

УДК 629.4.027.11+06

Ал.Ал. ДЕМЬЯНОВ, Ал.Ан. ДЕМЬЯНОВ, О.С. СОСЕДКИНА**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ БАШМАЧНОМ ТОРМОЖЕНИИ**

В данной статье предложена методика регулирования скорости сортируемых вагонов, которая дополняя широко применяемую технологию башмачного торможения, позволяет исключить образование ползунов. Показан экономический эффект от внедрения противоположной системы.

Ключевые слова: сортировочная горка, башмачное торможение вагонов, противоположная система, экономический эффект, промышленное внедрение.

Введение. В системе российских железных дорог существует около 50 немеханизированных горок, на которых скоростью вагонов управляют вручную при помощи тормозного башмака (ТБ). Кроме этого, немеханизированные горки имеют и промышленные предприятия. Как известно, применение ТБ ведёт к термомеханическим повреждениям поверхности катания колес в виде односторонних ползунов (рис.1), которые значительно сокращают срок эксплуатации колес, буксовых узлов, верхнего строения пути. С учетом горок промышленных предприятий на каждый вагон в год приходится до 18 башмачных торможений, при каждом из которых возможно образование браковочного ползуна. Кроме того, известно [1], что на один браковочный ползун (глубиной 1 мм и более) в среднем может приходиться до 50 единиц невыбраковочных ползунов, имеющих размер от 0,4 до 0,8 мм. Такие ползуны значительно ухудшают динамические характеристики взаимодействия колеса и рельса и являются "благодатной почвой" для образования браковочных ползунов.



Рис.1. Односторонний ползун

В связи с важностью данной проблемы был принят ряд отраслевых программ РЖД (протокол № 50 от 19.06.00, указание НР 155 от 06.03.01, указание № 111у от 08.07.03 и т. д.), направленных на исключение потерь транспорта от повреждений в системе «экипаж–путь» при эксплуатации, в том числе и за счёт исключения образования односторонних ползунов.

Оснащение малых горок с пропускной способностью до 1500 вагонов в сутки в отличие от средних и больших (более 3500 вагонов) горок серийными вагонными замедлителями из-за их высокой стоимости становится экономически невыгодным. Поэтому разработка экономически адекватной для малых горок технологии замедления вагонов, исключающей образование термомеханических повреждений колес вагонов при их торможении, является важной отраслевой задачей.

Механизмы системы «путь–подвижной состав» работают в экстремальных условиях и подвергаются воздействию большого числа факторов, уровень значимости которых изменяется в зависимости от срока эксплуатации, нагрузочно-скоростных характеристик подвижного состава, состояния пути и метеорологических условий.

Для прогнозирования поведения системы под влиянием внешних факторов необходимо найти наиболее уязвимые места системы, т.е. важно подобрать точный метод формального представления системы. Моделирование механических систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск выхода их из строя. Как известно, именно совершенство кинематической модели определяет основные параметры механизма и никакими конструктивными и технологическими улучшениями нельзя исправить ошибки, допущенные при разработке кинематической модели.

Так, например, одним из основных показателей качества механической системы является надежность, которая характеризует ее конструкцию в условиях эксплуатации и закладывается на стадии проектирования. Допущенные на этом этапе принципиальные просчеты не могут быть компенсированы на стадии производства и приводят к снижению эффективности объекта в эксплуатации.

Очевидно, что для решения поставленной задачи необходимо использование методики, позволяющей синтезировать новые кинематические модели на основе анализа существующих в рамках системного подхода.

Методика эволюционного синтеза кинематической модели. Задача решалась с применением методики эволюционного синтеза [2], которая заключается в поэтапном изменении структурной и функциональной составляющей кинематической модели и обеспечивает минимизацию принципиальных просчетов, которые нельзя компенсировать на стадии производства.

Эволюция кинематической модели оценивается агрегатными индексами. Если в индексированном процессе необходимо выделить разнородные параметры, например x и y , то агрегатный индекс вычисляется по формуле

$$J_{xy} = \frac{e^{X_{j+1}}}{e^{X_j}} \cup \frac{e^{y_{j+1}}}{e^{Y_j}}, \quad (1)$$

где x , y – индексированные величины; j , $j+1$ – знаки базисного и текущего периодов, соответственно.

Если один из сомножителей характеризует структурную составляющую, а другой – функциональную, то уравнение (1) описывает их соотношение на разных этапах синтеза.

