

ISSN 1994-2338

Международный информационный научно-технический журнал

ЛОКОМОТИВ

ДЕКАБРЬ

И Н Ф О Р М 2011

**ЭЛЕКТРОПОЕЗД ЭП^р
ДЛЯ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

ЭЛЕКТРОВОЗ 2ЕЛ4 ГЛАЗАМИ МАШИНИСТА

**15 ЛЕТ СОТРУДНИЧЕСТВА МЕЖДУ
ZEPPELIN И CZ LOKO**



ISSN 1994-2338



9 771994 233602



Сергиенко Н. И., к. т. н., первый заместитель генерального директора ГАЖТ Украины «Укрзалізниця»,
Колот В. А., к. т. н., генеральный директор АО «МИНЭТЭК», г. Краматорск, Украина,
Колот А. В., д. т. н., зав. кафедрой ЭСА Донбасской государственной
машиностроительной академии, г. Краматорск, Украина

УДК 629.1.072

Влияние условий взаимодействия адаптированных колеса и рельса на износ рабочей поверхности гребня

Изучен механизм износа гребня бандажей, имеющих адаптированный профиль в контакте с рамным рельсом. В результате моделирования установлено влияние величины динамического отставания острейка стрелочного перевода от рамного рельса на износ рабочей поверхности гребня в верхней его части. Предложены пути снижения износа гребней.

С вступлением в силу ГОСТа 8161-75 «Рельсы железнодорожные типа Р65. Конструкция и размеры» радиус закругления головки рельса был изменен с 13 до 15 мм. В тоже время чертеж 3 ГОСТа 11018 профиля бандажа колесной пары локомотива предусматривает радиус выкружки гребня — 13 мм и наклон рабочей части гребня — 70°. Таким образом, условия эксплуатации для бандажей колес локомотивов со стандартным профилем изменились в худшую сторону. Эти изменения, а также переход на колею 1520 мм и повышенную поверхностную твердость головки рельса привели к резкому повышению износа бандажей и необходимости создания новых эффективных профилей.

Эффективность профилей колесных пар определяется рядом показателей: запасом устойчивости от схода колес с рельсов, плавностью хода, интенсивностью износа колес и их ресурсом, степенью воздействия на боковой износ рельсов и затратами условного топлива на тягу.

На величину этих показателей влияют многочисленные факторы, учесть которые в комплексе практически невозможно.

Существенные результаты по минимизации их влияния ученым и практикам удалось получить за счет совершенствования профилей колес и технологических приемов эксплуатации.

Поиски путей совершенствования профилей колес (бандажей) привели к пониманию того, что профиль должен быть «комфортным» [1], или, применяя техническую терминологию — адаптированным к профилю головки рельса [2]. Принцип построения адаптированных профилей изложен и реализо-

ван в патентах на изобретения [1, 3, 4], где поверхность катания представлена как максимально приближенная к зеркальному отображению профиля головки рельса с определенным углом наклона рабочей части гребня. Однако любые действия, направленные на получение эффективных профилей колес должны рассматриваться с точки зрения обеспечения условий безопасности.

В работе [5] обосновано условие безопасности движения при рассмотрении механизма вкатывания колеса на рельс и стрелочный перевод в виде зависимости $\tan \beta = \mu + \mu' / 1 - \mu \mu' > 0,42$, или $\beta > 23^\circ$, где β — угол наклона рабочей части гребня.

Как следует из этой зависимости, важными факторами являются не только геометрические параметры гребня (величины радиусов и их изменения до вершины гребня в зависимости от угла β), но и технологические (шероховатость, наличие или отсутствие смазки).

Влияние конструктивных факторов — радиуса 12,5 мм при вершине гребня на безопасность движения — автором [5] обосновывается применительно к стандартному вагонному профилю, где отмечается, что допустимое значение угла β наступает на расстоянии 1 мм от вершины гребня.

Следуя изложенной теоретической оценке, граничные условия безопасности β по высоте от вершины гребня для локомотивного профиля создаются при набегании колеса на рельс на 16% раньше, а для профиля «МИНЭТЭК» — на 10% позже, чем для вагонного профиля. Это способствует большему запасу устойчивости в сравнении со стандартными профилями.

Приведенные теоретические данные свидетельствуют о преимуществах

адаптированных профилей. Это нашло подтверждение в ряде выполненных исследований.

