

фия / В.В. Корниенко, А.В. Котельников, В.Т. Доманский. — К.: Транспорт Украины, 2004. — 196 с.

6. Kiesling F. Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens / Kiesling F., Puschman R., Schmieder A., 2001. — 822 p.

7. Вологин В.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / Вологин В. А. — М.: Интекст, 2006. — 256 с.

8. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в условиях железнодорожного транспорта / Берент В.Я. — М.: Интекст, 2005. — 408 с.

9. Купцов Ю.Е. Беседы о токосъеме, его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Купцов Ю.Е. — М.: Модерн-А, 2001. — 256 с.

10. Доманский И.В. Ресурсосберегающая система эксплуатации контактной сети по состоянию / И.В. Доманский // Східно-Європейський журнал передових технологій. — Харків. — 2009. — № 5/6 (41), — С. 51—56.

11. Доманский И.В. Эксплуатация контактной сети по состоянию и минимуму расходов / И.В. Доманский // Залізничний транспорт України. — 2009. — № 2/1, — С. 12—15.

12. Доманский И.В. Эксплуатационные показатели и надежность контактных сетей переменного тока железных дорог Украины / В. В. Корниенко, И. В. Доманский // Залізничний транспорт України. — 2009 — № 4. — С. 22—27.

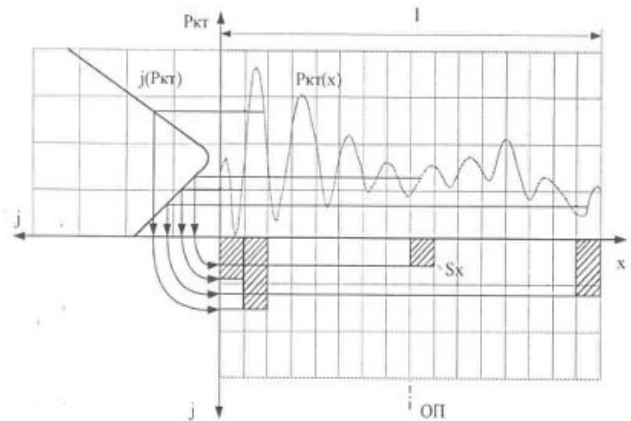


Рис. 3. Схема определения коэффициента экономичности при токосъеме: l — длина пролета; x — координата пути; ОП — ось пути; $P_{кт}$ — контактное нажатие; j — износ в точке; S_x — износ в интервале пролета или полоза.

УДК 629.1.072

Н.И. СЕРГИЕНКО, канд. техн. наук (Укрзалізниця), А.В. КОЛОТ, д-р техн. наук (ДГМА), В.А. КОЛОТ, канд. техн. наук (ЗАО «МИНЭТЭК»)

Влияние конструкторско-технологических параметров на линейную стойкость бандажа в системе взаимодействия колесо-рельс

Ключевые слова: бандаж колеса, крутизна гребня, линейная стойкость, износ, шероховатость.

Введение. За последние два десятилетия на железных дорогах многих стран учеными делаются попытки найти универсальное решение для существенного увеличения ресурса железнодорожных колес. Однако многофакторность данной проблемы приводит к необходимости поиска решения в причинно-следственных связях исходных данных этой задачи.

Одни исследователи видят пути снижения износа за счет оптимизации профиля поверхности катания колеса, другие — в поиске рационального соотношения твердостей контактируемых поверхностей, третьи — в применении трибологических средств, четвертые — в повышении требований к ходовой части транспортного средства и качеству железнодорожного пути и т.п. Вместе с тем проблема нормирования

износа пары колесо-рельс заключается в сложности учёта всех факторов.

Цель работы заключается в анализе конструкторско-технологических параметров в системе колесо-рельс и проведении исследований влияния качества обработки бандажей и их геометрии на интенсивность износа.