В качестве показателя структуры кинематической модели используется «условная» вероятность безотказной работы, которая принимается по реальным механизмам аналогичного класса. Условная вероятность безотказной работы используется как показатель относительного изменения структуры.

Решение первой части задачи (1) осуществляется приведением всех элементов кинематической модели к вероятности безотказной работы P_i , i -го элемента (например, имеющего наименьшее значение).

При решении второй части задачи обозначаем функциональную составляющую комплексным показателем k , а входящие в нее параметры (например, скорость, нагрузку, производительность и т.д.) через k_1, k_2, \dots, k_i .

Уравнение, фиксирующее изменения количественных показателей в процессе эволюционного синтеза, имеет вид:

$$\Psi_k = \Psi_c \cdot \Psi_\phi \quad (2)$$

или

$$\Psi_k = \frac{(P_i^{ak} \cdot P_i^{bncq} \cdot P_i)_{j+1}}{(P_i^{ak} \cdot P_i^{bncq} \cdot P_i)_j} \cdot \frac{(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i)_{j+1}}{(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i)_j}, \quad (3)$$

где $\Psi_c, \Psi_\phi, \Psi_k$ – структурный, функциональный и комплексный индексы адаптации; P_{jk} – вероятности безотказной работы неподвижных звеньев; P_{jn} – вероятности безотказной работы подвижных звеньев; P_{jp} – вероятности безотказной работы кинематических пар; a, b, c – корректирующие коэффициенты, учитывающие неравномерное распределение вероятностей.

Полученное уравнение позволяет минимизировать структуру кинематической модели на ранних стадиях проектирования и, следовательно, повышает вероятность эффективного решения задачи.

Исключение функционально неэффективных проектных условий в процессе эволюции обеспечивается анализом иерархических соотношений проектных условий с использованием методов ранговой корреляции, случайного баланса и функционального анализа. Методика основана на формировании внутриуровневых и межуровневых связей проектных условий по соответствующим целевым функциям, имеющим вид

$$Y = \begin{matrix} \text{М} & \text{Й} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ц} \\ \text{П} & Y_1 & Z_1 & e^{X_{ja}} & Z_2 & e^{X_{jb}} & \dots & Z_f & e^{X_{jc}} \\ \text{П} & \text{Л} & \text{И} & \text{Ш} & \text{И} & \text{Ш} & & \text{И} & \text{Шы} \\ & & a=1 & & b=1 & & & c=1 & \end{matrix} \quad (4)$$

$$Y = \begin{matrix} \text{П} & \text{Й} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ц} \\ \text{П} & Y_2 & Z_1 & e^{X_{ja}} & Z_2 & e^{X_{jb}} & \dots & Z_f & e^{X_{jc}} \\ \text{П} & \text{Л} & \text{И} & \text{Ш} & \text{И} & \text{Ш} & & \text{И} & \text{Шы} \\ & & a=1 & & b=1 & & & c=1 & \end{matrix}$$

$$Y = \begin{matrix} \text{П} & \text{Й} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ж} & \text{Ц} & \text{Ц} \\ \text{П} & Y_3 & Z_1 & e^{X_{ja}} & Z_2 & e^{X_{jb}} & \dots & Z_f & e^{X_{jc}} \\ \text{П} & \text{Л} & \text{И} & \text{Ш} & \text{И} & \text{Ш} & & \text{И} & \text{Шы} \\ & & a=1 & & b=1 & & & c=1 & \end{matrix}$$

где Y – межуровневая и Y_1, Y_2, \dots, Y_n – внутриуровневые целевые функции; X_a, X_b, \dots, X_c – проектные условия, сгруппированные соответственно по признакам Z_1, Z_2, \dots, Z_f (например, нагрузочно-скоростной режим, технологичность, тип подсистемы и т.д.).

Для определения значений переменных используются расчетно-экспериментальные методы в сочетании с математическим планированием эксперимента и физическим моделированием.

Конструкция и принцип действия противоположной системы (ППС). Согласно поставленной задаче разработана методика регулирования скорости сортируемых вагонов, которая, дополняя широко применяемую технологию башмачного торможения, позволяет исключить образование ползунов.