Как отмечено в выводах секции НТС по локомотивному Главку Укрзалізниця от 4.04.2006г., по результатам динамических ходовых испытаний электровагона ЧС8-024 с колесами с профилем «МИНЭТЭК» [3], «...значение коэффициентов запаса стойкости колес от схода с рельсов, рамных сил и коэффициентов динамики в первой ступени рессорного подвешивания удовлетворяют требованиям нормативных документов при движении по прямым со скоростью до 160 км/ч, а по кривым и стрелочным переводам — с установленными скоростями...».

В работе [6] показано влияние типа профиля колеса на показатели безопасности при движении по прямой полностью загруженного полувагона на тележке 18-100 в контакте с рельсом Р65. Отмечено, что профили, аналогичные «МИНЭТЭК», обеспечивают больший запас устойчивости колеса от схода с рельса по сравнению со стандартным профилем.

Положительные результаты получены для этого профиля в ДИИТе при испытании на предельных износах гребня и скоростях движения локомотивов ТЭП70, ТЭП150, ЧС2, ДС3.

Таким образом, с точки зрения безопасности движения, профиль колеса, созданный с учетом условия максимальной адаптации к форме головки рельса, обеспечивает требования безопасности движения. Это подтверждают и исследования, выполненные в ДНДЦ УЗ при изучении динамики пассажирских вагонов с раздвижными колесными парами [7].

Однако проблема износа бандажей, а также его влияния на боковой износ рельсов остается актуальной.

Исследования механизма износа контактирующих поверхностей колеса и рельса проводятся учеными во многих странах. Последние данные по этому вопросу получены в ДИИТе на основе математического моделирования пространственных колебаний экипажа относительно рельсового пути при движении по криволинейным участкам $R = 600$ и 350 м [6]. Установлено, что показатели износа стандартного профиля на участках с $R = 600$ м выше в 1,8 раза, а с $R = 350$ м в 1,4 раза выше износа профилей, аналогичных профилю «МИНЭТЭК». Таким образом, можно сделать вывод об имеющейся возможности увеличения ресурса колес (бандажей) в среднем в 1,6 раза при использовании таких профилей.

Кроме этого, определены и сопоставлены экономические показатели расходов энергии на тягу при движении грузового поезда, сформированного из 60 полувагонов массой 80 т брутто. Автором [6] установлено, что при равных условиях рекомендованный профиль обеспечивает экономию электроэнергии равную 2–3% на тягу. Это обусловлено уменьшением работы сил трения контактирующих поверхностей колеса и рельса. Также показано, что ресурс рельсов в среднем в 1,6 раза выше в кривых по боковому износу при использовании этого профиля. Приводятся данные [1] о снижении в 2 раза интенсивности износа гребней бандажей, имеющих адаптированный профиль по патенту Украины на изобретение [3], который сочетает в себе элементы бельгийского патента № 654368, B61f (аналог) и экспериментального профиля ДМеТи (в части, ограниченной $R = 200$ мм как прототипа).

Необходимо отметить, что исследователями предлагаются варианты адаптированных форм профильных поверхностей бандажа, а одним из направлений в их создании допускают (без учета других конструктивных особенностей) установление угла наклона образующей гребня равного 66° , принятое в изобретении [8]. Данное изобретение своей задачей ставит уменьшение износа поверхностей катания колеса и рельсов, особенно гребней колес и боковой поверхности головки рельсов при движении в кривых участках пути малого радиуса, сокращение случаев схода вагонов с рельсов и повышение стабильности пути. С этой точки зрения профили [2,3] отвечают поставленной задаче и по указанному конструктивному параметру не имеют отличий.

Цель исследования заключается в анализе механизма износа рабочей поверхности гребня в верхней его части и разработке предложений по его снижению.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Выполнить анализ условий контакта профилей колес, используемых на железных дорогах Украины при прохождении кривых и стрелочных переводов.
2. Показать отличительные характеристики адаптированных и неадаптированных профилей колес и их влияние на интенсивность износа.
3. Выявить факторы, влияющие на гребневой износ адаптированных профилей.

Несмотря на положительные данные рассматриваемых адаптированных профилей [1, 2, 3], остается нерешенной проблема повышенного гребневого износа в верхней рабочей поверхности гребня. В результате, при обработке бандажей это приводит к частым переточкам и уменьшению эффективной толщины гребня. Тенденция многократного снижения проката и подреза гребня не приводит к существенному уменьшению количества переточек бандажей, поскольку определяющим фактором является интенсивность износа боковой поверхности гребней в верхней его части.