Анализ основных исследований и публикаций. При прочих равных условиях проанализируем факторы, позволяющие, на наш взгляд, минимизировать интенсивность износа без существенных материальных затрат. К таким факторам относятся конструкторско-технологические параметры профиля бандажа, а именно: конструкция (форма) профиля, в частности, его способность быть адаптированным к головке рельса, и качество обработанной поверхности катания бандажа.

Как известно, важнейшим фактором в системе колесо-рельс является особенность сопряжения радиусных участков профильных поверхностей колеса и головки рельса, а также степень приближения формы бандажа к конической во взаимосвязи с подуклонкой рельса. Последнее сочетание играет значительную роль для автоматического удержания экипажа в центральном положении, а в кривых способствует прохождению с уменьшенным набеганием гребня на рабочую грань головки рельса. Поскольку при движении происходит износ колеса, профиль его становится вогнутым. С целью продолжительного обеспечения первоначальной геометрии контакта профили колеса и рельса должны соответствовать друг другу таким образом, чтобы не только обеспечивали постоянство направления экипажа, но и в минимальной степени изменяли свою первоначальную форму в результате износа.

Этим требованиям отвечают два профиля [1,2]. Основные идеи, положенные в основу создания их рациональной формы, заключаются в том, что, с одной стороны, любая профильная кривая бандажа может быть представлена функцией, описывающей сочетание смежных дуг, например дуг окружностей, отрезками прямых, касательных к этим дугам, а, с другой стороны, — должна быть адаптирована к головке рельса путем взаимного

© Н.И. Сергиенко, А.В. Колот, В.А. Колот, 2010.

ориентирования геометрических параметров поверхности катания и рабочей поверхности гребня относительно сопрягающихся с ними радиусных участков головки рельса с соответствующей его подуклонкой. Важным условием в данном случае должно быть сочетание рациональных форм головки рельса и профиля бандажа при взаимных положениях относительно друг друга в процессе движения.

При движении экипажа по рельсовому пути (рис. 1 а, б, в, г, д), не зависимо от положения колёсной пары, имеет место один тип контакта обода железнодорожного колеса с рельсом — одноточечный (T_k), при котором происходит контактирование без гребневого касания по радиусным участкам головки рельса с сопряжением $R_{1п.к.}$ с $R_{1г.р.}$ (рис. 1в), $R_{2г.р.}$ с $R_{2п.к.}$ (рис. 1г), $R_{п.в.г.р.}$ с $R_{3г.р.}$ (рис. 1д). Условие адаптации:

$$R_{1г.р.} < R_{1п.к.} \leq \infty, R_{2г.р.} < R_{2п.к.} < R_{1п.к.},$$

$$R_{(i-1)г.р.} < R_{(i-1)п.к.} < R_{(i-2)п.к.}, R_{1г.р.} < R_{п.в.г.р.} < R_{(i-1)п.к.}, a_{1п.к.} > a_{1г.р.},$$

$$a_{2п.к.} > a_{2г.р.}, a_{(i-1)п.к.} > a_{(i-1)г.р.}, a_{1п.к.} > a_{1г.р.}$$

Характер взаимодействия обода колеса профиля 120М по ВНД 32.0.07.001-2001 с рельсами различного типа иллюстрируют рис. 1 (рельс типа Р65 при: а — одноточечном контакте; б — двухточечном контакте) и рис. 2 (рельс типа UIC60 при двухточечном контакте).

По результатам исследований установлено, что наиболее удовлетворительные динамические показатели получены для случая использования профиля по патенту [1]. Указанный профиль, в отличие от других, лучше адаптирован как с рельсом Р65 (рис. 2), так и с европейским типа UIC 60 (рис. 3).

Его эффективность подтверждена испытаниями по установлению ходовых качеств локомотивов, проведенными учеными ДНУЖТ (ДИИТ) под руководством проф. Е.П. Блохина на предельных скоростях движения, а так-

же теоретическими исследованиями динамики вагона с раздвижными колесными парами, выполненными в ДНДЦ УЗ под руководством проф. Ю.В. Дёмина.

