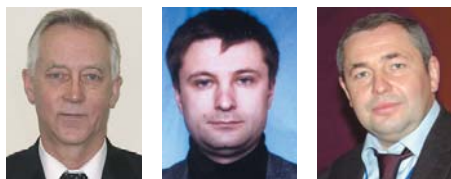


Прогнозирование формы и интенсивности износа колеса и рельса промышленных железных дорог

Е. П. ДУДКИН, докт. техн. наук, профессор Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС),

М. В. МАЛАХОВ, инженер ПГУПС

А. В. БАШЛЫКОВ, канд. экон. наук, директор ООО «Промышленные железные дороги»



Железнодорожные пути промышленных предприятий испытывают высокие (до 600 кН/ось) осевые нагрузки и имеют малые (до 60 м) радиусы кривых, поэтому интенсивность износа (ИИ) колес и рельсов и частота их выхода по дефектам здесь значительно выше, чем на путях общего пользования. Эксплуатационные наблюдения показывают, что при разработке мер, направленных на снижение ИИ, следует учитывать такие показатели, как форма и интенсивность износа, степень дефектности колес и рельсов.

сил по осям чугуновоза, полученным в результате динамических испытаний вписывания миксерных чугуновозов в кривые малых радиусов. У вторых осей двухосных тележек и поводковых осей толщина гребня к этому периоду достигает 27–30 мм.

Прокат колес по кругу катания в начальный период происходит менее интенсивно, чем износ гребней, однако после наработки $4,4\text{--}4,8 \times 10^6$ ткм резко увеличивается и в некоторых случаях достигает 10–11 мм (допустимая величина проката по Правилам технической эксплуатации — 9 мм). Таким образом, в начальный период происходит не только интенсивный износ

Кафедра «Промышленный и городской транспорт» Петербургского государственного университета путей сообщения провела эксплуатационные наблюдения за выходом колес и рельсов на различных промышленных предприятиях.

В наиболее сложных условиях эксплуатируются колеса таких вагонов промышленного транспорта, как миксерные чугуновозы (ПМ-600). На металлургическом заводе «Северсталь» (г. Череповец) проведены замеры износа гребней колес и проката по кругу катания таких чугуновозов [1].

Результаты замеров представлены в виде зависимости изменения толщины гребня (макс. и ср.) и проката колеса (макс. 2 и ср. 2) от наработки (ткм) (рис. 1).

Анализ полученных результатов показал, что наиболее интенсивный износ гребня происходит в начальный период (период приработки) эксплуатации чугуновозов (наработка $1,2 \times 10^6$ ткм), к этому времени среднестатистическая толщина гребня достигает 30–31 мм, у некоторых колес — 29 мм. В дальнейшем ИИ уменьшается, и к моменту последних измерений (наработка $5,6 \times 10^6$ ткм) износ гребней даже по максимально измеренным величинам не достиг предельного значения (25 мм).

Наибольший износ гребня зафиксирован у колес направляющих осей

двухосных тележек (максимально изношенные — 25,5; 25,3 мм; среднестатистические — 28; 27,8 мм), что хорошо согласуется с распределением боковых

