

НЕОБХОДИМОСТЬ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БОКОВОГО ИЗНОСА РЕЛЬСОВ

Проведено обоснование необходимости мониторинга и прогнозирования бокового износа рельсов. Сделан вывод, что это позволит внедрить стратегию обслуживания и ремонта пути по техническому состоянию.

Ключевые слова: боковой износ рельсов, прогнозирование, мониторинг

Введение.

Путь – многоэлементный ремонтируемый и восстанавливаемый объект надежности. Он не резервирован по основному несущему элементу – рельсу – и имеет нагрузочное резервирование по элементам рельсового основания. Поэтому отказ рельса является отказом пути на данном участке, а отказ какого-либо элемента рельсового основания, например шпалы, подкладки, не является отказом пути, так как соседние элементы воспринимают нагрузку на себя.

Металл головки рельсов при их работе в пути под воздействием колес подвижного состава подвергается деформациям (износ, смятие и т.д.). На поверхности и внутри головки появляются дефекты, в основном контактно-усталостного происхождения, развитие которых может привести к излому рельсов. Изменение формы головки является следствием сил трения в зонах контакта колеса и рельса, в результате которого образуется вертикальный, боковой и волнообразный износ.

Разработаны специальные технологии, позволяющие увеличить срок службы рельсов. К ним относятся: дозированная лубрикация (смазка), которая позволяет в 2-4 раза уменьшить интенсивность бокового износа в кривых малого радиуса; перекладка рельсов со сменой рабочего канта, позволяющая включить в работу на износ другую сторону головки рельсов; профильная шлифовка, выравнивающая поверхность рельса и придающая новое очертание головке [1].

В работе [2] проведен анализ эффективности работы дорог по снижению износов в системе «колесо-рельс», где отмечается, что наиболее сложные условия для системы «колесо-рельс» наблюдается на трех дорогах: Свердловской, Забайкальской и Восточно-Сибирской. По итоговому рейтингу, характеризующему износ гребней колес, рельсов и остяков, Восточно-Сибирская дорога оказалась на последнем месте. Одной из причин этого факта является то, что доля кривых с радиусом меньше 1000 м на главных путях у ВСЖД равна 34% и это значение наибольшее из всех дорог. При этом грузонапряженность (Г, млн т·км брутто на 1 км в год) Восточно-Сибирской дороги значительно выше, чем среднее значение по сети (35,0 у ВСЖД и 28,9 – среднее значение на 01.01.05). Один из основных показателей – тонно-километровая работа в кривых (Г·L, где L длина пути в км) – на ВСЖД по данным на 01.01.05 ра-

вен 73570, что является вторым значением из всех дорог.

В связи с этим необходимо развивать и использовать мониторинг состояния пути, содержащий подсистему прогнозирования бокового износа, что позволит за ранее определять участки дороги, требующие замены рельсов.

Продление сроков службы рельсов особенно актуально для Восточно-Сибирской железной дороги, т.к. у нее доля кривых на главных путях наибольшая из всех дорог.

Путеобследовательская станция ЦНИИ-4

Вагоны данной системы являются средством дополнительного контроля состояния пути, и, в отличие от вагонов КВП-Л, на них, помимо контроля основных параметров (шаблон, уровень, рихтовки, просадки), устанавливаются системы контроля таких параметров, как:

- боковой износ рельсов;
- стыковые зазоры;
- температура рельсов.

Система ЦНИИ-4 постоянно развивается. Проведение модернизации решает две задачи: повышения точности измерения параметров пути и расширения функциональных возможностей вагона.

По первой позиции нужно отметить новую версию программного обеспечения, замену датчиков БК (букса-кузов), используемых для измерения уровня и просадок, установку системы оптических датчиков повышенной точности для контроля ширины колеи и бокового износа рельсов.

Дополнительное оборудование, установленное в процессе модернизации, расширяет возможности вагона по выявлению отступлений от норм содержания пути, что позволяет повысить безопасность движения поездов, а также выдать руководителям путевого хозяйства расширенный объем информации для планирования работ по текущему содержанию.

При проведении модернизации на вагон установлены датчики положения пути в плане по обеим рельсовым нитям (было только по одной), которые помимо своих прямых задач после соответствующей математической обработки информации позволяют выявлять отжимы рельсов, показывая неисправности скреплений и шпал.

В настоящее время ЗАО "ПИК Прогресс" серийно выпускает скоростную путеобследовательскую стан-

* - автор, с которым следует вести переписку.

цию ЦНИИ-4МД, на которую устанавливаются следующие системы контроля:

- бокового износа рельса;
- стыкового зазора;
- температуры рельс;
- коротких неровностей на поверхности катания.

Важность измерения дополнительных систем контроля безопасности пути общеизвестна. Можно привести лишь некоторые краткие характеристики каналов измерения дополнительных параметров пути, устанавливаемых на ЦНИИ-4МД.