При движении по пути, как известно, наибольший взаимный износ колеса и рельса происходит на криволинейных участках.

Как видно на рис. 1, 2, пятно контакта у адаптированных колес выше и это служит предпосылкой к снижению износа. Неадаптированные профили, прирабатываясь (изнашиваясь) к головке рельса, принимают приближенную к зеркальной форму рельса. Этот процесс сопровождается интенсивным износом. В результате того, что рельсовый путь на украинских железных дорогах, в отличие от европейских, не восстанавливают шлифованием рельсов, адаптация профиля бандажа к голов-

ке рельсов на различных участках пути не может быть закономерной.

Для оценки взаимного влияния того или иного профиля колеса и головки рельса выполнен анализ взаимодействия колеса с рельсом с подуклонкой, принятой на украинских железных дорогах — 1:20, и европейских — 1:40 с использованием компьютерного моделирования. Оценить взаимодействие колеса с рельсом при прохождении кривых можно, анализируя рис. 1–3.

На рис.1 для сравнения показано изменение величины адаптации локомотивного профиля по рис. 3 ГОСТа 11018-2000 при переходе с подуклонки, принятой на украинских железных дорогах 1:20, к подуклонке на европейских — 1:40. Как видно, площадь контакта неадаптированного профиля с отечественным рельсом Р65 на украинских дорогах на 40% меньше, чем на европейских. Это служит причиной интенсивного износа (подреза) гребня, увеличения работы сил трения и больших потерь энергии. Снижению этих показателей способствует увеличение степени адаптации профилей. Рис. 2 дает представление об «эффективности» моторвагонного профиля по рис.4 ГОСТа 11018-2000 и разработанного ДИИТ-УЗ.

Судя по степени адаптации в исходном (не приработанном) состоянии $\Delta = 1,2$ мм (а) и 0,7 мм (б), профиль ДИИТ-УЗ должен иметь лучшие показатели, чем стандартный, о чем также свидетельствуют исследования [1]. Однако наиболее адаптированными профилями к головке рельсов Р65 являются ремонтный [2] с толщиной гребня 30 мм (рис. 3, а), внесенный в нормативный документ Укрзалізничці «Інструкція по формуванню, ремонту і содержанию колесних пар тягового подвижного состава железных дорог Украины колеи 1520 мм» — ВНД 32.0.07.001-2001 под условным обозначением 120М (локомотивный) и 220М (моторвагонный), и полнопро-