Методика, исключая термомеханические повреждения колес при горочных операциях с использованием ТБ основана на периодической смене поверхности контакта колес с рельсами за счет периодического перехода подбашмаченной пары от трения скольжения к трению качения. Согласно методике весь путь трения колёсной пары L_T на каждой тормозной позиции разбивается на интервалы L_i (торможение коротким юзом), в пределах которых, образование термомеханических повреждений колес исключается

$$L_T = \sum L_i . \quad (5)$$

На основе этой методики разработана противоположная система – упорядоченная система устройств (рабочих модулей), расположенных на шейке рельсовой нити со стороны установки тормозного башмака в заданном порядке с интервалом не более семи метров.

Переход пары от трения скольжения к трению качения осуществляется за счет входа гребня подбашмаченного колеса на рабочий модуль, его отрыва от полоза тормозного башмака и проворачивания всей пары на заданный угол. В результате проворачивания меняется участок контакта неподбашмаченного колеса с рельсом до образования ползуна.

Каждый рабочий модуль противоположной системы (рис.2) состоит из клинового элемента, связанного с несущим элементом и плитой, закрепленной на поверхности шпал путевыми шурупами, а также связанного с рельсом путевыми болтами. Напротив каждого модуля на втором рельсе устанавливается контррельс.

Рис. 2. Кинематическая схема рабочего модуля противоположной системы:
1 – рельс; 2 – тормозной башмак (показан только полоз); 3 – колесо

Рабочие модули имеют степень унификации 97% при 100% использовании материалов и деталей, применяемых в путевом хозяйстве, благодаря чему техническое обслуживание такой системы сведено к стандартным для горки операциям, регулярно проводимым работниками дистанции пути.

Техническая документация на противоположную систему прошла рецензирование специалистов ВНИИАС (отдел А и МСП), а также согласована в Департаментах управления перевозками, вагонного хозяйства, локомотивного хозяйства, технической политики, пути и сооружений и утвер-

ждена вице-президентом ОАО "РЖД". На конструкцию тормозной позиции горки с противоположной системой получен патент №2338657.

К настоящему времени об использовании другой промышленной технологии, исключающей повреждение колес при торможении на немеханизированных горках, неизвестно.

Методика эксплуатационных испытаний. Поскольку только в реальных условиях можно достоверно установить сроки безотказной работы и причины, вызывающие отказы отдельных узлов или деталей механизма в целом, то апробация ППС проводилась в условиях работы сортировочной горки по разработанной и согласованной с РЖД методике, содержащей два этапа.

На *первом этапе* оценивались работоспособность и безотказность ППС в зависимости от нагрузочно-скоростных характеристик, тормозимых башмаками, вагонов.

Для определения числа повторных торможений [3] при многократном измерении одного и того же параметра учитывалась доверительная вероятность эксперимента (коэффициент надёжности), равная 95%. Для обеспечения 95%-ной вероятности отсутствия образования ползунов в процессе роспуска состава фиксировались результаты семи торможений для вагонов весом 20...80 т в скоростном интервале 5...15 км/ч.

На *втором этапе* определялись безотказность в зависимости от эксплуатационной наработки и долговечность ППС в условиях работы сортировочной горки.

Для получения достоверных результатов эксплуатационные испытания ППС проводились без ограничений по массе и скорости тормозимых вагонов, круглосуточно, независимо от погодных условий и времени года. В процессе испытаний регистрировалось:

- возникновение дефектов и отказов (по углу проворачивания) модулей ППС и их частей;
- результаты осмотра колесных пар, подвергшихся торможению на путях, оборудованных ППС, с замером образовавшихся ползунов;
- количество вагонов, прошедших через ППС за весь период эксплуатации.

Программа и результаты эксплуатационных испытаний. Эксплуатационные испытания были проведены согласно методики в два этапа на путях немеханизированной сортировочной горки Воронежского парка ст. Лихая СКЖД.

На рис.3 представлен фрагмент второй тормозной позиции 19-го пути перед роспуском состава. Типовая тормозная позиция включает рабочий модуль, монтируемый в паре с контррельсом, и башмакосбрасыватель (не показан), установленный в конце тормозной позиции, а также блок тормозных башмаков, подготовленный к установке под колесные пары.

Продолжительность первого этапа испытаний составила 1 месяц, за который через ППС было пропущено 1500 вагонов. Никаких ограничений в режим работы горки, кроме тех, что определены ПТЭ, не вводилось.