Канал измерения бокового износа. Предназначен для определения износа рельсов и уточнения величины ширины колеи с учетом бокового износа. Известно, что существующие в настоящее время вагоны-путеизмерители, имеющие контактные принципы измерения (ролики), измеряют ширину колеи на глубине порядка 20 мм, при этом выдаваемая оценка практически не учитывает износ, который в кривых, как показала эксплуатация станции ЦНИИ-4МД, может существенно влиять на ширину колеи и, соответственно, на оценку, определяющую безопасность движения.

Измерение ширины колеи с учетом износа существенно повышает объективность ее оценки по параметрам безопасности. Для измерения используются отработанные и хорошо зарекомендовавшие себя лазерные датчики ширины колеи и соответствующие каналы обработки и программно-математического обеспечения.

Канал контроля коротких неровностей. Предназначен для обнаружения неровностей длиной от 0,4 до 1,5 м. Основной задачей, решаемой с помощью этих измерений, является определение мест для работы рельсошлифовальных поездов.

Для оценки параметров коротких неровностей разработаны соответствующие выходные формы и СПМО для их заполнения. При соответствующей программно-математической обработке информации канала контроля коротких неровностей можно определять "разболтанность" стыковых соединений на стыковом пути и поверхностные геометрические дефекты в местах сварки бесстыкового пути.

Канал измерения стыковых зазоров. Система реализована на основе двухканального оптического датчика ИК-диапазона с повышенной помехоустойчивостью. Чтобы исключить влияние дефектов рельса и

$$t_{ij} = T_{ij} - T_{i-1,j} ,$$

а время наработки

$$t_j = \sum_{i=1}^{I-1} t_{ij} , \quad (1)$$

где I – число классов технического состояния. Учитывая, что используется совокупность J ПТС, наработка

$$t = \min_j t_j, j=1, \dots, J, \quad (2)$$

где t_j определяется по формуле (1).

Распределение Вейбулла

Если функция распределения времени наработки для j -го ПТС не зависит от j и имеет вид $F_x(t)$, то закон для величины (2)

"забоя" стыков, измерение величины зазора производится на глубине 10 мм от уровня головки рельса. Информация о величине стыковых зазоров записывается в общий измерительный файл и может передаваться в общую базу данных о пути. Анализ результатов измерений зазоров станции ЦНИИ-4МД показывает хорошее совпадение с натурными измерениями

Канал контроля температуры рельс. Измерение температуры рельсов в сочетании с величинами зазоров позволяет прогнозировать величины зазоров при различных температурах и вероятность выбросов или разрывов рельсовых плетей. Канал контроля температуры рельсов реализован на основе бесконтактного инфракрасного пирометра. Инфракрасное излучение принимается от внутренней поверхности шейки рельса, преобразуется в цифровой сигнал, обрабатывается в контрольно-вычислительном комплексе станции ЦНИИ-4МД и записывается в общий измерительный файл.

В настоящее время в ЗАО "ПИК Прогресс" ведется создание для ЦНИИ-4МД дополнительных каналов контроля следующих характеристик:

1. Полного профиля головки рельса. Установка оптических лазерных датчиков на ЦНИИ-4МД позволит определять полный профиль головки рельса непрерывно и на высоких скоростях.

2. Геометрическое положение реперных знаков. Эта информация необходима для коррекции при определении положения рельсовой нити относительно геодезических реперов. Лазерная система определения геометрического положения реперных знаков в сочетании с инерциальной системой ЦНИИ-4МД позволит автоматизировано определять реальное положение пути в геодезической системе координат.

Одновременно с разработкой аппаратных средств контроля параметров пути совместно с ВНИИЖТ и ПТКБ ЦП МПС создается необходимая нормативно-технологическая база и соответствующее программно-математическое обеспечение.

Вероятностный подход к оценке остаточного ресурса

Обозначим через T_{ij} – момент времени, когда происходит смена технического состояния по j -му параметру технического состояния (ПТС). Тогда время нахождения в i -ом состоянии для j -го ПТС

$$F(t) = 1 - [1 - F_x(t)]^j . \quad (3)$$

При определенных условиях (функция $F_x(t)$ должна быть ограничена слева) функцию распределения (3) можно аппроксимировать распределением Вейбулла (4). Этот факт является теоретическим обоснованием значительного распространения этого распределения в теории надежности:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\beta}\right)^\alpha, t > 0; \quad (4)$$

$$F(t) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left[\frac{t}{\beta}\right]^{\alpha-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right], t > 0;$$

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right], t > 0;$$

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left[\frac{t}{\beta}\right]^{\alpha-1}, t > 0;$$

$$\bar{t} = \beta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right); D_t = \beta^2 \cdot \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\alpha+1}\right)\right];$$

$$V_t = \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha+1}\right) - \frac{\Gamma^2\left(\frac{1}{\alpha+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha+1}\right)} \right]^{\frac{1}{2}},$$

где $\Gamma(1+x)$ – гамма-функция;

$\Gamma(1+x) = x\Gamma(x)$; $\Gamma(n) = (n-1)!$. Здесь \bar{t} – математическое ожидание наработки; D_t – дисперсия; V_t – коэффициент вариации.