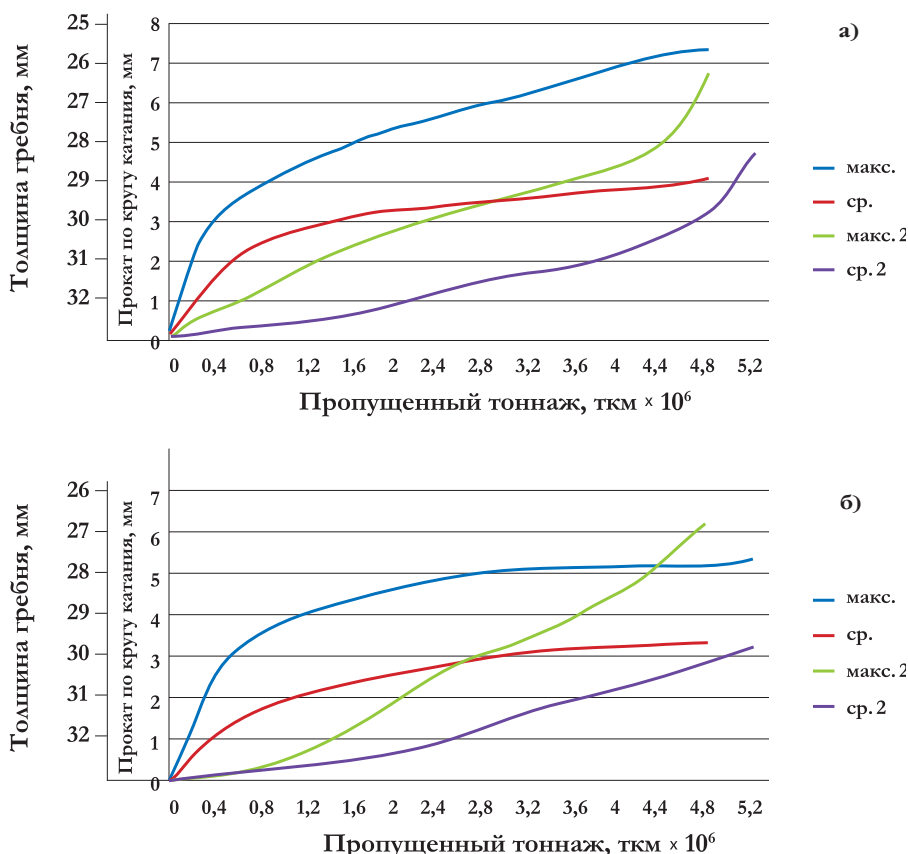


Рис. 1. Износ колес миксерного чугуновоза: а — первая ось; б — вторая ось.



Рис. 2. Замена колесных пар ПМ-600 и появление дефектов на поверхности катания

гребней, но и смятие и спływ металла обода колеса на круг катания, чем объясняется появление ложной канавки у выкружки.

В дальнейшем приходится констатировать отслоение этого металла — резкий износ колеса по кругу катания на 2–3 мм, который переходит в так называемый период установившегося износа, характеризуемый наличием на поверхности катания упрочняющего наклепа.

После наработки $4,4 \times 10^6$ ткм наступает период усталостного износа и граничной прочности, связанной с возникновением усталостных явлений и выявлением глубоких, скрытых пороков, появлением отколов, наличием усталостных трещин, сравнительно глубоко отстоящих от поверхности. Металлографические исследования качества металла колес чугуновозов, проведенные центральной заводской лабораторией в данный период эксплуатации, показали наличие деформаций, разрывов сетки феррита на глубине более 10 мм от поверхности катания.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о больших контактных напряжениях, возникающих на поверхности катания колес. В значительной степени эти напряжения зависят от осевых нагрузок, типа рельсов и жесткости подрельсового основания.

Осевые нагрузки миксерных чугуновозов достигают 600 кН/ось, железнодорожный путь уложен на железобетонных шпалах с эпюрой до 2000 шпал на километр, балласт щебеночный с подбалластными плитами, рельсы типа Р65 объемно-закаленные, вертикальная жесткость пути достигает 90×10^3 кН/м — т. е. эксплуатация колес чугуновозов происходит в очень жестких условиях.

Под действием больших осевых нагрузок в совокупности с повышенной вертикальной жесткостью пути в слоях металла, наиболее близких к поверхности катания колес (на глубине 3–6 мм [2]), появляются максимальные касательные напряжения, вследствие чего на нижней границе наклепанного слоя возникают значительные касательные напряжения, созданные внешними нагрузками. Металл под наклепанным слоем сохраняет свою структуру, не деформируясь одновременно с ним. Металл, лежащий непосредственно под слоем поверхности катания, из-за различия механических свойств более чувствителен к сдвигу, отслоению и выкрашиванию, и это создает условия для появления отслаиваний металла по поверхности катания колесных пар, а затем и глубоких (более 10 мм) выколов, выщербин (раковин на поверхности катания).

