

## ВЛИЯНИЕ ГРЕБНЕВОГО КОНТАКТА С РЕЛЬСОМ И ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС НА ИЗНОС

*А.Т. Канаев, Т.Е. Сарсембаева,  
А.Б. Аязбаева, С.В. Алексеев*

### Аннотация

На основе аналитического обзора теоретических и экспериментальных исследований показано, что в связи с уменьшенной конусностью поверхности катания колес и недостаточной величиной суммарного зазора между внутренними гранями рельсов в кривом участке пути и рабочими гранями гребней колес, колесная пара движется в кривой так, что одно колесо катится без скольжения, а другое со скольжением вдоль рельса. В результате такого движения на колеса со стороны рельсов действуют продольные касательные силы, направленные в противоположные стороны. Эти силы разворачивают колесную пару вокруг вертикальной оси и в сторону, что приводит набеганию колесной пары на внешний рельс вне зависимости от того, какое колесо при этом катится со скольжением. При таком движении колесной пары в кривых участках пути происходит непрерывное изнашивание поверхности катания, как колес, так и внешних рельсов.

**Ключевые слова:** локомотивные и вагонные колеса, рельс, гребневый контакт, износ, конусность поверхности катания, уширение колеи, суммарный зазор.

### Введение

Одной из причин интенсивного износа гребней колес и внешних рельсов является неправильная установка гребневого контакта, а также сужение колеи в кривых участках пути и применение профиля поверхности катания колес с уменьшенной конусностью. В результате действия этих факторов нарушается необходимое условие качения колес в кривых участках пути без скольжения их по рельсам и набегание гребнем внешнего колеса на внешний рельс.

Практика показывает, что для снижения интенсивности износа колес важное, а в ряде случаев, определяющее значение, имеет правильная установка контакта гребня с выкружкой головки рельса. Если гребневый контакт неправильно рассчитан и установлен, то могут возникать повреждения поверхности как колес, так и рельса или нарушения направления подвижного состава в колее и устойчивости движения.

К этим отрицательным явлениям может быть добавлено

проскальзывание колес по рельсам, уменьшающее коэффициент сцепления локомотивных колесных пар при движении в кривых участках пути. Локомотив становится склонным к буксованию с нежелательными последствиями: применение песка, увеличение износа колес и рельсов и перерасход энергии.

### Методика исследований

Известно, что существует три возможных случая, которые должны учитываться при установке гребневого контакта с головкой рельса. Это двухточечный, одноточечный и конформный контакты. Поскольку площадка контакта гребня с выкружкой головки рельса мала, то контакт характеризуется сложным напряженным состоянием [1,2].

Если присутствует двухточечный контакт, то он сопровождается высокими темпами изнашивания и течения материала.

Показано, что при разработке гребневого контакта необходимо учитывать, чтобы радиусы рабочей грани рельса следовали профилю гребня колеса и плавно переходили в профиль поверхности катания головки рельса, избегая возникновения двухточечного контакта между колесом и рельсом.

Двухточечному контакту присущи интенсивное проскальзывание и изнашивание, если имеет место боковые силы на гребне и поперечное проскальзывание, как это происходит в кривых участках пути. В этих условиях износ гребня колеса ускоряется, пока очертания гребня не будут соответствовать очертаниям рельса (рис.1). Практика показывает, что гребень часто подрезается при любом слое смазочного материала, внесенного в зону контакта.

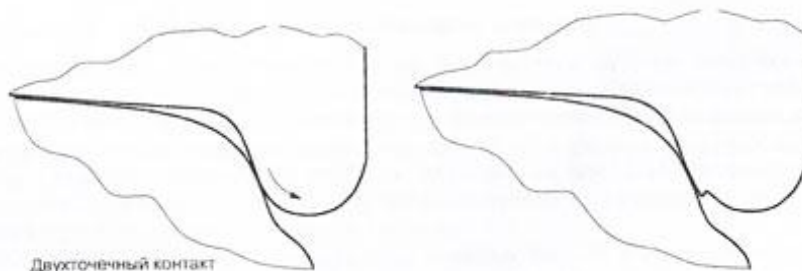


Рисунок 1 – Пластическое течение материалов гребня и рельса при интенсивном двухточечном контакте.

