

УДК 621.014.539.4

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РЕСУРСА ЛОКОМОТИВНЫХ КОЛЕС В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

© 2015 А.В. Григорьев, В.В. Лепов

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова, г. Якутск

Поступила в редакцию 18.03.2015

Описана методика оценки накопления поврежденности и ресурса элементов железнодорожной техники. Произведен расчет накопленной поврежденности в бандаже колеса с учётом влияния низких температур на снижение пластичности. Результаты расчётов позволили оценить накопленную поврежденность в зависимости от температуры окружающей среды в регионах с умеренным и резко континентальным климатом. Предложен подход, в котором с помощью численной аппроксимации рассчитаны значения ударной вязкости, соответствующие минимальным температурам региона по календарным месяцам.

Ключевые слова: бандаж, локомотивное колесо, накопление повреждений, ресурс

Железная дорога, расположенная на территории Республики Саха (Якутия), отличается экстремальными условиями эксплуатации полотна и элементов подвижного состава: это резко континентальный климат с продолжительным периодом низких температур (для отрицательных температур составляет около 210 суток), минимальной температурой до -60°C , и разностью средних температур в течение года более 70°C , также велики суточные колебания температуры в межсезонье. Относительная влажность воздуха изменяется здесь в течении года в широких пределах, наиболее высокая отмечается в декабре-феврале, что соответствует минимуму температуры. Большая часть территории Республики Саха (Якутии) относится к районам многолетней мерзлоты.

Из анализа теоретических и экспериментальных работ следует, что сезонные колебания и экстремально низкие климатические температуры отрицательно сказываются на характеристиках динамической прочности машин и оборудования из малоуглеродистой и закаленной стали, не говоря уже о снижении общей эксплуатационной надежности изделия. В этих условиях наблюдается резкое повышение количества выхода из строя отдельных узлов техники. Однако обоснований повышенного количества отказов и выхода из строя элементов железнодорожной техники вследствие контактно-усталостной поврежденности накоплено пока недостаточно,

необходимы дополнительные исследования. Следует отметить, что в процессе эксплуатации такие элементы железнодорожной техники, как колеса и бандаж локомотивных колес, кроме статического, подвергаются достаточно сложному взаимодействию двух видов циклического нагружения – многоциклового усталостного и малоциклового ударного [1]. Установлено, что свойства материала локомотивных колес пластически компенсировать возникающие деформации ухудшаются при низких температурах. И хотя предел текучести несколько повышается, относительное удлинение существенно падает, в материале происходит вязко-хрупкий переход, или потеря пластичности, и материал «охрупчивается» [2]. Следовательно, немаловажное значение на охрупчивание металла железнодорожных колес, кроме степени наклепа от деформации, имеет температура окружающей среды и режимы эксплуатации

Ударная нагрузка от рельсовых стыков значительно ухудшает условия работы, что приводит к возникновению ряда опасных повреждений помимо усталости металла и может явиться причиной полного выхода колеса из эксплуатации. Если учесть, что длина железнодорожного рельса на участке в среднем составляет 20 м, то может быть рассчитано количество циклов до разрушения от ударно-контактного нагружения. Как показывает опыт эксплуатации локомотивов на участке Алдан-Томмот, зимой ресурс локомотивного колеса от одной обточка до другой составляет всего два-три месяца, за каждый из которых оно пробегает в среднем 12 000 километров (преимущественно в декабре-феврале и январе-марте). Ремонт занимает около одного

Григорьев Альберт Викторович, ведущий инженер. E-mail: greegor1212@mail.ru

Лепов Валерий Валерьевич, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе. E-mail: lepov@iptpn.yzn.ru

месяца и включает обточку бандажа всех колес, независимо от индивидуальных повреждений. Усталостный износ в зимнее время практически отсутствует.

В этих условиях определение точного ресурса элементов железнодорожного транспорта от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние, является одной из наиболее сложных задач. Точное определение ресурса имеет важное научное, инженерное и прикладное значение. Особенно важным моментом является проблема индивидуальной оценки ресурса отдельных узлов по результатам наблюдения за их состоянием в процессе эксплуатации, что позволит сформировать технические задачи в области диагностирования данных объектов, оптимизировать финансовые затраты, а также изготовить детали и узлы с оптимальным ресурсом в зависимости от условий их эксплуатации. В свете противоречивости требований к механическим характеристикам железнодорожных колес задача поиска оптимальных соотношений между этими характеристиками в зависимости от условий эксплуатации остается актуальной.