Как следует из рис. 2б и 3, теоретическое расхождение размера контакта (адаптации) разных поверхностей головок рельсов Р65 и UIC60 с профилем «МИНЭТЭК» составляет 0,1мм. Данный профиль выполнен на основе методологии аналитического анализа различных профилей с использованием непрерывной функции, описывающей профили любой криволинейной формы [3].

Существует ряд предлагаемых профилей, в которых профильные линии задаются точками, соединяемыми лекальными кривыми. К их числу можно отнести так называемые профили ДМетИ ЛР и ВР. При таком подходе возможно существование n^{th} количества комбинаций для его линеаризации, а значит, будет существовать такое же количество отличающихся друг от друга профилей.

В соответствии с заключением Донецкого НИИ судебных экспертиз, в связи с отсутствием идентифицирующих признаков вида такой кривой невозможно полностью и однозначно определить их размерные характеристики по имеющимся точкам. Это следует отнести и к ряду других профилей, заданных в координатах 10^{-mm} или более точек без предоставления математической или графической закономерности их описания.

Предложенная нами методика лишена этих недостатков и позволяет привести незакономерные лекальные кривые к закономерным.

Анализ и обобщение результатов выполненных исследований может служить основой для разработки математической модели, описывающей взаимодействия унифицированной формы профиля бандажа с профилем головки рельса из условия их взаимной и наиболее полной адаптации.