При одноточечном контакте возникают высокие контактные напряжения в сочетании с вращательным и интенсивным

продольным проскальзыванием, вызывающим усталостные повреждения рабочей выкружки головки рельса (рис.2). Он возникает

в результате неправильного расчета и разработки профилей колеса и рельса, уплощения головки рельса в

процессе эксплуатации и чрезмерного проката поверхности катания колеса.

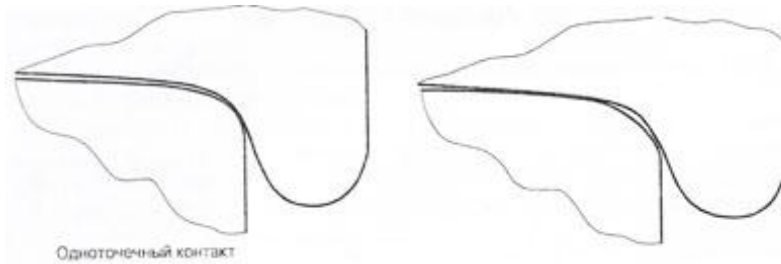


Рисунок 2- Снятие металла с рабочей выкружки головки рельса при одноточечном контакте

Конформный гребневый контакт возникает по мере износа рабочей выкружки рельса и гребня колеса до общего профиля вследствие интенсивного гребневого контакта в кривых участках пути (рис. 3). Профиль этого типа обладает рядом преимуществ, заключающихся в том,

что он сохраняет свою конфигурацию и сохраняется пленка смазочного материала вследствие низких удельных давлений. Кроме того, колеса не приобретают большую конусность, как в случае одноточечного контакта.

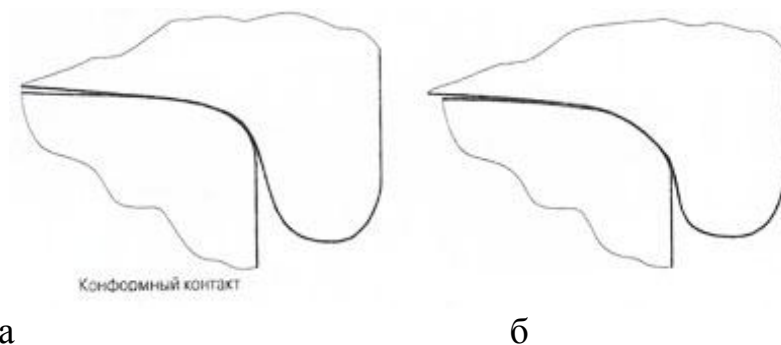


Рисунок 3 а, б - Колеса изнашиваются более или менее равномерно, принимая форму рабочей выкружки рельса

При разработке конформного контакта необходимо учитывать, чтобы радиусы рабочей грани рельса следовали профилю гребня колеса и плавно переходили в профиль поверхности катания головки рельса, избегая возникновения двухточечного контакта между колесом и рельсом.

На рисунках 4-7 представлены типичные примеры неблагоприятных условий контакта колеса и рельса.

Динамические ударные нагрузки обусловлены наличием ползунов, наваров и других дефектов на поверхности катания колеса или прохождением колеса по рельсовому

стыку, деформированному сварному шву в соединении рельсов или с их волнообразным износом.

3.