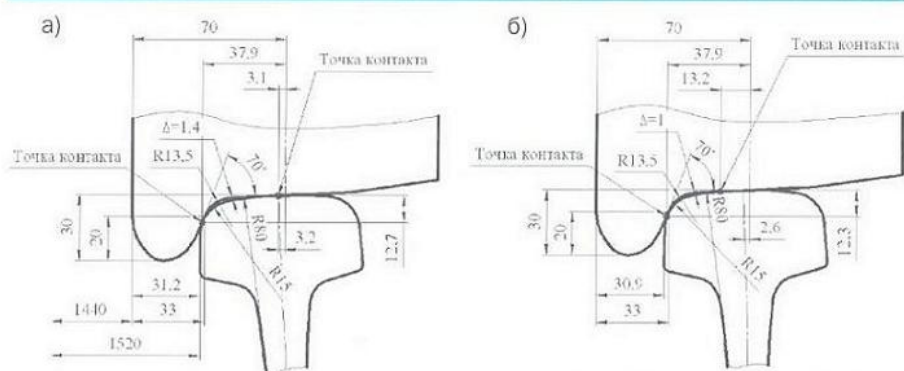
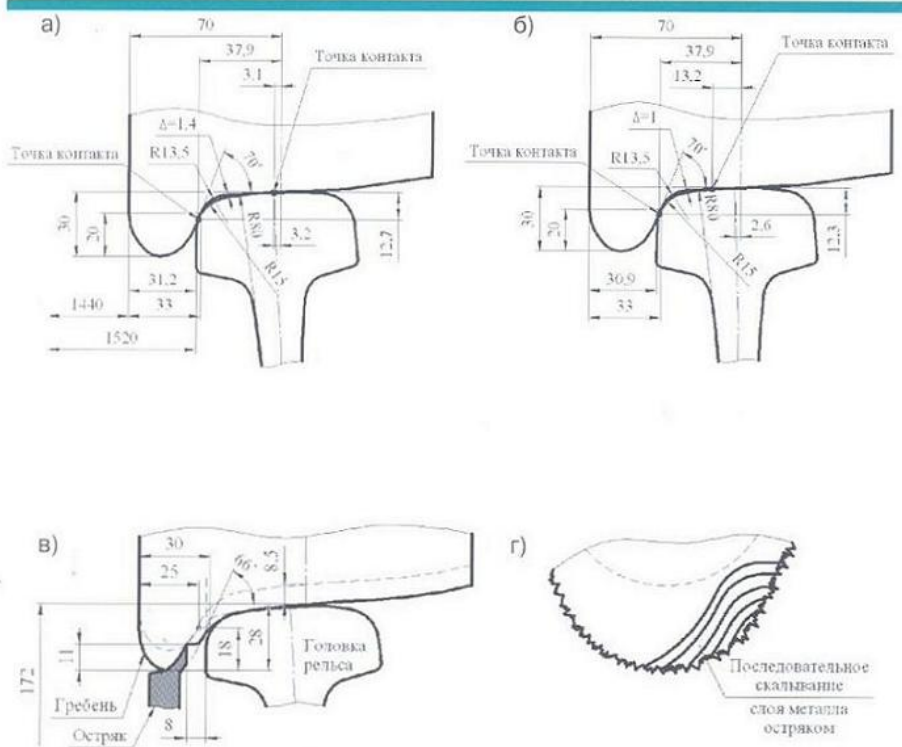
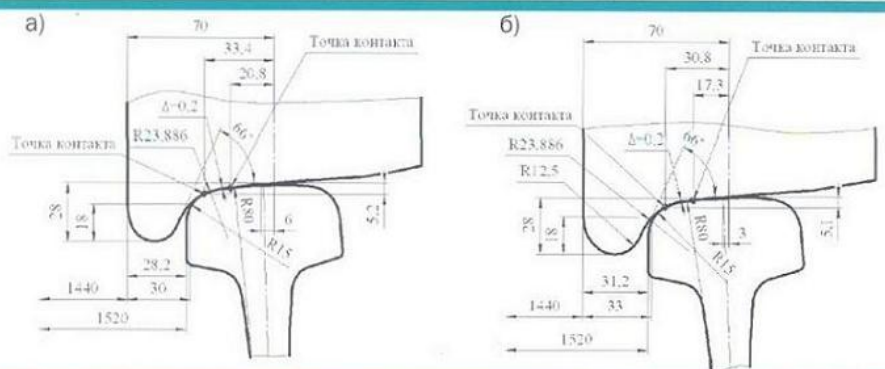
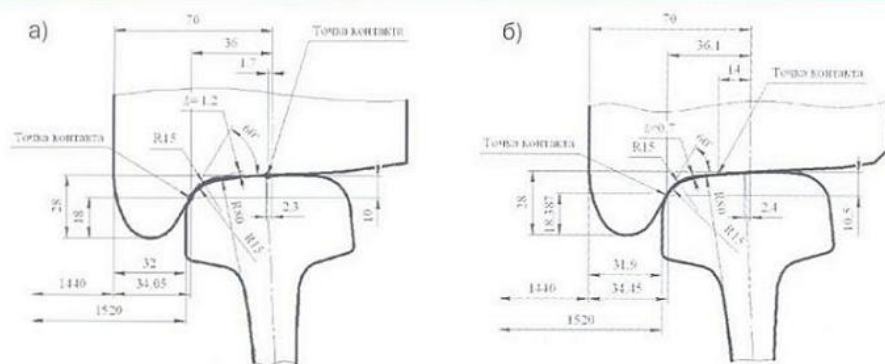


Рис. 1. Характер взаимодействия обода колеса (профиля по рис. 3 ГОСТа 11018-2000) с рельсом типа Р65:

- а) двухточечный контакт (подуклонка 1:20)
- б) двухточечный контакт (подуклонка 1:40)



фильный локомотивный «МИНЭТЭК
ППЛ» с толщиной гребня 33 мм (рис. 3, б).

Несмотря на явные преимущества, проблема износа контактируемых поверхностей колеса и рельса остается нерешенной и для аналогичных профилей. Она в значительной степени связана с качеством рельсового пути и, как показывает анализ, в особенности на участках стрелочных переводов.