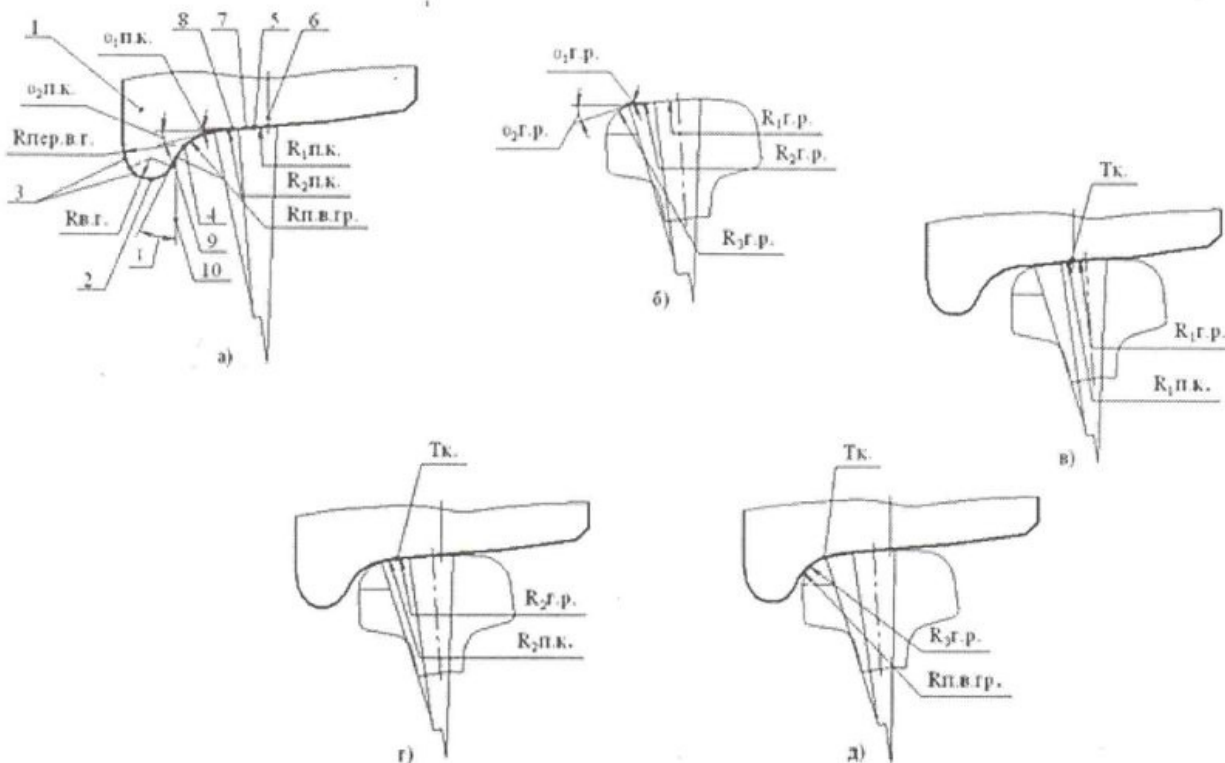


Рис. 1

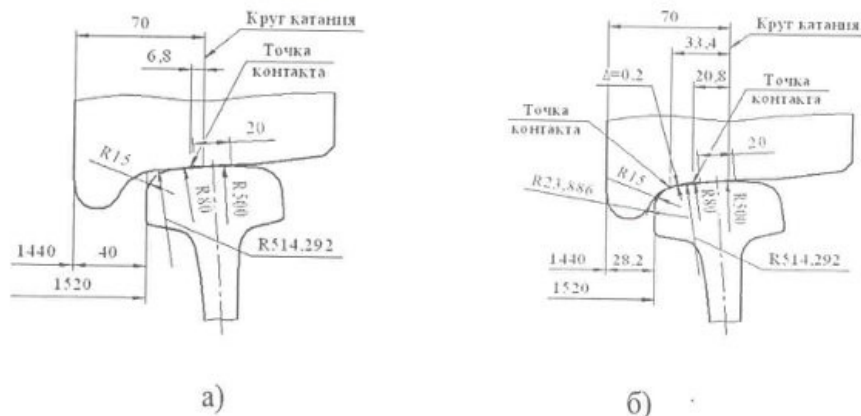


Рис. 2.

Профиль по патенту [1] прошел всестороннюю апробацию на основе многолетней практики его использования на железных дорогах Украины.

Изложение основного материала с обоснованием полученных результатов. Как показывает практика, колёсные пары, обработанные по названному профилю, имеют износ, без учёта движения в кривых малых радиусах, преимущественно обусловленный взаимодействием острия остряка стрелочного перевода с гребнем колеса. В ряде случаев отмечается эффект срезания металла в вершинной части гребня с образованием остроконечного наката. Как видно из рис. 4, для данного профиля величина проката не является определяющей износа. Поэтому, важным фактором износа здесь может служить шероховатость обработанной поверхности гребня, форма и защищённость остряка рамным рельсом.

На железных дорогах обработку колёсных пар осуществляют на колёсотокарных и колёсофрезерных станках. На колёсотокарных станках мод.1836 и «Рафамет» обработку выполняют с шероховатостью поверхности $R_z < 80$ и точностью профиля по копиру. Качество токарной обработки на станках А41 зависит от квалификации станочника и, поэтому, носит непредсказуемый характер. Особый интерес представляет анализ качества обработки на станках модели КЖ20.

Качество обработки как технологический фактор интенсификации износа колёс можно оценить, анализируя рис. 5—7. На рис. 5 показаны: фрагмент бандажа, обработанного на станке модели 1836 (а) и образец шероховатости, соответствующий $R_z 80$ (б). Рис. 6 дает представление о качестве обработки бандажа на станке модели КЖ20 (рис. 6а) в случае несвоевременной смены положения (замене) твердосплавных чашек (неисправная чашка показана на рис. 6б) и настроенной фрезой (рис. 6в). Качество поверхности образца бандажа, обработанного одной и той же фрезой с биением 0,1 мм (а) и 0,5 мм (б), демонстрирует рис. 7.