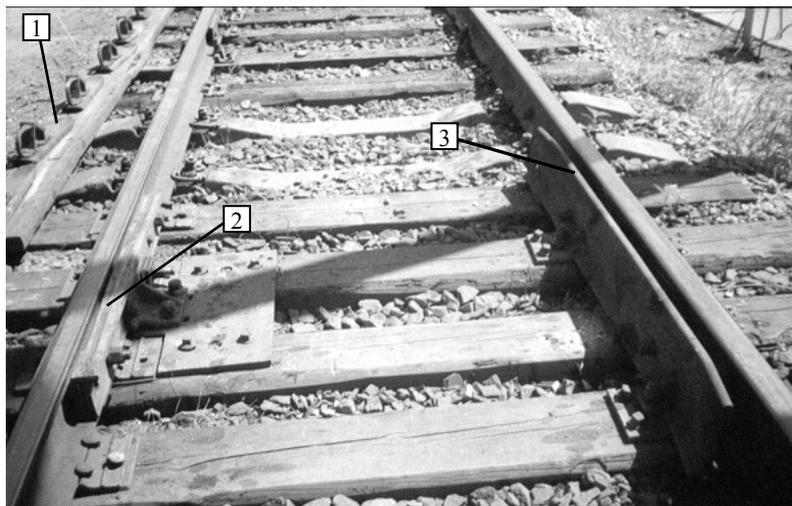


Рис. 3. Фрагмент тормозной позиции сортировочной горки станции Лихая, оборудованной противополозунной системой: 1 – тормозные башмаки; 2 – рабочий модуль; 3 – контррельс

На втором этапе продолжительность эксплуатации испытаний составила 10 месяцев и охватила весенний, летний, осенний и зимний периоды и так же, как и на первом этапе, проходила в обычном для горки режиме.

Результаты испытаний показали, что:

– применение ППС на горках с башмачным торможением исключает образование односторонних ползунов;

– даже на тяжелых (80т) вагонах на поверхности катания колеса обнаружены только пятна цвета побегалости, не фиксируемые вагонным шаблоном;

– непрерывная эксплуатационная наработка, в течение которой ППС сохраняет безотказность, составляет порядка 12 месяцев без замены элементов, контактирующих с колесами вагонов и локомотивов;

– эксплуатация ППС не оказывает влияния на безопасность движения.

На рис.4 показан момент поднятия колеса над полозом башмака при накатывании гребня на профильный элемент модуля.

Результаты эксплуатационных испытаний подтверждены выводами комиссии, включающей сотрудников ВНИИАС (протокол от 19.01.2006), назначенной в соответствии с письмом вице-президента ОАО "РЖД" № ЦДСТ-3/1 от 17.01.06., выводами межведомственной комиссии (акт от 28.02.2006), назначенной в соответствии с телеграммой вице-президента ОАО "РЖД" № ВГ-1488 от 26.02.06).

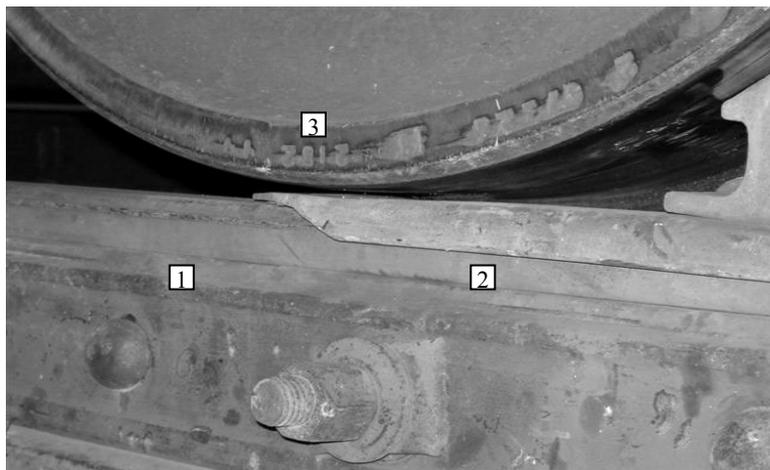


Рис.4. Поднятие колеса над полозом башмака при накатывании гребня на профильный элемент модуля:
1 – рельс; 2 – тормозной башмак; 3 – колесо вагона

Предварительные испытания образцов ППС проводились на ст. Ростов-Товарная в мае – июне 2005 г. С 01.07.05. была начата непрерывная промышленная эксплуатация ППС, установленной на 18 и 19-ом пути сортировочной горки Воронежского парка ст. Лихая СКЖД. С апреля 2008 года такой системой сортировочная горка была оборудована полностью. Было принято решение принять ППС за основу для оборудования всех немеханизированных горок сети железных дорог.