“Гамма-процентный ресурс” для этого закона определяется по формуле

$$T_\gamma = \beta \cdot (-\ln \gamma)^{\frac{1}{\alpha}}$$

При $\alpha=1$ распределение Вейбулла становится показательным с параметром $\lambda = \frac{1}{\beta}$

Зная закон для наработки с точностью до значений параметров, можно оценить вероятность безотказной работы, вероятность безотказной работы для остаточного ресурса и другие показатели надежности.

На практике помимо распределения Вейбулла используются и другие законы, например, распределение Бирнбаума-Саундерса и обратное Гауссовское распределение [3].

Необходимость прогнозирования бокового износа рельсов

Сложность применения вероятностного подхода при оценке показателей надежности и оценке закона распределения для остаточного ресурса заключается в трудности определения закона наработки и его параметров для конкретной единицы оборудования, вследствие невозможности получения необходимых экспериментальных данных.

В подобных случаях рекомендуется создать систему сбора данных по параметру технического состояния (в нашем случае – боковой износ) и реализовать подсистему прогнозирования его значений.

Сошлемся на работу [4], посвященную диагностике рельсов на дорогах Северной Америки. В этой работе отмечается:

1) согласно статистическим данным о безопасности движения Федеральной железнодорожной администрации США, доля аварий из-за неисправности пути была равна 36%, а из-за дефектов колес – 3%;

2) контактная усталость рельсов под воздействием высоких осевых нагрузок в сочетании с уменьшением поперечного сечения головки рельса в результате изнашивания и шлифования яв-

ляется идеальной предпосылкой для разработки и реализации на практике системы текущего содержания и ремонта пути по *техническому состоянию*;

3) при контроле состояния рельсов решающее значение имеет интервал между проверками. Чтобы уменьшить риски, администрация дороги выбирает частоту прохода контрольно-измерительных средств, исходя из баланса стоимости контроля и замены рельсов с учетом предполагаемых убытков от возможных сходов.

Необходимость введения мониторинга состояния пути, а также внедрение стратегии обслуживания пути по техническому состоянию являются базовыми задачами и для Российских железных дорог. Здесь можно сослаться на работу [5], где определены основные задачи, которые стоят перед ВНИИЖТом и Российскими дорогами. Приведем основные положения этой работы.

1. Отмечаются успехи по устранению отрицательных факторов в системе «колесо-рельс», а именно: а) внедрение современных путевых лубрикаторов СПР-02; б) внедрение износостойких колес повышенной твердости, износостойких бандажей локомотивов и рельсов из заэвтектоидной стали с увеличением на 25-30% срока службы по боковому износу головки; в) увеличение протяженности бесстыкового пути, боковой износ головки рельсов в кривых на котором на 30% ниже, чем на звеньевом пути.

2. При этом отмечается, что «не удастся увеличить срок службы вагонных колес, рельсов в кривых и стрелочных переводах. Это во многом объясняется несовершенной системой мониторинга. Целесообразно вести контроль за реальным сроком службы бандажей, вагонных колес и рельсов».

3. В программе «Колесо-рельс» на 2009-2015 годы, направленной на скорейшее решение стратегических задач инновационного развития ОАО «РЖД» в разделе «Ресурсосбережение в системе «колесо-рельс» намечено направление «Разработка и внедрение системы ремонта пути и ходовых частей подвижного состава по техническому состоянию».

Подводя итоги этой работы можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо совершенствовать мониторинг пути по сбору и накоплению данных по боковому износу рельсов, особенно на кривых участках. В качестве технического средства, оснащенного развитыми программно-аппаратными средствами, можно рекомендовать путеобследовательские станции ЦНИИ-4 и их модификации, например, скоростную станцию ЦНИИ-4МД.

2. Данные по боковому износу необходимо рассматривать как временные ряды, являющиеся исходными для подбора и использования прогнозных моделей.

3. Модели прогнозирования бокового износа рельсов необходимо рассматривать как процеду-

ры оценки их остаточного ресурса, что позволит внедрить стратегию обслуживания и ремонта пути по техническому состоянию.

Литература

1. Профильная обработка рельсов шлифовальными поездами с активными рабочими органами / под ред. В. Г. Альбрехта. – М.: ТЕХИНФОРМ, 1999. – 94 с.

2. Ермаков, В. М. Анализ эффективности работы дорог по снижению износов в системе «колесо-рельс» / В. М. Ермаков // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 7. С. 58 – 64.

3. Краковский, Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования / Ю. М. Краковский. – Новосибирск : Наука, 2006. – 228 с.

4. Бугаенко, В. М. Диагностика и репрофилирование рельсов на дорогах Северной Америки / В. М. Бугаенко, В. С. Лысюк // Путь и путевое хозяйство. - 2006. - № 5. - С. 34– 40.

5. Выступление первого заместителя генерального директора ОАО «ВНИИЖТ» С.А. Кобзева /С.А. Кобзев: Материалы науч-практ. конф. «Устройство и содержание пути подвижного состава при тяжеловесном и скоростном движении поездов» – «Колесо-рельс»//Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 12. – С. 23-25.