Обработка на станках модели КЖ20 обладает определёнными преимуществами, главные из которых — это сочетание производительности и безопасности работы. Формирование профиля выполняется одновременно для двух бандажей настроенной фрезой за один оборот колеса в полуавтоматическом режиме с образованием безопасной элементной стружки. Однако, качество поверхности напрямую зависит от стойкости, стабильности размеров твердосплавных чашек и формы их заточки, своевременности смены положения чашек в гнездах реек

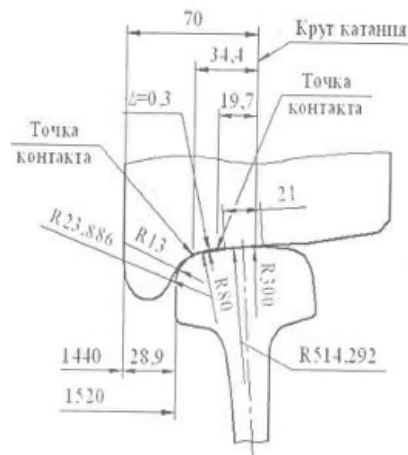


Рис. 3.

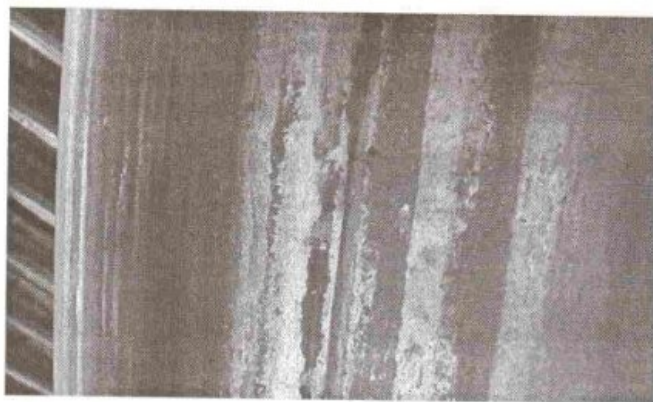
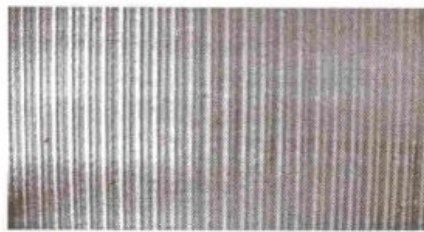


Рис. 4.

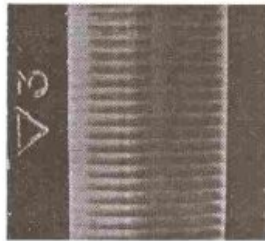
или их замены, режимов резания и технологических приёмов прохождения участков с ползунами, наварями и прочими дефектами поверхности катания и, в конечном итоге, от соответствия станка нормам точности и жёсткости.

Несвоевременность смены положения чашек (рис. 6в) приводит к интенсивному искрению в зоне обработки и соответствующему низкому качеству поверхности (рис. 6а), отличающемуся от качества обработки настроенной фрезой (рис. 6в). Биение шпинделя станка или подшипника цапфы фрезы на 0,1 мм и 0,5 мм приводит к волнообразной поверхности профиля бандажа, как это показано на рис. 7.

Доказательство. Отмеченные недостатки станочной обработки колёс существенным образом влияют на величину первоначального износа бандажа, особенно при

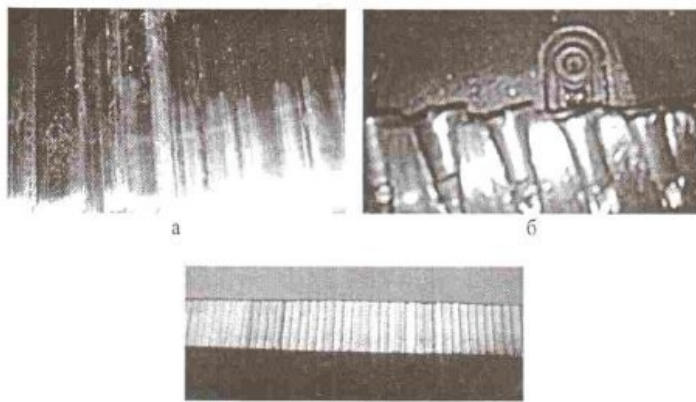


а)



б)

Рис. 5.