Расчет экономического эффекта. На основании данных промышленной эксплуатации рассчитан экономический эффект от внедрения противоположной системы по методике возмещения ущерба МПС РФ от 25.09.00, в котором учтены только непосредственные потери от выбраковки, ремонта и преждевременной потери ресурса колесных пар.

Как показывает практический опыт, толщина снимаемого слоя металла с обода колесной пары при обточке за один ремонт колеблется от 4 до 25 мм в зависимости от характера ползуна и развития повреждений, связанных с ним. Среднюю глубину обточки можно принять 15 мм.

Так, при обточке колесной пары её ресурс сокращается на 8...48 %, что соизмеримо с потерей 8...48 % колесных пар соответственно, следовательно, средние потери составят 30 %. За последние пять лет на СКЖД по наличию односторонних ползун в среднем производится обточка с полной ревизией порядка 2000 колесных пар ежегодно. В целом по отрасли обточка по ползунам составляет как минимум 40000 пар.

Учитывая вышеизложенное, экономический эффект ΔE , полученный за счет исключения ущерба, связанного с потерей ресурса от преждевременной обточки колесных пар по ползунам, будет иметь следующую зависимость

$$\Delta E = N \cdot T_k \cdot \chi = 80000 \cdot 2000 \cdot 0,3 = 48000000 \text{ руб.},$$

где $T_k = 80$ тыс. руб. – стоимость одной новой колесной пары; N – количество дефектных колесных пар, шт.; $\chi = 0,3$ – коэффициент, учитывающий средние потери ресурса от проточки колесной пары.

Таким образом, средний ежегодный экономический эффект, получаемый только за счет сохранения ресурса колесных пар путем исключения обточек по односторонним ползунам, составит для СКЖД – порядка

48 млн. руб. в год, а по отрасли 960 млн. руб. в год. С учетом исключения суммарных затрат на ремонт колесной пары (оцениваемых в 5,5...6 тыс. руб. на вагон) средний экономический эффект составит для СКЖД – порядка 60 млн. руб. в год, а по отрасли 1,2 млрд. руб. в год. По предварительным расчетам срок окупаемости противоположной системы не превысит шести месяцев.

В данном расчете не учтены опосредованные потери от преждевременного выхода из строя буксовых узлов и элементов верхнего строения пути, а также потери от простоя вагонов. Если учесть, что ежегодно обнаруживается порядка 50000 штук острорельсовых рельсов и 80000 вагонов, повреждение которых в основном связано с ползунами [2], то экономический эффект будет значительно больше.

Библиографический список

1. Демьянов Ал.Ан. Особенности повреждения поверхности катания колесных пар при башмачном торможении. / Ал.Ан. Демьянов, Ал.Ал. Демьянов, Н.Н. Бачкарев. // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2006. – №9. – С.40-44.
2. Демьянов Ал.Ан., Теоретические основы адаптивного синтеза фрикционных систем. / Ал.Ан. Демьянов, Ал.Ал. Демьянов, А.В. Дорохина, Т.В. Лобченко. // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2006. – №4. – С.22-25.
3. Евдокимов Ю.А. Планирование и анализ эксперимента при решении задач трения и износа / Ю.А.Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин. – М.: Наука, 1980. – 220 с.

Материал поступил в редакцию 10.02.09.

ДЕМЬЯНОВ Алексей Александрович (р.1977), доцент кафедры "Основы проектирования машин" Ростовского государственного университета путей сообщения, кандидат технических наук. Окончил в 1999 году РГУПС. Научное направление – системы безопасности подвижного состава. Автор более 40 научных работ.

ДЕМЬЯНОВ Александр Анатольевич (р.1950), профессор кафедры "Основы проектирования машин" Ростовского государственного университета путей сообщения, доктор технических наук. Окончил в 1972 году РГУПС. Научное направление – теория синтеза механических систем. Автор более 60 научных работ.

СОСЕДКИНА Ольга Сергеевна, ассистент кафедры "Основы проектирования машин" Ростовского государственного университета путей сообщения. Окончила в 2005 году РГУПС. Научное направление – система безопасности подвижного состава. Имеет 15 научных работ.

neoma2007@yandex.ru