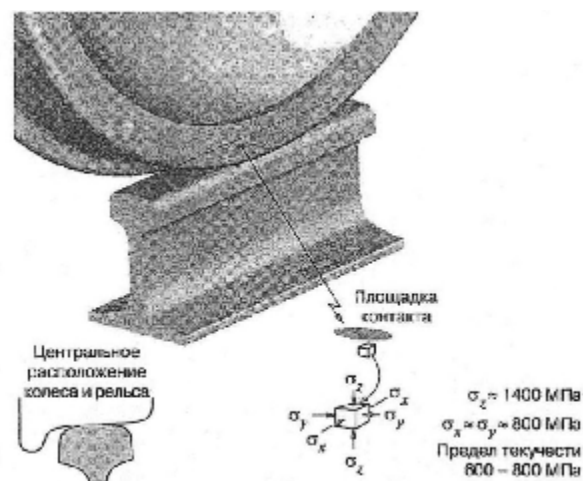


Рисунок 4 -Динамические нагрузки на колесо и рельс

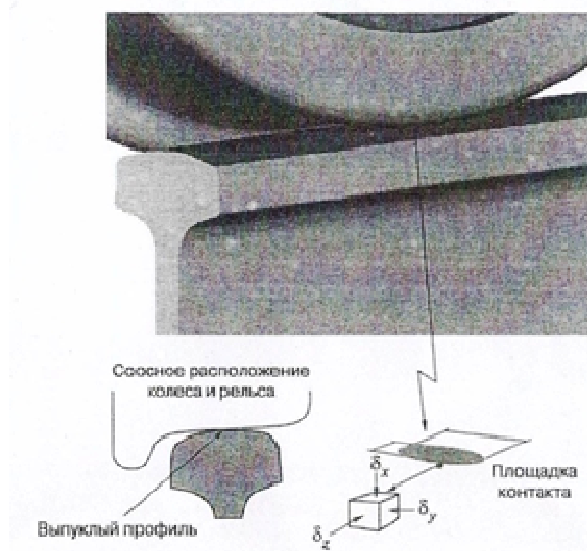


Рисунок 5 – Выпуклый профиль рельса, приводящий с соосному расположению колеса и рельса

Выпуклый контакт наиболее высокой точки профиля рельса и колеса может вызвать пластическое течение и выкрашивание металла в центральной части поверхности катания рельса и (или) колеса. Возникновение пластического течения усиливается, если контактирование происходит ближе к

наружным поверхностям колеса или рельса. Если в результате поперечного проскальзывания колеса относительно рельса контакт смещен к наружной грани рельса, то это приведет к сильному изнашиванию колеса и наплыву (перемещению металла) головки рельса.