Цель работы: прогнозирование накопления поврежденности и ресурса элемента железнодорожной техники при эксплуатации в регионах с умеренным и резко континентальным климатом.

Объект исследований: бандаж локомотивного колеса, изготовленный из колесной стали марки Кп-2 (химический состав: С-0,6, Si-0,33, Mn-0,83, P <0.02, S<0.02). В процессе эксплуатации объект подвергается статическим и циклическим (динамическим ударным) нагрузкам. В этой связи возникает необходимость как определения сопротивления материала действию таких ударных нагрузок, так и количественного расчета накапливаемых в нем повреждений. Согласно разработанному подходу [3], возможна оценка накопленной поврежденности при малоцикловом нагружении с учетом вязко-хрупкого перехода в материале бандажа колес на соответствующем участке железной дороги в зимние календарные месяцы, согласно следующей зависимости:

$$\psi_L = \sum_{j=1}^K \left[\left(1 - \frac{KCV_j}{KCV_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

где ψ_L – относительная поврежденность, обусловленная низкими температурами, KCV_0 , KCV_j – исходная (при комнатной температуре), и ударная вязкость в момент j -го повреждения, соответственно, $m \sim 0,25-0,3$ – коэффициент, зависящий от материала и вида НДС.

В целях подтверждения недопустимости эксплуатации колес из одного того же материала в условиях Крайнего Севера и средней полосы России, необходимо учесть температурные условия эксплуатации и оценить таким образом разницу в процессах накопления повреждений в различных климатических зонах. Для этого воспользуемся данными Гидрометцентра РФ, например, в Московской области. На рис. 1 представлены усредненные кривые минимальных климатических температур на участке Нерюнгри-Томмот и Московской области по месяцам года за 5 лет. Следует отметить, что значения минимальной температуры окружающей среды на участке Нерюнгри-Томмот в основном лежат ниже -20°C , таким образом, большую часть года элементы колеса эксплуатируются при пониженных значениях ударной вязкости. Учитывая то, что перепады температуры окружающей среды на исследуемом участке дороги составляют в среднем более 70°C , можно сопоставить значения ударной вязкости, полученные в результате вышеописанных испытаний на ударный изгиб [1], с данными по температуре, откуда можно увидеть, что в зимнее время материал бандажа локомотивного колеса работает в неблагоприятной области с пониженной стойкостью к ударным нагрузкам и подвергается опасности хрупкого разрушения. При этом в элементах железнодорожных конструкций также возникают большие температурные напряжения.

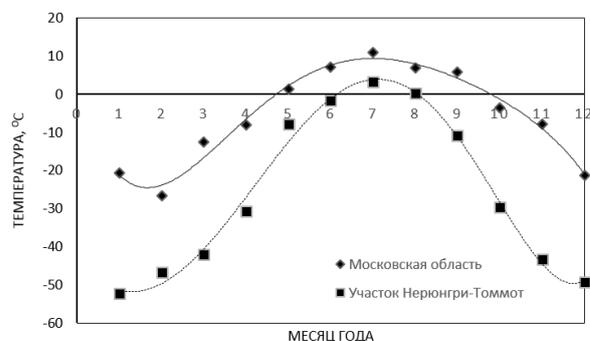


Рис. 1. Минимальные климатические температуры

В соответствие с усредненными значениями минимальных температур, представленных выше, можно численно аппроксимировать значения ударной вязкости по соответствующим календарным месяцам года. Усредненные результаты вычисленных значений ударной вязкости KCV бандажа колеса в условиях на участке Нерюнгри - Томмот и в Московской области представлены на рис. 2. На рис. 3 представлена кривая зависимости ударной вязкости KCV от температуры после сплайновой аппроксимации.

