

где $\sigma_{-1}(p) = \sigma_{-1p}$ – предел выносливости, определяемый с учетом влияния контактного давления p ,
 $p_f(\sigma) = p_{f\sigma}$ – предел контактной усталости, определяемый с учетом влияния циклических напряжений σ ; $N(\sigma, p), I(\sigma, p)$ – долговечность и интенсивность изнашивания, обусловленные одновременным действием σ и p ; $\Lambda_{\sigma/p}$ – параметр взаимодействия повреждений, обусловленных контактными и изгибными напряжениями; T_{Σ} – интегральная температура, обусловленная всеми источниками тепла; $\Lambda_{T/m}$ – параметр взаимодействия повреждений, обусловленных тепловой и механическими нагрузками; D_{ch} – параметр, учитывающий коррозионно-химические процессы.

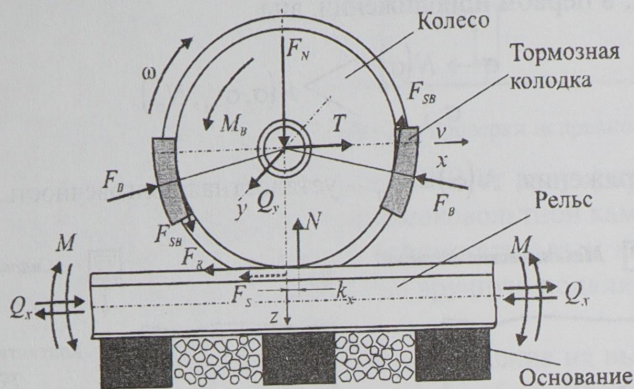


Рисунок 2 – Силовая система тормозная колодка / колесо / рельс

Анализ показывает: чтобы решить проблему колесо / рельс, недостаточно исследовать условия взаимодействия указанных элементов – на их работоспособность в эксплуатации значительно влияет процесс торможения. Поэтому фактически надо рассматривать систему тормозная колодка / колесо / рельс (рисунок 2). Известно, что эксплуатация изношенных колес вместо новых ведет к ускорению выхода и колес, и рельсов. С другой стороны, износ колес существенно обусловлен условиями торможения.

Я благодарен В. Я. Негрею, который обратил мое внимание на возможную «дополнительную» негативную роль тормозной системы в формировании эксплуатационной надежности как колес, так и рельсов; по существу, безопасность движения в большой степени обусловлена надежностью системы тормоз / колесо / рельс.

УДК 531.43.46+539.388.1+539.43; 625.143

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ТРИБОФАТИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Л. А. СОСНОВСКИЙ, А. А. КЕБИКОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Система колесо/рельс есть физическая основа движения подвижного состава. Именно эта система во многом определяет безопасность функционирования железнодорожного транспорта.

Ранее разработаны критерий и методика анализа механического состояния рельса в зоне контакта с колесом в процессе эксплуатации, основанная на оценке отдельных характеристик сопротивления усталости рельсовой стали: предела выносливости при изгибе σ_{-1} и предела контактной усталости p_f . Таким образом, речь шла либо о сопротивлении усталости при изгибе, либо о сопротивлении контактной усталости. Но при эксплуатации системы колесо/рельс в зоне дорожки качения головки рельса циклические и контактные напряжения возбуждаются одновременно и в единой области. При этом работоспособность рельса лимитируется износом головки. Следовательно, возникает необходимость исследования влияния циклических напряжений (σ) на изменение характеристики сопротивления контактно-механической усталости ($p_{f\sigma}$).

В докладе сообщается о результатах такого исследования с использованием известного энергетического критерия предельного состояния силовой системы. Согласно этому критерию, предельное состояние достигается, когда сумма трех эффективных энергий (тепловой, силовой и фрикционной) достигнет, с учетом диалектического взаимодействия необратимых повреждений, критической величины U_0 .

В докладе представлена реализация энергетического подхода применительно к системе колесо/рельс, для которой повреждение обусловлено, в первом приближении, следующими воздействиями:

- а) контактной нагрузкой – будем ее характеризовать напряжением в центре площадки контакта p_0 ;
- б) повторно-переменной нагрузкой – будем ее характеризовать циклическими напряжениями σ ;
- в) термодинамической нагрузкой – интегрально будем ее характеризовать температурой T_Σ ,

обусловленной всеми источниками тепла.