Появление раковин на поверхности катания колесных пар было отмечено уже после наработки $2,8 \times 10^6$ ткм. На

диаграмме (рис.2) показаны сроки появления раковин на кругах катания колес и замены колесных пар из-за этого дефекта. Как видно, раковины на кругах катания появились почти одновременно на всех колесных парах, хотя замена их происходила значительно позже, т. е. колесные пары длительное время эксплуатировались с наличием этого дефекта на кругах катания, что привело к уменьшению общего срока службы колес из-за увеличения глубины выколов.

Износ по виду подразделяется на усталостный, окислительный, тепловой, абразивный и схватывания. Для колес миксерных чугуновозов характерны усталостные отколы, схватывание, окислительный и абразивный износы, поэтому основным дефектом, определяющим срок их службы, будут контактно-усталостные повреждения, сопровождающиеся появлением на кругах катания выщербин, выколов и раковин.

Анализ ИИ гребней новых и наплавленных колес думпкаров 2ВС-105 проводится по данным эксплуатационных наблюдений на Оленегорском горнообогатительном комбинате. Для определения ИИ гребней колес производилась частичная выборка думпкаров, имеющих первоначальную толщину гребня 32–33 мм. Объем репрезентативной выборки при величине вероятности $P = 0,95$ (обычно принимаемой при научных исследованиях) и допустимой ошибки 0,005 по таблице больших чисел будет равен 384 [3]. Мы обследовали более 500 колесных пар. Выявлено, что наибольшая ИИ гребней колес думпкаров появляется в летние месяцы (июнь, июль), износ гребней направляющих колес происходит значительно интенсивнее.

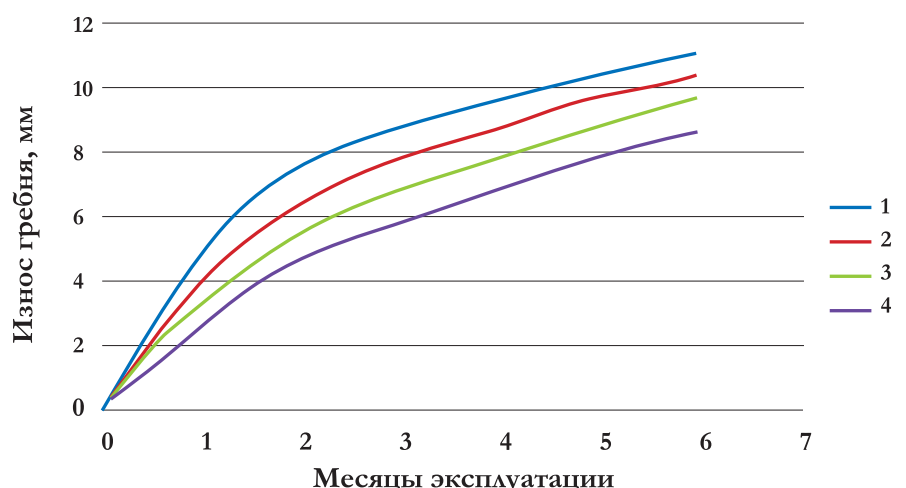


Рис. 3. Интенсивность износа колесных пар думпкаров 2ВС-105, направляющих и средних соответственно: 1, 2 — наплавленных; 3, 4 — новых.

По полученным данным построены зависимости толщины гребня от срока эксплуатации новых и наплавленных колес (рис. 3).

Анализ показывает, что наибольшая ИИ гребней характерна для начального периода работы, в дальнейшем износ стабилизируется и его интенсивность не изменяется с течением времени. Срок службы колесных пар между обточками до толщины гребня 25 мм составляет:

- для новых колес — 6 мес.,
- для наплавленных — 2,5 мес.

Кроме того, было исследовано формирование и развитие износа точек профиля, его формы и геометрии.

Поперечные профили колес технологических и специализированных вагонов металлургических заводов и горно-обогатительных комбинатов снимались с помощью колесного профилографа (погрешность измерения 0,5 мм). В каждом сечении колеса, где снимался профиль, производился замер проката по кругу катания и износ гребня. Данные измерений были статистически обработаны, в итоге установлена явно выра-

женная зависимость увеличения угла наклона гребня от его износа, а также тесная корреляционная связь между износом гребня и прокатом колеса.