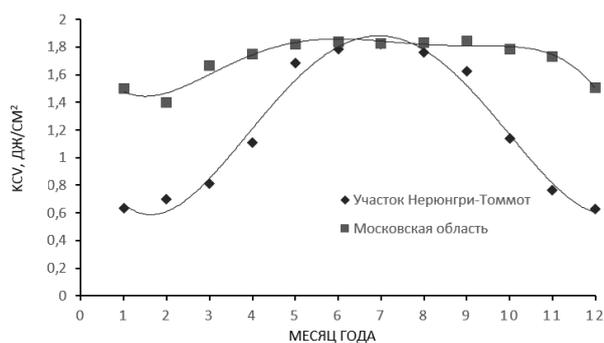


Рис. 2. Значения ударной вязкости, соответствующие минимальным температурам

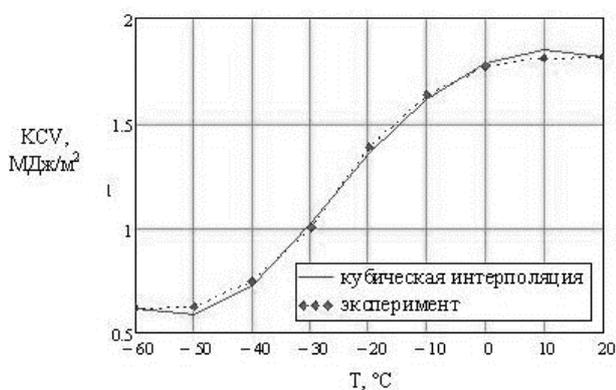


Рис. 3. Сплайн-интерполяция зависимости значения ударной вязкости от температуры

В настоящей работе осуществлен численный расчет поврежденности, накопленной в бандаже локомотивного колеса, с учётом влияния низких температур на снижение пластичности согласно формуле (1), что выражено зависимостями ударной вязкости на соответствующем участке железной дороги (рис. 2): на участке Нерюнгри - Томмот мера поврежденности составила $\Psi_L=0,851$, тогда как в Московской области вычисление относительной поврежденности по (1) дает величину $\Psi_L=0,364$, что более, чем в 2-3 раза ниже, чем для участка Нерюнгри-Томмот в Якутии. Реально же повреждения из-за более жестких условий эксплуатации (зазор между рельсами и ударная нагрузка будут значительно выше при низких температурах) отличаются еще больше. Опыт эксплуатации локомотивов на железной дороге в условиях Республики Саха (Якутия) показывает снижение срока службы колес в 3 раза, чем в регионах с умеренным климатом.

В качестве примера приведем исследование поврежденности колесных пар локомотивного парка ОАО АК «Железные дороги», где пробег тепловозов между обточками по причине образования на поверхности катания бандажей локомотивных колес недопустимых дефектов контактно-усталостного характера составляет в

среднем 12 000 км. Тогда количество циклов на 12 тыс. км составит:

$$N = 303 \times 12 \times 10^3 \approx 3,636 \times 10^6.$$

Очевидно, что материал колеса накапливает повреждения, близкие к пределу усталости для данной стали, эксплуатируемой в условиях низких температур. В то же время число ударно-контактных повреждений по стыкам рельсов, учитывая среднюю длину одного рельса в пути равную 20 м, будет равно: $N_l = 12 \times 10^6 / 20 = 6 \times 10^5$, что соответствует малоцикловому повреждению.

На основании проведенных исследований и результатов численного расчета накопленной поврежденности, согласно формуле (1), приведем методику определения ресурса бандажа локомотивного колеса по следующей схеме:

1. Согласно (1) рассчитывается накопленная поврежденность в ободке локомотивного колеса Ψ .
2. Определяется количества циклов N_{lim} с условием, что при достижении $\Psi_L=1$ наступает предельное состояние.
3. Вычисляется пробег локомотива в километрах, с учетом длины одного рельса ~ 20 м.
4. Определяется ресурс бандажа локомотивного колеса, с учетом числа обточек n за весь жизненный цикл колеса.

С использованием вышеописанной методики оценки поврежденности и ресурса бандажа локомотивного колеса был проведен расчет ресурса бандажа локомотива, эксплуатируемого на железной дороге Республики Саха (Якутия). В соответствии с приведенной схемой определим следующее:

1. Мера накопленной поврежденности, рассчитанная по формуле (1), составит $\Psi_L=0,851$, что соответствует числу циклов ударного нагружения по стыкам рельсов $N_l = 6 \times 10^5$.
2. При условии достижения предельной меры повреждений $\Psi_L = 1$ наступает разрушение материала, и количество циклов по формуле (2) станет равным $N_{lim}=7,05 \times 10^5$.
3. Согласно (3) рассчитывается пробег локомотива до образования недопустимого дефекта, $L=14101$ км (с учетом средней длины рельса на данном участке дороги $l \sim 20$ м).
4. При выполнении условий по данной схеме, определяется ресурс бандажа локомотивного колеса $T = 112\ 808$ км (4).