Показано, что в таком случае энергетический критерий предельного состояния примет вид

$$U_\Sigma^{eff} = \Lambda_{M/T} \left[a_T T_\Sigma + \Lambda_{p/\sigma} \left(a_\sigma \sigma^2 + a_p p_0^2 \right) \right] = U_0, \quad \Lambda \geq 1, \quad (1)$$

где U_Σ^{eff} – эффективная (опасная) часть подводимой к силовой системе энергии; $\Lambda_{M/T}$ – функция взаимодействия повреждений, учитывающая взаимодействие тепловой и механических составляющих эффективной энергии; $\Lambda_{p/\sigma}$ – функция взаимодействия повреждений, обусловленных нагрузками разной природы – контактной (p_0) и изгибной (σ); a_T, a_σ, a_p – коэффициенты, выделяющие из полных тепловой и механической энергий их эффективные части; U_0 – начальная энергия процесса разрушения, не зависящая от условий нагружения и механизмов повреждения.

После несложных преобразований из (1) можно получить формулу для определения величины предела контактно-механической усталости при реализации обратного эффекта

$$p_{f\sigma} = p_f \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{p/\sigma}} - \frac{\sigma^2}{\sigma_{-1}^2}}. \quad (2)$$

Чтобы воспользоваться (2), необходимо предварительно найти параметр $\Lambda_{p/\sigma}$. В докладе изложена методика вычисления $\Lambda_{p/\sigma}$ применительно к условиям работы системы колесо/рельс.

В результате дана оценка механического состояния материала рельса в зоне контакта с колесом, представленная в виде диаграммы механического состояния (рисунок 1). При начальной твердости, которая составляет $HV = 265$ (258 HB), имеем $p_f = 3,12 \text{ HB} = 258 \cdot 3,12 = 800 \text{ МПа}$ (стрелка 1 на рисунке 1), а $\sigma_{-1} = 1,6 \text{ HV} = 1,6 \cdot 265 = 420 \text{ МПа}$ (стрелка 1' на рисунке 1). Так как в процессе эксплуатации растет твердость, то возрастают и характеристики сопро-