На рис. 4 показано изменение проката колес при различном износе гребня исследуемых вагонов: тележек для перевозки изложниц, шлаковозов, чугуновозов, думпкаров ВС-85, думпкаров 2ВС-105, полувагонов (рис. 4, 5; табл. 1).

Анализ полученных зависимостей показывает, что у думпкаров 2ВС-105 ИИ гребня существенно больше проката (кривая 5), у думпкаров ВС-85 (4) и шлаковозов (2) ИИ гребня снижается, однако еще может определять срок службы колеса. У полувагонов (6), платформ для перевозки изложниц (1) и чугуновозов (3) интенсивность проката колес выше интенсивности износа гребней.

Судя по результатам анализа выхода колес из эксплуатации, у тележки для перевозки изложниц и чугуновозов он происходит в основном по предельному прокату, круговому наплыву и дефектам контактно-усталостного характера, у шлаковозов — преимуществен-

но по износу гребня, реже — по прокату и смятию, у думпкаров — в основном по износу гребня, полувагонов — в основном по прокату.

Средний межремонтный период колес тележек для перевозки изложниц составляет 12 мес. до первой обточки и 8 мес. между следующими обточками, шлаковозов — 8–14 мес. до первой обточки, 6 мес. — между последующими.

Одиночный выход колес вагонов промышленного транспорта обусловлен следующими дефектами: смятием поверхности катания, трещинами обода, выколами гребня и поверхности катания, неравномерным износом по длине окружности, овальностью, ползунами и лысками.

Для технологических вагонов металлургических заводов характерны наличие сплывов на наружной грани обода колеса, максимальная величина которых достигает у тележек для перевозки изложниц — 20 мм, у чугуновозов — 15 мм, у шлаковозов — 10 мм. ИИ поверхности катания у внутренней грани колеса и наличие сплывов металла объясняется влиянием краевого эффекта и говорит о том, что контакт колеса с рельсом этих подвижных единиц происходит в основном в этой зоне.

Характер износа колес во многом зависит от состояния железнодорожного пути, радиуса и протяженности кривых малых радиусов, количества стрелочных переводов и т. д. Однако, несмотря на то что эти эксплуатационные условия для исследуемых подвижных единиц существенно различны, наблюдается зависимость характера износа колес от соотношения боковой силы к осевой нагрузке (Y_6/P_{oc}) и осевой нагрузки к диаметру колеса ($P_{oc}/2D$) (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что соотношение Y_6/P_{oc} для всех исследуемых подвижных единиц, за исключением чугуновоза ПМ-600 и думпкара 2ВС-105, практически одинаково, т. е. конструкция ходовых частей этих вагонов обеспечивает равные условия вписывания и боковые силы пропорциональны осевым нагрузкам. Снижение этого соотношения у миксерных чугуновозов обусловлено улучшенной конструкцией ходовых частей по условиям вписывания в кривые участки пути. Увеличение соотношения Y_6/P_{oc} у думпкаров 2ВС-105 объясняется несовершенством конструкции тележки УВЗ-11А.

Судя по приведенным в табл. 1 данным, в том случае, когда коэффициент K_2 больше (чугуновоз ПМ-600) или близок к коэффициенту K_1 (слитковозы, чугуновозы открытого типа), следует ожи-

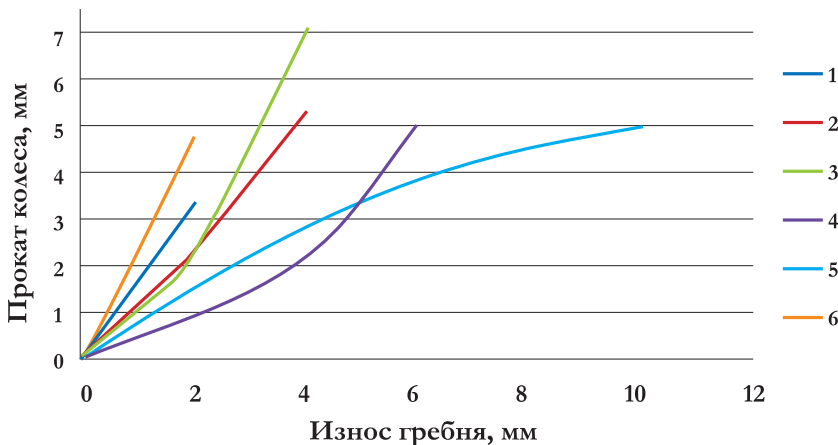


Рис. 4. Зависимость проката от износа гребня: 1 — тележки для перевозки изложниц; 2 — шлаковозы; 3 — чугуновозы; 4 — думпкары ВС-85; 5 — думпкары 2ВС-105; 6 — полувагоны.