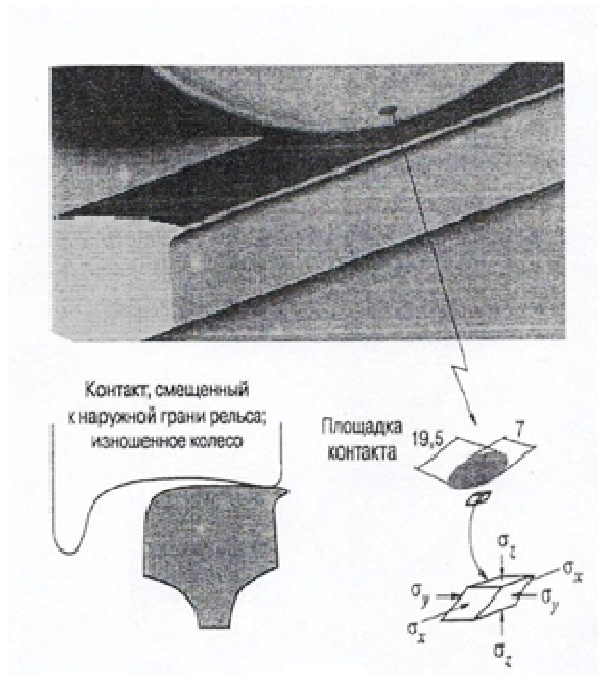


Рис.6 Колесо смещено относительно рельса к его наружной грани

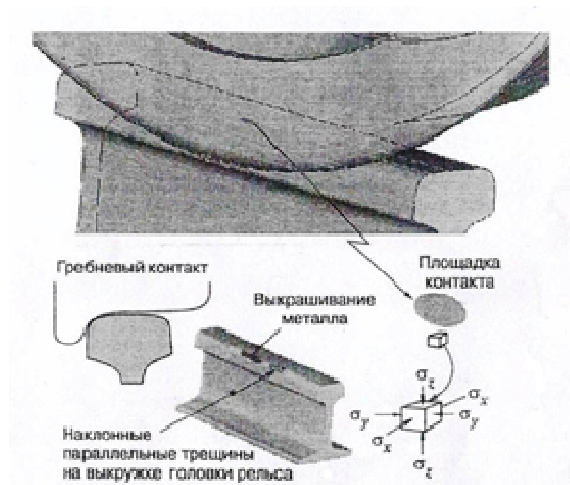


Рисунок 7 - Одноточечный гребневый контакт, приводящий к возникновению трещин на головке рельса и ее сильному выкрашиванию

Интенсивный одноточечный контакт основания колеса и рабочей выкружки рельса приводит к возникновению параллельных трещин на головке рельса и даже ее разрушению, что связано не только с интенсивным продольным

проскальзыванием, вызывающим течение материала рельса, но и тем, что более опасно, для подвижного состава, выражающейся в вилянии, из-за которого боковой износ рельса существенно ускоряется [3,4].

## Результаты исследований и их обсуждение

Для теоретического обоснования отрицательного влияния сужения колеи в кривых участках пути, а также применения профиля поверхности катания колес с уменьшенной конусностью вводятся следующие обозначения.

$\delta$  – величина суммарного зазора между внутренними гранями рельсов в кривом участке пути и рабочими гранями гребней колес колесной пары,  $r_0$  – радиус круга катания колеса колесной пары при ее центральной установке в кривой, когда эти радиусы обеих колес одинаковы,  $h$  – половина расстояния

$$R_{\delta/2} = 2 r_0 h / i_0 \delta$$

(1)

Из этого выражения видно, что при  $R_{\delta/2} \leq R_0$  колесная пара в кривой радиуса  $R_0$  может катиться без скольжения колес по рельсам и без постоянного набегания внешнего колеса на внешний рельс. Если же имеет место неравенство  $R_{\delta/2} \geq R_0$ , то колесная пара в кривой радиуса  $R_0$  не может катиться без скольжения колес по рельсам. Колесная пара в этом случае во все время движения в кривой набегает гребнем внешнего колеса на внешний рельс и сила, выводящая ее из этого перекошенного положения отсутствует. Величина  $R_{\delta/2}$  полностью определяется величиной произведения  $i_0 \delta$ . Чем больше это произведение, тем меньше величина

между указанными кругами катания,  $i_0$  – тангенс угла наклона конической поверхности катания колеса к оси вращения колесной пары,  $R_0$  – радиус кривого участка пути [5,6].

Если колесную пару из центрального положения в кривой сдвинуть поперек пути на допустимую величину  $\delta/2$  в сторону внешнего рельса и затем перевести ее в состояние качения вдоль пути, то ее центр будет описывать в горизонтальной плоскости дугу окружности радиуса

$R_{\delta/2}$ , необходимая для удовлетворения неравенству  $R_{\delta/2} \leq R_0$ .

Колесные пары находятся в условиях, при которых они движутся практически во всех кривых в перекошенном к пути состоянии, набегая гребнем внешнего колеса на внешний рельс с непрерывным проскальзыванием и гребня и поверхности катания колес относительно рельсов. Внешний рельс, препятствуя набеганию гребнем внешнего колеса, все время движения в кривой сталкивает колесную пару поперек пути в сторону внутреннего рельса. При этом преодолевается кулоновая сила трения  $F_{mp}$  между поверхностью катания колес и рельсов. Величина этой силы приближенно равна

$$F_{mp} = P f, \quad (2)$$

где,  $P$ - сила давления колесной пары на рельсы,  $f$  – коэффициент трения скольжения.