Выводы: расчет ресурса бандажа локомотивного колеса позволил определить пробег до момента образования поверхностного повреждения браковочного размера и за весь жизненный цикл. Расчетный пробег составил 112 808 км, что 2-3 раза меньше, чем пробег бандажа в регионах с умеренным климатом и меньше га-

рантированного заводом-изготовителем пробега для нового бандажа почти в 4-5 раз. Важно отметить, что при внедрении в производство железнодорожных колес новых марок в условиях низких климатических температур можно с использованием вышеописанной методики исследований подобрать элемент железнодорожной

техники с оптимальными характеристиками. Предложенная методика определения ресурса позволит спрогнозировать достижение предельной поврежденности данного узла, что позволит оптимизировать и спланировать финансовые расходы на содержание колесных пар.

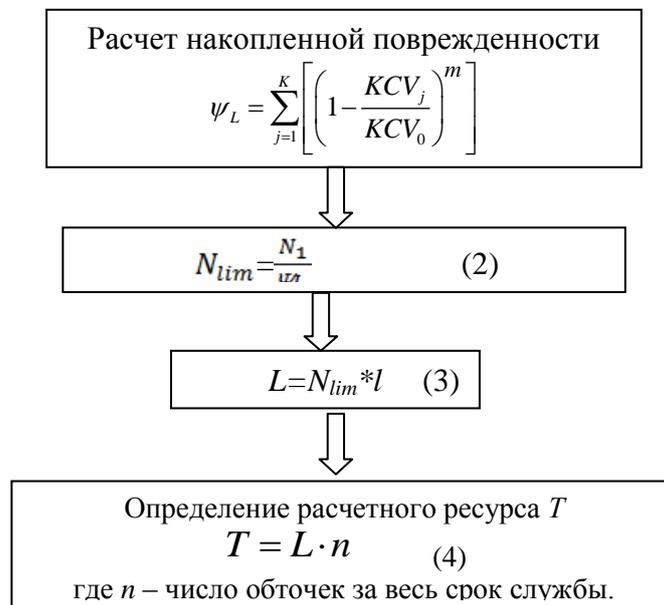


Рис. 4. Схема методики расчета ресурса бандажа локомотивного колеса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Григорьев, А.В. Повреждения и ресурс колес локомотивов, эксплуатируемых в условиях Севера / А.В. Григорьев, В.В. Лепов // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журнал. 2014. №2. DOI: [10.7463/0214.0699140](https://doi.org/10.7463/0214.0699140).
2. Григорьев, А.В. Механизмы накопления повреждений и разрушения материала обода железнодорожного колеса при эксплуатации в условиях Севера / А.В. Григорьев, В.В. Лепов // Вестник Северо-Восточного федерального университета. 2012. Том 9, №1. С. 79-85.
3. Григорьев, А.В. Оценка ресурса элементов железнодорожной техники, эксплуатирующихся в условиях низких климатических температур / А.В. Григорьев, В.В. Лепов, В.Н. Тагров // Наука и образование. 2014. №1 (73). С. 35-39.

FORECASTING THE DAMAGES ACCUMULATION AND RESOURCE OF LOCOMOTIVE WHEELS IN THE CONDITIONS OF COLD CLIMATE

© 2015 A.V. Grigoriev, V.V. Lepov

Institute of Physical and Technological Problems of the North named after V.P. Larionov, Yakutsk

The method of assessment the damages accumulation and resource of railway equipment elements is described. Calculation of accumulated damages in a wheel bandage taking into account the influence of low temperatures on decrease in plasticity is made. Results of calculations allowed to estimate the accumulated damages depending on environmental temperature in regions with moderate and sharply continental climate. Approach in which by means of numerical approximation the values of impact strength corresponding to the minimum temperatures of the region on calendar months are calculated is offered.

Key words: *bandage, locomotive wheel, damages accumulation, resource*