Рассмотрим механизм данного явления. В работе [2] отмечалось, что колесные пары имеют износ, без учета движения в кривых малых радиусов, преимущественно обусловленный взаимодействием острия стрелочного перевода с гребнем колеса. Набегание колеса на остриек происходит в момент динамического удара разворотом колесной пары, что вызывает дополнительный эффект углового «соскабливания» слоя металла с верхней части поверхности гребня (рис. 4, *г*).

Динамические процессы, происходящие при вкатывании гребня бандажа на остряк, вызывают отставание начала острия от рамного рельса [9]. При этом возникает зазор в 4 мм и более, что противоречит требованиям нормативных документов. На рис. 4, а показано, что при неизношенном рамном рельсе и зазоре 4 мм и менее происходит нормативный износ гребня, сопоставимый с другими типовыми дефектами, возникающими на профильной линии бандажа (например, прокат, ползун). Для данного случая эффективная толщина бандажа будет использована в полной мере, поскольку при переточке будет удаляться минимальный дефектный слой бандажа и гребня.

Интенсивность «соскабливания» увеличивается с износом головки рамного рельса, даже при допустимом динамическом отставании острия (рис. 5, а). В данном случае еще можно обеспечить плановый ресурс бандажа рациональной переточкой. Недопустимый износ гребня наступает при наличии двух условий — динамическом отставании острия более 4 мм и износах головки рамного рельса и острия 8 мм. Как видно на рис. 5, а ресурс бандажа уменьшается в 2 раза, поскольку такой износ гребня вызывает необходимость «выкраивать» при переточке профиль с большим слоем удаляемого металла (6мм). С увеличением износа головки рамного рельса сверх нормативного (8 мм и более) происходит разворот колесной пары в рельсовой колее, что приводит к значительному углу набегания колеса на рамный рельс [9], и существенному увеличению сил трения. Практика показывает, что при гибкой системе крепления рамного рельса на деревянных шпалах этот эффект сни-

жається і срезання слоя металла становиться менее интенсивным по сравнению с жесткой установкой на железобетонных шпалах. Однако это явление требует более пристального внимания и глубокого изучения. На рис. 5, а, б показан механизм формирования износа поверхности гребня в верхней его части для случая износа поверхности катания рамного рельса ($H = 172$ мм) и динамическом отставании острья 4 мм и 8 мм. При этом наблюдается пропорциональная зависимость влияния износа рамного рельса на эффективное использование толщины бандажа, что связано с его переточкой для формирования изношенной верхней части гребня.

С увеличением высоты гребешков (борозд) от лезвийного инструмента, т. е. с увеличением шероховатости обработанной поверхности бандажа и увеличением износа головки рамного рельса происходит с большей интенсивностью в начальный момент контакта с острьком (рис. 4, г) уменьшение радиусной части гребня при его вершине.

Для сравнения на рис. 5, а и б, показан характер износа бандажа, имеющего стандартный профиль, при прохождении стрелочных переводов.

Как видно на рис. 5, а, даже при нормативном значении износа рамного рельса и динамическом зазоре 4 мм при «выкраивании» бандажа, изношенного по подрезу гребня до допустимой величины 25 мм, требуется удалить по кругу катания больший слой металла, чем в случае с адаптированным профилем. А для случая изношенного рамного рельса и предельного допустимого динамического отставания острья (рис. 5, б) требуется при формировании бандажа удалить припуск до 14 мм.

Для уменьшения интенсивности «остроконечного износа» гребней необходимо решить следующие задачи:

- оценить влияние динамических сил при набегании колеса на острья и рамный рельс на степень износа гребня;
- острие острья в поперечном сечении не должно иметь острых кромок;
- не допускать сверхнормативного износа головки рамного рельса и острья;
- рабочую поверхность гребня в верхней его части необходимо упрочнять до величины, большей поверхностной твердости острья;
- предусмотреть смазку поверхности острья;
- установить оптимальную гибкость системы рамного рельса в стрелочном переводе;
- обеспечить минимальную шероховатость поверхности гребня, тем самым при контакте с острьком будет