Между рабочей гранью гребня внешнего колеса и внутренней

$$N = P f / \sin \gamma, \quad (3)$$

где,  $\gamma$ - угол наклона рабочей грани гребня к оси вращения колесной пары. При  $P = 20 \text{ T}$ ,  $f = 0,25$ ,  $\gamma = 60^\circ$  имеем

$$N = 20 * 0,25 * 2 / \sqrt{3} = 5,67 \text{ T}$$

Находясь под этим огромным давлением, гребень внешнего колеса колесной пары непрерывно трется о боковую поверхность внешнего рельса, интенсивно изнашиваясь сами, в той же степени, изнашивая рельс.

В связи с недостаточной величиной конусности  $2i_0$  поверхности катания колес и недостаточной величиной суммарного зазора  $\delta$ , колесная пара движется в кривой так, что одно колесо катится без скольжения, а другое со скольжением вдоль рельса. В результате такого движения на колеса со стороны рельсов действуют продольные касательные силы, направленные в противоположные стороны. Эти силы разворачивают колесную пару вокруг вертикальной оси в сторону, что приводит набеганию колесной пары на внешний рельс вне зависимости от того, какое колесо при этом катится со скольжением. При таком движении колесной пары в кривых участках пути происходит непрерывное изнашивание поверхности катания, как колес, так и внешних рельсов.

К этим отрицательным явлениям добавляется еще проскальзывание колес по рельсам, что уменьшает

гранью внешнего рельса появляется нормальное давление, равное

коэффициент сцепления локомотивных колесных пар при движении в кривых участках пути. Локомотив становится склонным к буксованию, с вытекающими отсюда нежелательными последствиями: применение песка, увеличение износа колес и рельсов и перерасход энергии.

Нет однозначного мнения о том, что эти явления при движении колесных пар в кривых участках пути вызваны сужением колеи и значительным уменьшением конусности поверхности катания локомотивных колес. Утверждается, что проведение этих мероприятий объясняется стремлением к уменьшению амплитуды и частоты веляющего движения колесных пар в прямых участках пути. Однако, расчетами, проведенными в работе [6] показано, что амплитуда веляющего движения центра колесной пары при новом профиле поверхности катания локомотивных колес с  $i_0 = 0,01$  в 2,24 раза больше амплитуды веляющего движения при прежнем профиле с  $i_0 = 0,05$ . Круговая же частота веляющего движения при  $i_0 = 0,01$  в 2,24 раза меньше, чем

круговая частота при  $i_0 = 0,05$ . В связи с тем, что величина суммарного зазора в кривой ограничена и уменьшена на 4 мм (с 1524 на 1520 мм), поперечное движение колесной пары в колее будет происходить с периодическим прижатием гребней колесной пары то к одному рельсу, то к другому.

### Список литературы

1. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса. Сборник международной ассоциации тяжеловесного движения. Перев. с английского, Москва. - 2002. С. 357
2. Богданов В.М., Марков Д.П., Пенькова Г.И. Оптимизация триботехнических характеристик гребней колес подвижного состава // Вестн. ВНИИЖТ. - 1998. №4. - С.3-9
3. Ларин Т.В., Узлов И.Г., Парышев Ю.М. Причины выхода колес из эксплуатации и пути повышения их служебных свойств // Вестн. ЦНИИ МПС – 1985. № 6. - С.30-33
4. Гриб В.В., Лазерев Г.Е. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. – М.: Наука, 1968. – С. 141
5. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 526
6. Панькин Н.А. Причины интенсивного износа гребней колес и рельсов и пути его устранения // Железнодорожный транспорт, 1991. № 11. С.57-59
7. ГОСТ 10791-2011 Колеса цельнокатаные, технические условия
8. ГОСТ 398-2010 Бандажи из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог.