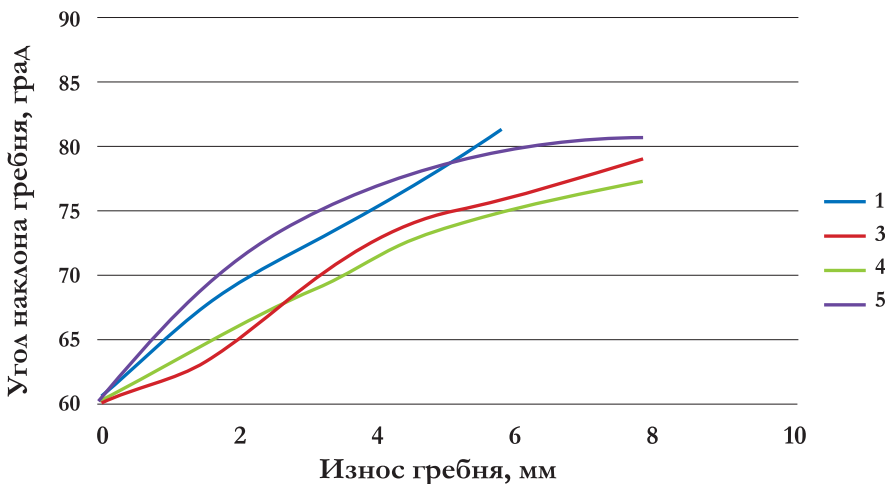


Рис. 5. Изменение угла наклона гребня в зависимости от его износа: 1 — тележки для перевозки изложниц; 3 — чугуновозы; 4 — думпкары ВС-85; 5 — думпкары 2ВС-105

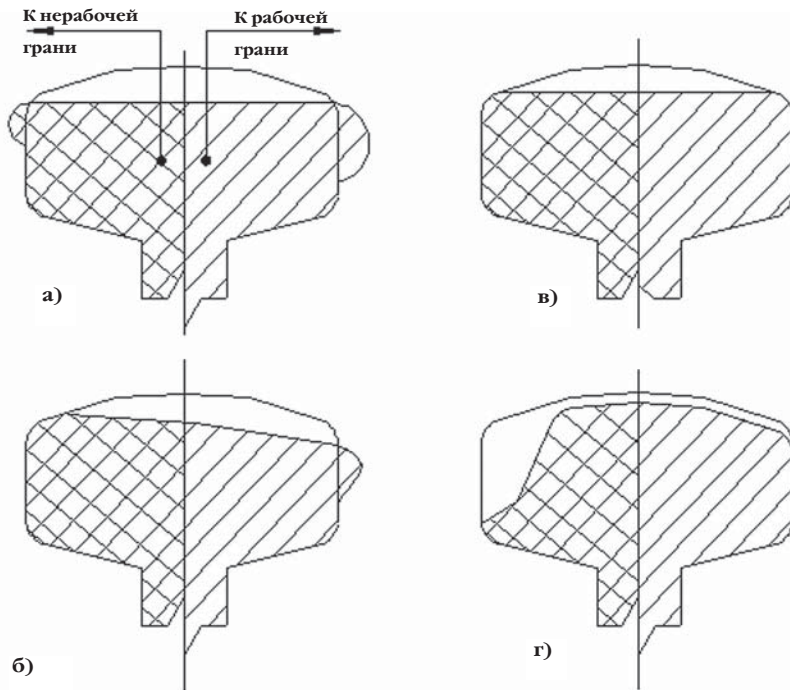


Рис. 6. Формы износа рельсов, эксплуатируемых на технологических путях металлургических заводов