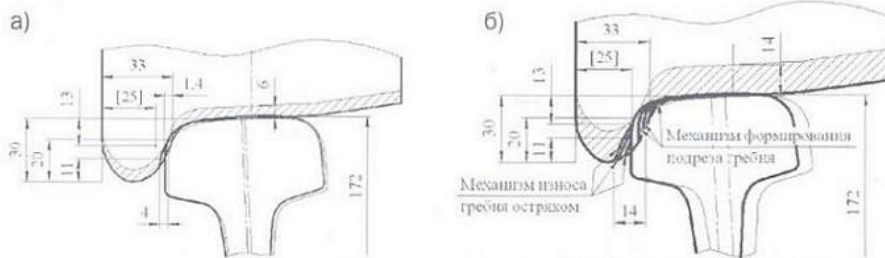


Рис. 5. Характер износа бандажа (профиль по рис. 3 ГОСТа 11018): а) при приработанном гребне (подрезе гребня 1,4 мм), максимальном износе рамного рельса ($H = 172$ мм) и предельном динамическом зазоре острья с рельсом 4 мм; б) при максимально допустимом износе (толщина гребня 25 мм) и износе верхней рабочей поверхности гребня в контакте с предельно изношенным рамным рельсом и динамическом зазоре острья с рельсом 14 мм. Положение острья условно не показано

существенно снижен коэффициент трения от скольжения.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы относительно износа бандажей.

1. Основной причиной износа гребня бандажей, имеющих адаптированный профиль, является условие взаимодействия острья стрелочного перевода с гребнем колеса. Имеет место пропорциональная зависимость величины износа гребня от динамического отставания острья.
2. Для увеличения ресурса бандажа необходимо обеспечить нормативную шероховатость поверхности гребня при механической обработке, упрочнение рабочей поверхности гребня в верхней его части, использования смазки при прохождении стрелочных переводов.
3. Эффективное использование толщины бандажа может быть обеспечено при гарантированном динамическом отставании острья стрелочного перевода от рамного рельса в пределах менее 4 мм.
4. Необходимо провести исследования степени влияния гибкости рамного рельса и качества острья на износ гребня.

УДК 629.1.072

Сергієнко М. І., Колот В. О., Колот О. В.

Вплив умов взаємодії адаптованих колеса та рейки на знос робочої поверхні гребеня

Досліджено механізм зносу гребеня бандажів, що мають адаптований профіль, контактуючий із рамною рейкою. У результаті моделювання виявлено вплив величини динамічного відставання гострия стрілочного переводу від рамної рейки на знос робочої поверхні гребеня у верхній його частині. Запропоновані шляхи зниження зносу гребенів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савчук О. М., Савченко К. Б. Зносостійкі профілі кочення коліс // *Залізничний транспорт України*, № 4, 2009. — С. 15–18.
2. Сергієнко Н. І., Колот А. В., Колот В. А. Влияние конструкторско-технологических параметров на линейную стойкость бандажа в системе взаимодействия колеса-рельс // *Залізничний транспорт України*, 2010. — № 5. — С. 21–25.
3. Обідзалізничного колеса / Колот В. О., Колот О. В., Малиновський М. Д., Лішаєв Г. П., Сергієнко М. І., Пилипенко В. О. // Патент на винахід № 29538, В60В21/02. Опубл. бюл. № 6, 2000.
4. Обідзалізничного колеса / Колот В. О., Колот О. В., Сергієнко М. І., Міхєєнков Ю. С. // Патент на винахід № 66411, В60В21/02. Опубл. бюл. № 5, 2004.
5. Богданов В. М. Взаимосвязанные нормы содержания гребней вагонных колесных пар и стрелочных переводов // *Вісник Східноукраїнського державного університету*, 2000. — № 7. — С. 214–217.
6. Блохіна Г. С. Удосконалення методологічного підходу до оцінки економічної ефективності профілів залізничних коліс. Автореф., к. ек. н. Дніпропетровськ, 2010. — 24 с.
7. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Взаємодія коліс розсувних колісних пар з рейками на коліях 1520 і 1435 // *Залізничний транспорт України*, 2006. — № 2. — С. 3–8.
8. Обод железнодорожного колеса / Перцев А. Н., Щупановский В. Ф., Дьяков А. М. // Патент РФ № 2121930 В60В17/00. Опубл. бюл. № 29, 1998.
9. Сокол Э. Н. Вкатывание гребня колеса на острие острья стрелочного перевода // *Залізничний транспорт України*, 2010. — № 5. — С. 26–30.

Локомотив

UDC 629.1.072

Sergienko N., Kolot V., Kolot A.

The influence of adopted wheel and rail interaction to the wear of flange working surface

The mechanism of flange wear of tires with customized profile in contact with point rail has been studied. As a result of modeling has been revealed the value of rail tongue dynamic lagging from the point rail and its influence to the wear of flange in its upper part. Ways to reduce the wear of flanges are proposed.