### Резюме

Исследования, проведенные в последние 15-20 лет, внесли существенные дополнения в понимание физической сущности взаимодействия пары трения колесо-рельс, однако и до настоящего времени нет полной ясности в физике процесса взаимодействия между цельнокатаными и бандажированными колесами и головкой рельсов. Указывается большое количество ( ~ 20) факторов, которые влияют на интенсивный износ колес и рельсов, Отмечается, что главенствующими факторами проблемы износа при этом являются сужение колее с 1524 мм до 1520 мм и значительное уменьшение конусности поверхности катания локомотивных и вагонных колес. Приведенные в данной статье результаты показывают недостаточную обоснованность уменьшения конусности поверхности катания вагонных и локомотивных колес и сужения колее на интенсивность износа.

Для значительного снижения износа, как головки рельса, так и гребней колес, предлагается перейти к увеличению конусности поверхности катания локомотивных и вагонных колес на  $2i_0 = 0,2$  и восстановить уширение колее по прежним нормам.



Показано, что при разработке гребневого контакта необходимо учитывать, чтобы радиусы рабочей грани рельса следовали профилю гребня колеса и плавно переходили в профиль поверхности катания головки рельса, избегая возникновения двухточечного контакта между колесом и рельсом.

### **Түйін**

Соңғы 15-20 жылда жүргізілген зерттеулер бойынша доңғалақ-теміржол үйкеліс жұптың өзара іс-қимылының физикалық сипатын түсіну үшін елеулі толықтырулар жасалды, бірақ әлі күнге дейін тұтасбасылған және бандажды дөңгелектері мен рельстердің басы арасында өзара іс-қимылдың физикада анықтығы жоқ. Доңғалақ және рельстердің қарқынды тозуы әсер ететін көп (~ 20) факторлар келтірілген. Бұл нашарлауы мәселесіне басты факторы 1524 мм-ден 1520 мм-конусы локомотив және вагон доңғалақтарының жылжымалы бетіне айтарлықтай қысқаруына әкеліп соғады. Бұл мақалада келтірілген, нәтижелер конустармен қолданылу болмауы вагонның және локомотив дөңгелектердің жылжымалы бетін азайту және тозу қарқынын бағалауға тарылту көрсетіледі.

Айтарлықтай рельстердің бастары мен доңғалақты фланецтердің тозуын азайту үшін, ол  $2i_0 = 0,2$  бойынша конусы жылжымалы локомотив және вагон дөңгелектерін бетінің өсуіне жылжыту және сол стандарттарға кеңейту жолды қалпына келтіру ұсынылады.

Ол жотасы бойынша әзірлеу кезінде темір жол жұмыс қырларының радиусы дөңгелегі мен рельсі арасындағы екі нүкте байланысын пайда болдырмай, доңғалақты фланец профилін және рельстің басы жұмыс істейтін бетінің сырғанау профилінен бірі қалыпты көшуін қамтамасыз ету керек.

### **Summary**

Studies conducted in the last 15-20 years, made significant additions to the understanding of the physical nature of the interaction of a pair of wheel-rail friction, however, and so far there is no clarity in the physics of the interaction between the solid-rolled and shrouded wheels and the rail head. Indicates a large amount (~ 20) the factors that affect the intensive wear of the wheels and rails. It notes that the overriding problems of wear factors in this case are narrowing gauge from 1524 mm to 1520 mm and a significant reduction in the surface of taper rolling locomotive and wagon wheels. In this article the result shows a lack of validity of the taper reducing the rolling surface and locomotive wheels and narrowing the track on the wear rate.

To significantly reduce the wear and tear as the rail head and the wheel flange, it is proposed to pass the increase in the surface of taper rolling locomotive and rail wheels on track  $2i_0 = 0,2$  and restore a broadening of the same standards.

It shows that the development of the ridge contacts is necessary to consider that the radius of the working faces of the rail to follow the profile of the wheel flange and smoothly into the surface profile riding the rail head, avoiding the emergence of two-point contact between wheel and rail.