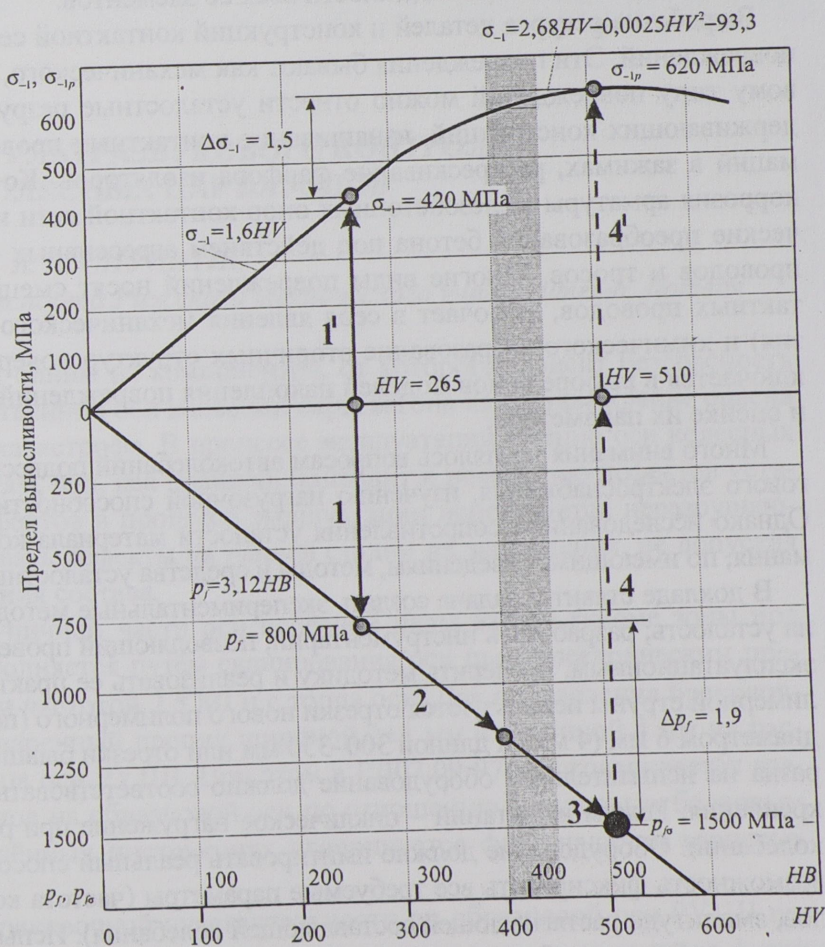


Рисунок 1 – К анализу обратного эффекта для рельса как элемента силовой системы

тивления усталости, в частности, – предел контактной усталости p_f (стрелка 2 на рисунке 1). Переход рельсовой стали в критическое состояние по критерию сопротивления усталости при контактом нагружении прогнозируется при достижении значений $p_f = 1200 \dots 1300$ МПа (затененная область). Дальнейшая эксплуатация ведет к росту p_f ; по обычным критериям его значение не ограничено – чем выше твердость, тем больше p_f (стрелка 3 на рисунке 1). Однако использование критериев трибофатике позволило установить его предельное значение по (2): $p_{fs} \sim 1500$ МПа.

В докладе приводится методика определения всех параметров и дается анализ диаграммы состояния рельсовой стали в зоне ее контакта с колесом согласно рисунку 1.

УДК 623.332.1

О ПРОБЛЕМЕ НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Л. А. СОСНОВСКИЙ, В. С. МОГИЛА, С. А. СКОРОХОДОВ
Белорусский государственный университет транспорта

Наиболее ответственным элементом системы тягового электроснабжения является контактная сеть. Она работает в сложных условиях и является единственным звеном системы электрической тяги, которое не может быть выполнено резервированным. Отсутствие резервирования диктует необходимость повышения надежности всех ее элементов.

Выработка ресурса деталей и конструкций контактной сети связана с накоплением необратимых повреждений. Эти повреждения бывают как механического, так и физико-химического типа. К первому типу повреждений можно отнести усталостные разрушения металлических несущих и поддерживающих конструкций, изнашивание контактных проводов, накопление пластических деформаций в зажимах, растрескивание фарфора изоляторов. Ко второму типу повреждений относятся коррозия арматуры железобетонных опор контактной сети и других металлических деталей, химические преобразования бетона под действием агрессивных сред, окисление проволок при нагреве проводов и тросов. Многие виды повреждений носят смешанный характер, например износ контактных проводов, включает в себя явления механического (трение), физического (электрокоррозия) и химического (образование вторичных структур поверхности) происхождения. Проблема заключается в выборе видов моделей накопления повреждений – полуэмпирических или структурных и оценке их параметров.

Много внимания уделялось вопросам автоколебаний подвески, ветроустойчивости и надежности тягового электроснабжения, изучению нагрузочной способности контактной подвески и ее прочности. Однако исследованиям сопротивления усталости материала конструкций не уделяется должного внимания; по имеющимся сведениям, методы и средства усталостных испытаний не разработаны.

В докладе ставится задача создать экспериментальные методы исследования работы струн подвески на усталость; разработать инструментарий, позволяющий проведение испытаний в условиях, близких к эксплуатационным, проверить методику и реализовать ее практически. Для изготовления образцов полимерной струны используются отрезки нового полимерного (полиамидного или полиэфирного) каната диаметром 6 мм (4 мм) и длиной 300–350 мм или отрезки бывших в эксплуатации струн. Установка образца на испытательное оборудование должно соответствовать реально существующим способам закрепления. Режим испытаний – циклическое нагружение при различных уровнях нагрузки и частотах колебаний. Оборудование должно имитировать реальный способ закрепления, работу и предоставлять возможность фиксировать все требуемые параметры (частота колебаний, средняя нагрузка, число циклов, амплитуда растягивающей составляющей колебания). Испытания проводятся либо до полного разрушения образца, либо до появления видимых разрывов нитей оплетки. Схема испытаний показана на рисунке 1, а. Разработанная методика позволила получить первую кривую усталости для полиамидной струны, изображенную на рисунке 1, б.