дать выхода колес по контактно-усталостным дефектам и прокату колес. Если коэффициент K_2 существенно — в 2 и более раз — меньше K_1 , как правило, выход колес происходит по износу гребня. Отсюда следует, что характер износа колес определяют не столько абсолютные величины боковых сил и статистических нагрузок, сколько их отношение для определенной подвижной единицы и величина нагрузки, приходящаяся на единицу диаметра колеса $P_{oc}/2D$. Так, абсолютная величина боковых сил и направляющие усилия у платформ для перевозки изложниц и миксерных чугуновозов почти на 20 % больше, чем у думпкаров 2С-105, однако выход колес этих подвижных единиц обусловливается прежде всего контактно-усталостными повреждениями и прокатом по кругу катания, так как отношение $P_{oc}/2D = 0,31-0,33$ у них более чем в 2 раза превышает такой же показатель у 2ВС-105 (0,13).

Аналогичные выводы можно сделать и касательно формы ИИ рельсов.

Результаты исследований, связанных с повреждаемостью рельсов дефектами и их износом на четырех участках технологических путей металлургических заводов, приведены в табл. 2.

Результаты статистической обработки данных об износе рельсов за весь период их эксплуатации приведены в табл. 3.

Качественный анализ данных по поперечным профилям головок изношенных рельсов позволяет выделить четыре наиболее характерные формы износа (рис. 6).

- износ и спливы металла на обе стороны головки (рис. 6а); обнаружена на I, II и IV участках, в кривых проявляется по обоим рельсовым нитям (самая распространенная форма);
- спливы металла только со стороны рабочей грани — встречается на обеих

рельсовых нитях (рис. 6б), наблюдается на первой стадии работы рельса и в процессе эксплуатации переходит в первую форму износа.

- износ вертикальный — характерна для прямых участков и неупорных рельсовых нитей кривых участков (рис. 6в);
- износ вертикальный и горизонтальный — присуща упорным рельсовым нитям (рис. 6г).

Максимальный износ рельсов наблюдается на путях движения платформ для перевозки изложниц (слитковозные пути), менее изношены чугуновозные пути, самый незначительный износ имеют рельсы на шлаковозных путях. Увеличение нагрузки в 1,53 раза (с 225 до 345 кН) вызвало увеличение износа примерно в 2 раза. Наблюдениями ЦНИИ МПС установлено, что увеличение нагрузки со 110 до 188 (в 1,7 раза) привело к повышению ИИ в 1,25–1,31 раза. Таким образом, влияние величины нагрузок на ИИ зависит от диапазона их изменения. При больших нагрузках, вызывающих пластические деформации, влияние их на ИИ более существенно. Формирование вертикального износа на таких участках происходит в значительной степени за счет пластических деформаций головки рельса (рис. 6а, б). Площадь спливов в общей площади износа достигает 27–62 %.

Таблица 1. Зависимость характера износа колес от соотношения боковой силы к осевой нагрузке и осевой нагрузки к диаметру колеса

Показатель	Подвижной состав						
	Тележки для перевозки изложниц	Шлаковозы	Чугуновозы	Думпкары ВС-85	Думпкары 2ВС-105	Полувагоны	Чугуновозы ПМ-600
$K_1 = Y_c/P_{oc}$	0,375	0,374	0,36	0,35	0,48	0,345	0,21
$K_2 = P_{oc}/2D$	0,31	0,13	0,21	0,15	0,13	0,11	0,33

Таблица 2. Нагрузка на рельсы на металлургических заводах

Характеристика	I	II	III	IV
Грузооборот, млн т/год	19,7	7,7	12,4	Неизвестен
Пропущенный тоннаж, млн т	47,3	30,0	58,4	Неизвестен
Осевые нагрузки, максимальные, кН	440	345	225	265
Срок службы рельсов, лет	2,4	3,9	4,7	7,8

