Y_{j-1}), \quad (5)$$

где  $Y_j$  – измерение параметра  $Y_t$  в дискретный момент времени  $j\Delta_t$ ;  $i$  – число измерений.

Оценка  $\underline{V}_i$  имеет нормальное распределение с математическим ожиданием  $M[\underline{V}_i] = V$  и дисперсией

$$D[\underline{V}_i] = \frac{\sigma_V^2 (2i-1)}{\Delta_t^2 i^2}.$$

При подстановке оценки в модель получаем (1) получаем нормально распределенную оценку текущего значения параметра  $Y_t$ :

$$Y_t = Y_0 + V_i \Delta_t$$

с математическим ожиданием  $M[\underline{Y}_i] = Y_0 + V_i \Delta_t$  и дисперсией  $D[\underline{Y}_i] = \sigma_V^2 (2i-1)$ .

Оценка  $\underline{V}_i$  позволяет построить прогнозируемое значение определяющего параметра  $Y_{i+m} (m=0, 1, 2, \dots)$ :

$$\underline{Y}_{i+m} = Y_0 + \underline{V}_i (i+m) \Delta_t$$

с математическим ожиданием  $M[\underline{Y}_{i+m}] = Y_{i+m}$

и дисперсией  $D[\underline{Y}_{i+m}] = \frac{\sigma_V^2 (2i-1)}{i^2} (i+m)^2$ .

Таким образом, случайная величина

$$z = \frac{Y_{i+m} - \underline{Y}_i (i+m)}{\sigma_V (i+m) \sqrt{2i-1} / i}$$

имеет стандартное нормальное распределение, и интервал восстановления  $(i+m)\Delta_t$ . И тогда

$$U_{Rзад} = \frac{Y_B - Y_0 - \underline{V}_i (i+m)}{\sigma_V (i+m) \sqrt{2i-1} / i}.$$

Отсюда находим

$$(i+m)\Delta_t = (Y_B - Y_0) / [U_{Rзад} \sigma(\underline{V}_i) + \underline{V}_i]. \quad (6)$$

Для оценки значимости различных факторов на показатели оценки качества функционирования электровозов, проводится факторный анализ влияния различных воздействий.

Под воздействием низких температур и перепада температур, значительно ухудшаются показатели работы электрических машин и аппаратов. Также, в определенный период, возникает значительный рост числа отказов моторно-осевых подшипников. Под воздействием климатических факторов, значительно снижается вероятность безотказной работы обо-

дования, при этом, влияние климатических факторов сказывается как на постепенные (параметрические), так и на внезапные отказы (отказы электрических машин и аппаратов).

Для оценки влияющих факторов, воспользуемся элементами теории надежности. Наиболее подходящий для этих целей показатель – параметр потока отказов оборудования:

$$\omega(L) = \frac{\sum ni}{N\Delta L} \quad (7)$$

где  $\sum ni$  – количество отказов данного вида оборудования в интервал наработки;

$N$  – количество локомотивов в данном интервале наработки;  $\Delta L$  – интервал наработки.

Если принять за нормальные условия  $U_n$  – такие, когда число отказов минимально, и зафиксировать некоторое значение параметра потока отказов, можно получить некоторую зависимость числа отказов от температуры окружающего воздуха. При этом, значение параметра потока отказов будет зависеть от множества факторов. Для оценки влияния, предлагается ввести калибр влияния  $W$ , который отражает сущность происходящих процессов и будет равен:

$$W = \frac{\omega_m}{\omega_d} \quad (8)$$

где  $\omega_m$  – значение параметра потока отказов в предыдущий интервал времени;  $\omega_d$  – текущее значение параметра потока отказов.

Данное отношение позволяет оценить изменение внешних возмущающих факторов на техническое состояние электровозов. При стабильном характере возникновения неисправностей электровозов  $W = (0.95 \div 1.05)$ , а при увеличении его на величину более 1.4, можно сделать заключение о появлении стабильных возмущающих факторов, вызывающих повышенный износ узлов электровоза. Величины интервалов наблюдений устанавливаются исходя из общего числа парка эксплуатируемых электровозов и данных метеостанции для региона эксплуатации. Оценка эффективности СТС электровозов может определяться по величине доходов, учитывая, что затраты на ремонт и обслуживание входят в стоимость перевозок. Условия эффективного использования электровозов в эксплуатации подразумевают снижение затрат на техническое содержание, при безусловном соблюдении безопасности движения. Следовательно, основным критерием эффективности выступает функционал надежности электровоза в заданных условиях.

## ВЫВОДЫ

1. Выбор показателей технического состояния увязан с особенностями решаемых задач, при этом, вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, удельные суммарные затраты и коэффициенты технического использования в наибольшей

степени позволяют определять влияние различных эксплуатационных факторов на техническое состояние и динамику деградационных процессов. Определены требования к входным управляющим воздействиям системы технического содержания, с учетом требуемых заданных выходных характеристик основных показателей технического использования электровозов.

2. Предварительными исследованиями установлена явная взаимосвязь климатических факторов и технического состояния конструктивных и функциональных элементов электровоза. Полученное уравнение регрессии показало, что увеличение числа сверхнормативных пробегов ухудшает техническое состояние, причем, особенно это выражается при неблагоприятных климатических условиях по ряду узлов локомотивов. Такое обстоятельство свидетельствует о необходимости проведения исследований по оптимизации регламентных работ, направленных на снижение отрицательного воздействия климатических факторов на надежность работы

оборудования. Основным критерием оптимизации, выбраны удельные суммарные затраты, которые находятся в зависимости от числа неплановых и дополнительных ремонтов.

Региональный ремонтный цикл определяется из условий минимума издержек с учетом постепенных и внезапных отказов, вызванных условиями эксплуатации, и оптимизируется на основе варьирования и удельного изменения предельного технического ресурса в заданных условиях эксплуатации.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Булатов А.А., Тычков А.С. Выбор методики диагностирования оборудования электровозов постоянного тока // Межвузовский сборник научно-технических статей «Совершенствование конструкции и системы обслуживания локомотивов». – СПб.: ПГУПС, 2004. - С. 71-75.
2. Александровская Л.Н., Афанасьев А. П., Лисов А. А. Современные методы обеспечения сложных технических систем: Учебник. – М.: Логос, 2001. – 208 с.

#### **PROBLEMS OF INCREASE OF RELIABILITY OF THE ROLLING STOCK**

© 2011 I.K. Andronchev, A.A. Bulatov, O.G.Bulatova

The Samara state university of means of communication, Samara

Classification of the lubricants applied at maintenance service and repair of a railway rolling stock is offered. Mathematical expressions for definition of the expense of lubricants according to their classification are presented.

Key words: a technique, lubricant, maintenance service, repair, a rolling stock, a railway transportation, reliability.

---

*Andronchev Ivan Konstantinovich, Dr.Sci.Tech., the professor, the pro-rector on scientific work of SamGUPS.  
BulatovAndrey Aleksandrovich, the director transport engineering institute.*