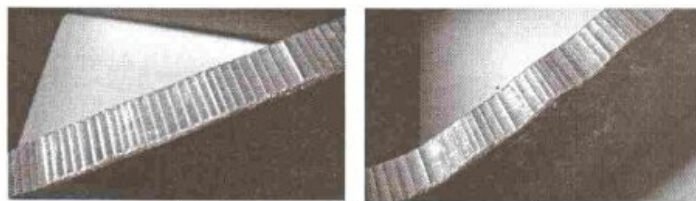
а

б



в

Рис. 6.



а

б

Рис. 7.

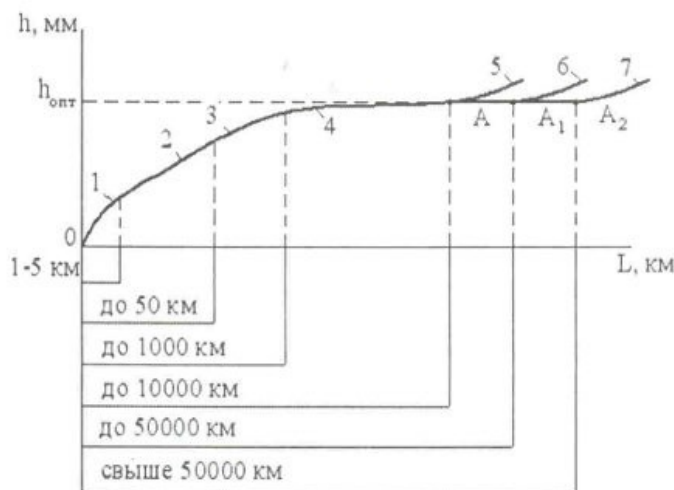


Рис. 8.

прохождении в кривых малого радиуса и острых стрелочных переводах.

Интенсивность износа оценивается по уменьшению диаметра истираемого бандажа (I_d) или толщины гребня (I_t):

$$I_d = \frac{d_n - d_n}{2L}, \quad I_t = \frac{t_n - t_n}{L},$$

где d_n — начальный диаметр бандажа; d_n — диаметр бандажа перед переточкой; L — пробег; t_n — начальная толщина гребня; t_n — толщина гребня перед переточкой.

На рис. 8 приведена характеристика износа бандажа колесной пары в зависимости от пробега. Здесь выделены следующие зоны:

1 — период приработки или начального износа, определяемого на протяженности пути от 1 до 5 км. На этом участке движения локомотива наблюдается ускоренный «износ», являющийся следствием прикатки и истирания выступающих участков исходных неровностей поверхности катания;

2 — участок ускоренного «износа», являющегося следствием прикатки и истирания выступающих исходных неровностей в области выкружки гребня при движении в кривых или виляния локомотива;

3 — участок ускоренного «износа» в области выкружки гребня в зоне касания головки рельса с поверхностью гребня на высоте примерно 13 мм от круга катания. Этот износ характеризует степень адаптации профиля обода колеса к головке рельса при достижении устойчивого одноточечного контакта. Протяженность этого участка до 1000 км пробега, а с высоким качеством рельсового полотна и стрелочных переводов, этот пробег может быть значительным;

4 — участок, характеризующийся периодом нормального (установившегося износа). При этом износ постепенно увеличивается приблизительно пропорционально времени движения локомотива. Протяженность этого участка до 10 тыс. км пробега и более;

5, 6, 7 — участки, отличающиеся различной степенью интенсивности износа по подрезу гребня, прокату, и обусловлены преобладающим влиянием наличия участков пути с предельно допустимыми радиусами кривых, стрелочных переводов, отсутствием смазки в паре колесо-рельс, износом и качеством рельсового пути, динамикой при движении экипажа. Протяженность данных участков может составлять от 10 до 100 тыс. км пробега.

В зонах 1-3 (см. рис.8) преимущественно происходит не износ, сопровождающийся потерей веса истираемого бандажа, а пластическое укатывание (оттеснение) гребешков неровностей механической обработки. Согласно [5]

$$I_h^{п\lambda} = (10^{-3} - 10^{-4}) \frac{q_n}{H}, \quad I_h^{уп} = (10^{-6} - 10^{-7}) \frac{q_n}{H},$$

где $I_h^{п\lambda}$ и $I_h^{уп}$ — интенсивность износа при пластическом и упругом оттеснении неровностей; q_n — номинальная удельная нагрузка; H — твердость.

Признак, по которому обод (бандаж) колеса считается изношенным — предельная величина его износа по подрезу (толщине) гребня или прокату — называется критерием износа. Критерии износа определены у локомотивов и МВПС инструкцией [4], в зависимости от скорости движения и характера сообщения (дальнего или местного, пригородного).

Обобщенным критерием износа может служить параметр крутизны гребня q_R [4]. Этот параметр является комплексным показателем, характеризующим изменение формы и размеров гребня, а также износ бандажа колеса. Установление границ допустимого значения па-

раметра крутизны для определённого профиля является одним из резервов повышения ресурса колёсных пар.

Целесообразно доводить колесную пару до оптимального износа, при котором общий ресурс бандажа наибольший. Для каждого бандажа колесной пары имеется определенная зона стачивания, в которой можно произвести переточку с учетом величины подреза (толщины) гребня или проката. Количество переточек, которое допускает колесная пара, определяется делением толщины зоны стачивания на толщину снимаемого слоя металла за одну переточку. Общий ресурс L_R колесной пары рассчитывается по формуле:

$$L_R = (k+1)\Sigma L_i,$$

где k — количество переточек; L_i — пробег колесной пары между i -ми переточками. Единица в данной формуле соответствует отточке бандажа, произведенной при формировании колесной пары.

Таким образом, оптимальным следует считать износ бандажа, соответствующий координате точки А кривой износа (см. рис. 8), с которой начинается резкое нарастание его величины.

Для определения оптимальной величины износа $h_{\text{опт}}$, при котором общий ресурс бандажа L_R (линейная стойкость в км пробега) будет максимальным, необходимо провести серию экспериментов по переточке бандажа после достижения некоторой принятой величины износа. Нанеся значения L и h на графике, как это показано на рис. 9, можно определить $h_{\text{опт}}$, соответствующее максимальному ресурсу бандажа, и тогда $L_{\text{макс}} = (k+1)\Sigma L_{\text{опт}}$.

Отсюда следует вывод — не следует допускать предельного износа при эксплуатации колесных пар в зонах 5,6,7 (см. рис. 8). Необходимо своевременно производить переточку бандажей колесных пар.

Пластическое оттеснение неровностей характерно участкам 1,2 и 3 (см. рис.8), и тем оно будет большим, чем менее качественной будет обработанная поверхность.

Принимая постоянными q_n и H , в формуле $I_h^{n,n}$ и $I_h^{y,op}$, следует, что, повышая качество обработанной поверхности, можно, при прочих равных условиях, на порядок увеличить линейную стойкость бандажа на первых 10 тыс. км пробега при пластическом и в десятки раз — при упругом оттеснении микронеровностей. В то же время, следует отметить, что интенсивность износа увеличивается с увеличением нагрузки и уменьшается с увеличением поверхностной твердости бандажа. Поэтому, создание искусственно наклёпа на поверхности катания способствует нормальному (установившемуся) износу (см. рис.8, участок кривой 4).

Тенденция износа бандажей колесных пар двух моделей локомотивов видна из приведенной таблицы.

Были исследованы характер и величина износа бандажей у двух моделей локомотивов, эксплуатируемых (с небольшим исключением) по одному и тому же маршруту.

Анализ полученных результатов позволяют отметить следующее:

а) износ бандажей, обточенных по черт.3 ГОСТ11018 (обточка произведена на станке мод.1836), больший как у локомотивов Д1, так и у ВЛ8. В то же время их линейная стойкость у электровоза ВЛ8 на 35% выше по сравнению с Д1 (если не учитывать 2—7 колесные пары).

б) износ бандажей, обточенных по профилю «МИНЭ-ТЭК» (критерий износа по толщине гребня), в среднем на 20—25% меньше по сравнению с бандажами, обточенными по черт.3 ГОСТ 11018. При этом нужно учесть, что переточка бандажей выполнялась на станках модели КЖ20 с более низким качеством обработанной поверхности.

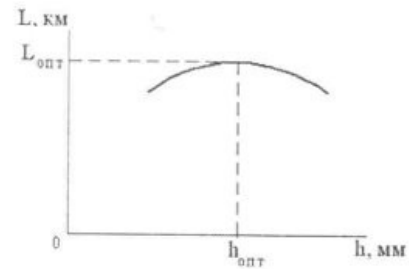


Рис. 9.

Модель локомотива	Износ бандажей в мм/10 ⁴ км		
	Обточенных по профилю черт. 3 ГОСТ 11018 на станке 1836	Обточенных по профилю 120М на станке КЖ 20 и измеренный на	
		ТО 3	ТР 1
Д 1 - 022	0,32 (переточка произведена всех колесных пар при пробеге 87273 км)	0,24	0,28
ВЛ8 - 1354	1-я кол. пара — 0,34 8-я кол. пара — 0,33 (переточка произведена после 135288 км)	—	I — й ТР 1 1-я кол. пара — 0,32 8-я кол. пара — 0,24
	—	—	II — й ТР 1 1-я кол. пара — 0,28 8-я кол. пара — 0,14
	—	—	III — й ТР 1 1-я кол. пара — 0,21 8-я кол. пара — 0,14
	—	—	IV — й ТР 1 1-я кол. пара — 0,24 8-я кол. пара — 0,17

Учитывая вышеприведенный анализ интенсивности износа, можно сделать заключение об имеющихся резервах повышения линейной стойкости бандажей без дополнительных материальных затрат.

Выводы

1. Одним из путей повышения линейной стойкости бандажей является степень адаптации поверхностей катания колес к рабочей поверхности рельса как по форме, так и по качеству взаимодействующих поверхностей.

2. Для увеличения ресурса бандажей необходимо оптимизировать износ, установив границы допустимых значений крутизны для соответствующего профиля поверхности катания колеса.

3. Линейный ресурс бандажа обратно пропорционален шероховатости обработанной поверхности катания колеса.

ЛИТЕРАТУРА

- Обід залізничного колеса / Колот В.О., Колот О.В., Малиновський М.Д., Лішаєв Г.П., Сергієнко М.І., Пилипенко В.О. // Патент на винахід №29538, В 60 В 21/02, опубл. бюл. №6, 2000.
- Обід залізничного колеса / Колот В.О., Колот О.В., Сергієнко М.І., Міхєєнков Ю.С. // Патент на винахід №66411, В 60 В 21/02, опубл. бюл. №5, 2004.
- Науковий твір «Методика расчёта профиля обода железнодорожного колеса» / Колот В.О., Колот О.В., Міхєєнков Ю.С., Малиновський М.Д., Лішаєв Г.П., Плєханов В.М. — Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір. — ПА №3025. 05.05.2000.
- Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колёсных пар тягового подвижного состава железных дорог Украины колеи 1250 мм, ВНД 32.0.07.001-2001. — Донецк: ООО «Лебедь», 2001. — 154 с.
- Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. Справочное пособие. — М.: Машгаз, 1962. — 220 с.