Таблица 3. Износ рельсов на металлургических заводах

Показатель износа	Участок			
	I	II	III	IV
Вертикальный за весь срок эксплуатации β_v , мм	4,0	3,6	1,8	5,0
	9,4	6,0	3,7	7,7
Вертикальный за год эксплуатации β_g , мм	1,4	0,9	0,4	0,7
	3,9	1,5	0,8	0,9
Интенсивность вертикального износа $\beta_{v/g}$, мм/ман т брутто	0,08	0,12	0,03	—
	0,20	0,20	0,06	
Площадь износа S , мм ²	250	263	130	328
	620	382	347	480
Коэффициент износа S/r , мм ² /ман т брутто	5,29	8,77	2,23	—
	13,11	12,73	5,94	
Площадь сплавных участков S_s , мм ²	56	31	12	28
	136	98	29	75
Ширина головки, мм	81,4	78,2	75,0	78,2
	90,4	86,5	77,1	85,0

Наличие сплывов существенно сказывается на изменении ширины колеи: у слитковозных путей она может уменьшаться на 20 мм. Сплывы создают крайне неблагоприятные условия для работы рельсов, так как значительно увеличивается эксцентриситет приложения вертикальных давлений.

Наименьший вертикальный износ наблюдается на путях обращения шлаковозов (III участок): на этом участке пути он практически не лимитирует срок службы рельсов.

На технологических путях металлургических заводов срок службы рельсов зависит как от вертикального, так и от горизонтального износа. В кривых малых радиусов определяющим является горизонтальный износ, который может проявляться в виде абразивного истирания и пластических деформаций (сплывов). На I и II участках горизонтальный износ проявляется в виде сплывных деформаций металла головки рельса в сторону рабочей и нерабочей граней. Горизонтальный износ в виде истирания проявляется на III и IV участках.

Интенсивность и величина износа рельсов на технологических путях в 5–7 раз выше, чем на железных дорогах общего пользования. Существенными факторами, определяющими

ИИ, является уровень осевых нагрузок и технические особенности подвижного состава. Удельный расчетный коэффициент износа по металлургическому производству (β_p) составляет 9,567 мм²/млн ткм брутто, по горнорудному производству (β_p) — 15,541 мм²/млн ткм брутто, по остальным — 4,784 мм²/млн ткм брутто.

Таким образом, прогнозировать форму, вид и интенсивность износа колеса и рельса следует исходя из анализа условий их взаимодействия — в первую очередь, из соотношения боковой силы к осевой нагрузке и осевой нагрузки к диаметру колеса.

Специфические особенности работы промышленных железных дорог — малые скорости движения, большие осевые нагрузки, большая протяженность пути в кривых, малый радиус — обуславливают то факт, что большинство исследований по вопросам взаимодействия пути и подвижного состава ориентированы на снижение силового воздействия подвижного состава на путь в кривых и повышение безопасности движения (создание радиальных тележек, увеличение горизонтальной жесткости пути, лубрикация колес и рельсовых нитей, постановка контррельсов и т. д.).

Однако, как показал опыт эксплуатации экипажей с высокими осевыми нагрузками, такая односторонняя направленность исследований не обеспечивает необходимой надежности и долговечности служб колес и рельсов. Разработку мер по повышению сроков их службы необходимо вести комплексно по нескольким направлениям, т. е. наряду с изменением конструкции ходовых частей подвижного состава и железнодорожного пути для улучшения вписывания в кривые участки следует обратить особое внимание на уменьшение контактно-усталостных повреждений рельсов и колес по кругу катания. Последнего можно достичь за счет снижения контактных напряжений и повышения прочностных характеристик стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудкин Е. П., Параскевопуло Ю. Г. Износ колес многоосных экипажей с осевыми нагрузками до 550 кН // Использование технических средств промышленных железных дорог: межвуз. сб. тр. Л., 1984.
2. Яковлев В. Ф. Исследование динамических контактных деформаций в колесах и рельсах в эксплуатационных условиях // Труды ЛИИЖТ. Вып. 210. Л., 1963.
3. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971.

При поддержке:



exporail.ru

Организатор:

РЕСТЭК БРУКС

Тел.: (812) 320-80-94
E-mail: exporail@restec.ru
www.exporail.ru

VI Международная выставка современной продукции, новых технологий и услуг железнодорожного транспорта

exporail2012

7 – 9 ноября

ЦВК "ЭКСПОЦЕНТР", Москва

В деловой программе выставки состоится Дискуссионный клуб

www.exporail.ru

Генеральный информационный партнер:

