

УДК 679.8.053.8

**А. М. Керопян**, к.т.н., доц., Московский государственный горный университет

E-mail: [am\\_kerop@mail.ru](mailto:am_kerop@mail.ru)

## **Контакт колес локомотива с рельсом в условиях открытых горных работ**

*Проведено теоретическое исследование процесса движения колес подвижного состава с рельсами в условиях карьеров и в частности на криволинейных участках пути. Выявлены особенности взаимодействия колес локомотива с рельсами в условиях конформного одноточечного и двухточечного гребневого контакта и установлены математические зависимости величины зазора между профилями колеса и рельса в зоне контакта.*

**Ключевые слова:** открытые горные работы, железнодорожный транспорт, конформные профили колеса и рельса, одноточечный контакт, двухточечный гребневый контакт, зазор.

**А. М. Керопян**

## **Contact the wheels of the locomotive and rail in terms of surface mining**

*A theoretical investigation of the motion of the wheels rolling with rails in mines and in particular on curved sections of track. The features of the interaction of the wheels of the locomotive from the rails in terms of the conformal two-point and single point of contact a ridge and established mathematical dependence of the gap between wheel and rail profiles in their area of contact.*

**Keywords:** open-cast mining, rail transport, conformal profiles of wheels and rails, single-point contact, two-point comb the contact gap.

Известно, что на карьерном железнодорожном транспорте в качестве тяговых единиц применяются локомотивы с электрической и тепловой тягой, тяговые агрегаты, работающие как на электрической, так и на тепловой тяге, а так же мотор - вагонные думпкары.

При движении железнодорожного состава по криволинейному участку пути, вследствие наличия центробежных сил инерции, например при повороте влево, гребень правого по ходу колеса рельсового транспортного средства прижимается к внутренней боковой грани наружной нити рельсового пути. Вследствие этого, при движении на подъеме, возникает дополнительная сила трения между гребнем колеса локомотива и внутренней поверхностью наружной нити рельсового пути.

Кроме того, следует отметить, что тяговые единицы на подъеме при транспортировании горной массы могут работать в режиме толкания, т.е. движение подвижного состава при этом осуществляется вагонами вперед. При этом наблюдается явление расклинивания колесных пар между рельсами, а также создается дополнительное сопротивление движению.

Аналогичное явление происходит при движении подвижного состава на спуске при торможении, как на прямолинейных, так и на кривых участках железнодорожного пути в случае нахождения локомотива в голове состава.

Исходя из специфических условий эксплуатации системы колесо-рельс, срок службы рельсов в несколько раз превосходит аналогичный показатель колес. Например, в зависимости от грузонапряженности срок службы рельсов колеблется в пределах 8...30 лет [1], в то время как ресурс колес состава до переточки профиля составляет от нескольких месяцев до 2 – 3 лет.

В литературе приводится анализ различных форм контактирования новых и изношенных колес с новыми и изношенными рельсами (с разной степенью износа).

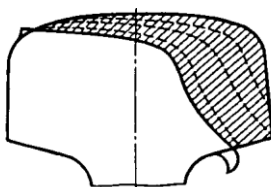
Встречающиеся в практике магистрального железнодорожного движения формы контактирования разделены на три группы [4]. Первая группа - новые колеса с новыми рельсами. Доля таких контактов составляет 5...10%

Вторая группа - изношенное колесо с новым рельсом (20...30%)

Третья группа - изношенное колесо с изношенным рельсом (60-75%)

Учитывая специфику эксплуатации подвижного состава в условиях открытых горных работ и, в частности, то обстоятельство, что на карьерах до 50% от общего их количества могут составлять так называемые старогодные рельсы, т.е. рельсы, уже отработавшие определенный период времени на магистральных железных дорогах [1], очевидно, будет представлять интерес сравнить так же такие формы контакта системы колесо - рельс, как новое колесо с новым рельсом и новое колесо со старым (старогодным), т.е. изношенным рельсом.

В процессе эксплуатации рабочий профиль головки рельса вследствие износа изменяется, «уплощается», т.е. становится плоским и первоначальные радиусы кривизны рабочих поверхностей профиля головки рельса (выкружки) изменяются (как правило - увеличиваются), см. рис. 1.



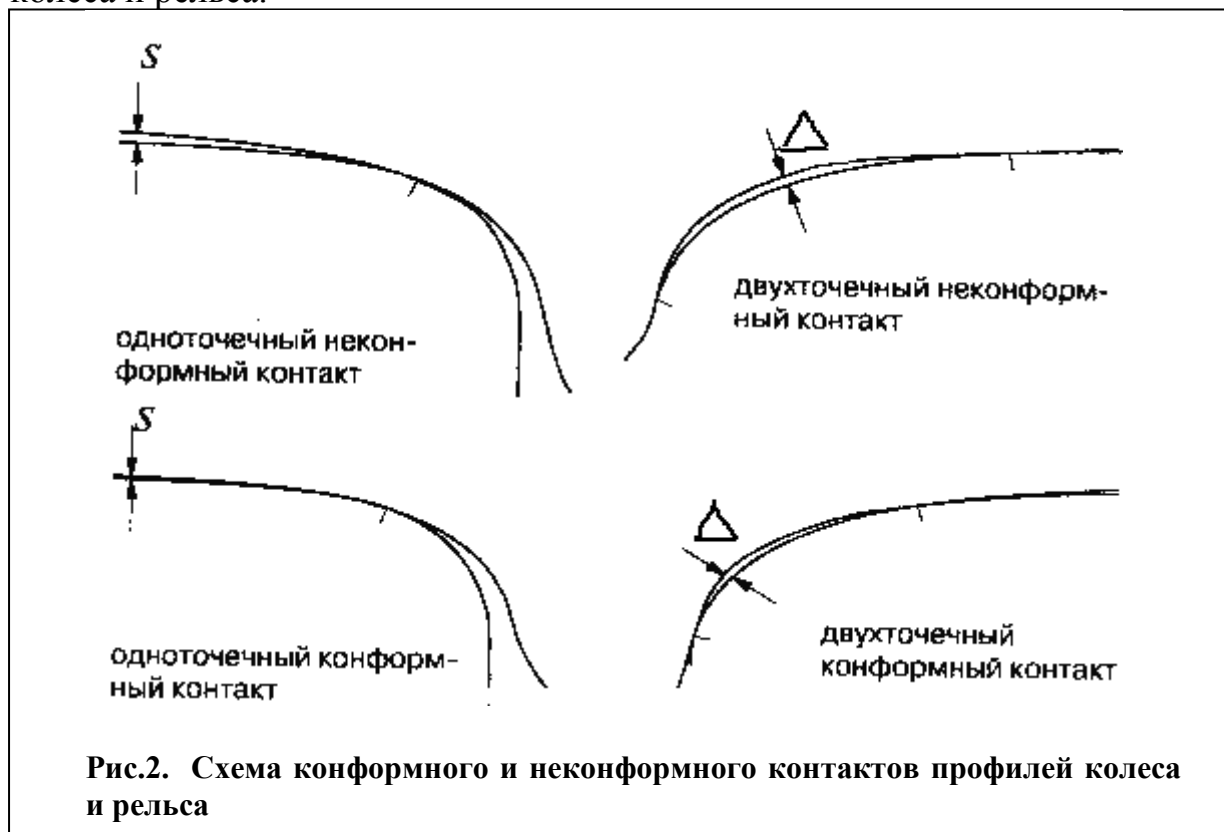
**Рис.1 .Схема износа рабочей выкружки головки рельса**

Следовательно представляет интерес рассмотрение условий контактирования обода нового, т.е. вновь профилированного, колеса с верхом головки рельса и гребня колеса с боковой его гранью.

В международной практике железнодорожного движения для обеспечения минимальных контактных напряжений при движении на прямых и вписанных в кривые участки железнодорожного пути используют специальные профили колеса и рельса, которые называют конформными.

Согласно принятой международной терминологии - понятие конформности обозначает общее состояние контактирующих поверхностей профилей колеса и рельса, которые к зоне контакте имеют подобные очертания [5.6].

Конформный контакт бывает одноточечным и двухточечным, (см. рис.2), где показаны схемы определения степени конформности профилей колеса и рельса.



**Рис.2. Схема конформного и неконформного контактов профилей колеса и рельса**

Контакт считается плотно конформным, если зазор  $\Delta$  или  $S$  между недеформированными колесом и рельсом не превышает 0,1мм. В нагруженном состоянии из-за упругой деформации колеса и рельса зазор практически исчезает, что приводит к увеличению площади эллиптической зоны контакта, которая охватывает значительную часть полосы изнашивания шириной 25...38мм. При зазоре величиной до 0,4 мм контакт еще можно считать конформным, но плотно конформным он становится только после значительного изнашивания и накопления пластических деформаций [5]. При значениях  $\Delta$  или  $S$ , превышающих 0,4мм, контакт считается неконформным, так как профили полностью разъединены и не обеспечивается снижение контактных напряжений, как это имеет место при конформном контакте.

Из сказанного выше следует, что для обеспечения конформного контакта между колесом и рельсом в общем случае зазоры  $\Delta$  и  $S$  должны находиться в пределах 0,1...0,4мм. Однако, учитывая повышенную осевую нагрузку колесных пар карьерного подвижного состава до 350 кН плюс сравнительно низкие рабочие скорости, допускаемый зазор можно несколько увеличить от 0,2 до 0,8 мм.

На железнодорожном транспорте, эксплуатируемом в условиях открытых горных разработок, применяются рельсы Р65 ГОСТ Р51685-2000 (для прямых участков) и Р65К ГОСТ Р51685-2000 (для криволинейных участков), а для локомотивов предназначены к применению профили бандажей рекомендованные литературой [2,3].

Для сравнения можно выбрать профили бандажей колес по ГОСТ 11018-2000 и ДМетИ ЛБ (Днепропетровский Metallургический Институт, профиль локомотивный. базовый).

Например, сравнивая радиус профиля гребневой области колеса по ГОСТ 11018-2000, R13,5мм, и радиус головки рельса Р65 в области выкружки, R80 мм, нетрудно заметить, что условие существования конформного контакта при взаимодействии нового колеса с новым рельсом в данном случае вызывает сомнение.

А при изношенном рельсе, когда радиусы кривизны головки рельса увеличиваются (см. рис.1), условия обеспечения конформного контакта еще более ухудшаются.

Для определения условий образования конформного гребневого контакта необходимо провести соответствующее исследование.

Определим зависимость зазора  $\Delta$  между двумя дугами (профиль колеса и головки рельса) от их геометрических параметров (см. рис. 3).

Зазор  $\Delta$  между радиусами профилей колеса  $r$  и рельса  $R$  определяется по формуле:

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2, \quad (1)$$

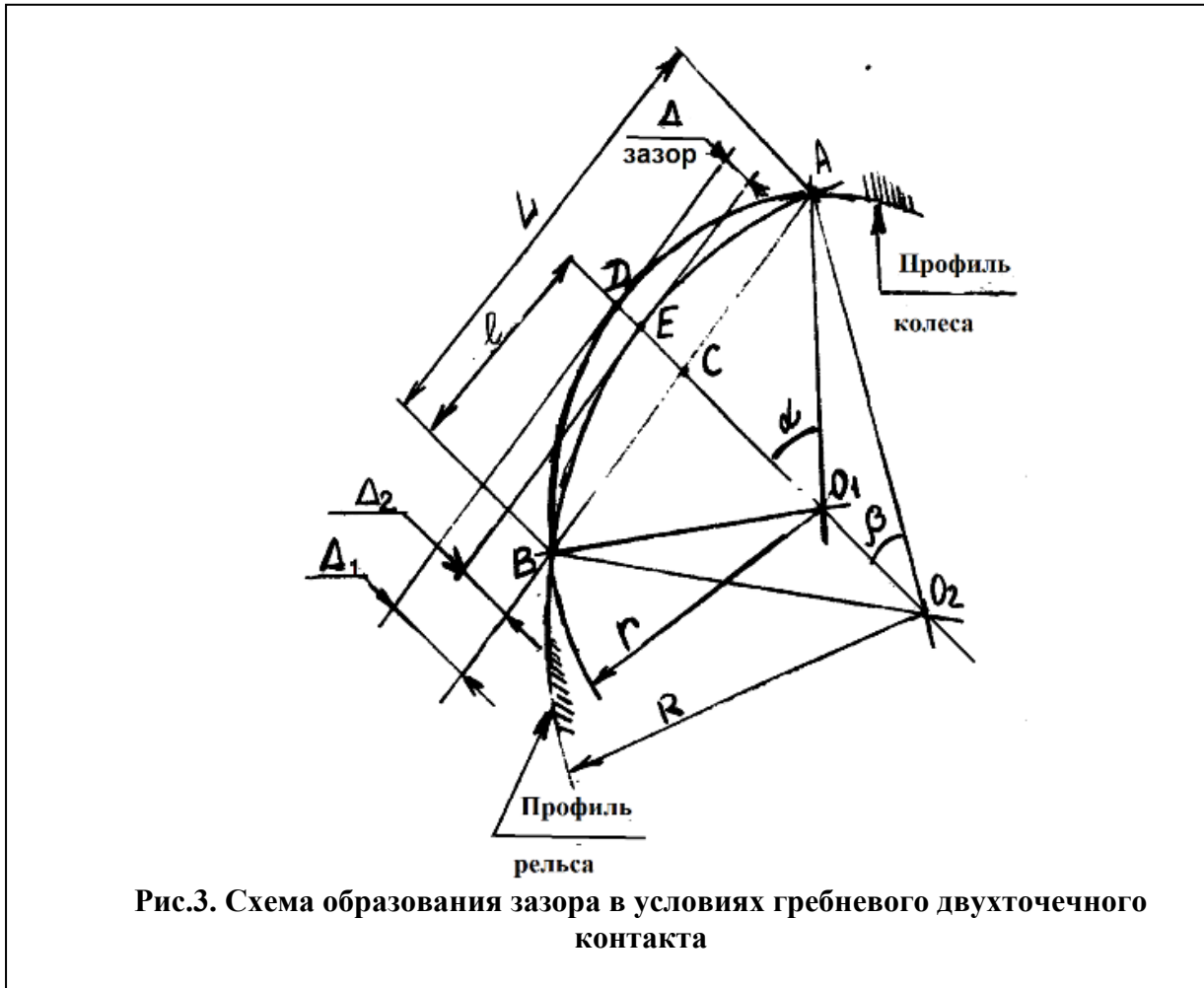
где  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  высота сегментов дуг соответственно колеса и головки рельса в зоне гребневого контакта.

Геометрически (рис. 3),

$$\Delta_1 = DO_1 - CO_1. \quad (2)$$

$$\text{Так как } DO_1 = r, \text{ а } CO_1 = \sqrt{r^2 - l^2}, \quad (3)$$

где  $l$  - полуширина полосы гребневого контакта.



Аналогично определяем  $\Delta_2$ .

$$\Delta_2 = EO_2 - CO_2 = R - \sqrt{R^2 - l^2}. \quad (4)$$

Подставляя в (1)  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  получим:

$$\Delta = r - \sqrt{r^2 - l^2} - R + \sqrt{R^2 - l^2}, \quad (5)$$

где  $r$  - радиус профиля контактирующего с рельсом колеса, а  $R$  - радиус рабочего профиля головки рельса в зоне контакта.

Следует предположить, что в гребневой зоне обода локомотивного колеса возможность появления двухточечного контакта может возникнуть при условии  $r < R$ , т.е., когда радиус кривизны в зоне контакта профиля колеса будет меньше радиуса кривизны профиля головки рельса. Кроме того, должны выполняться следующие условия:  $r > l$  и  $R > l$ .

При помощи аналогичных рассуждений можно получить формулу для определения величины зазора при односточечном контакте. Здесь также следует сохранить условие, что  $r > l$ , однако при этом также должно выполняться условие  $r > R$  (см. рисунок 4).

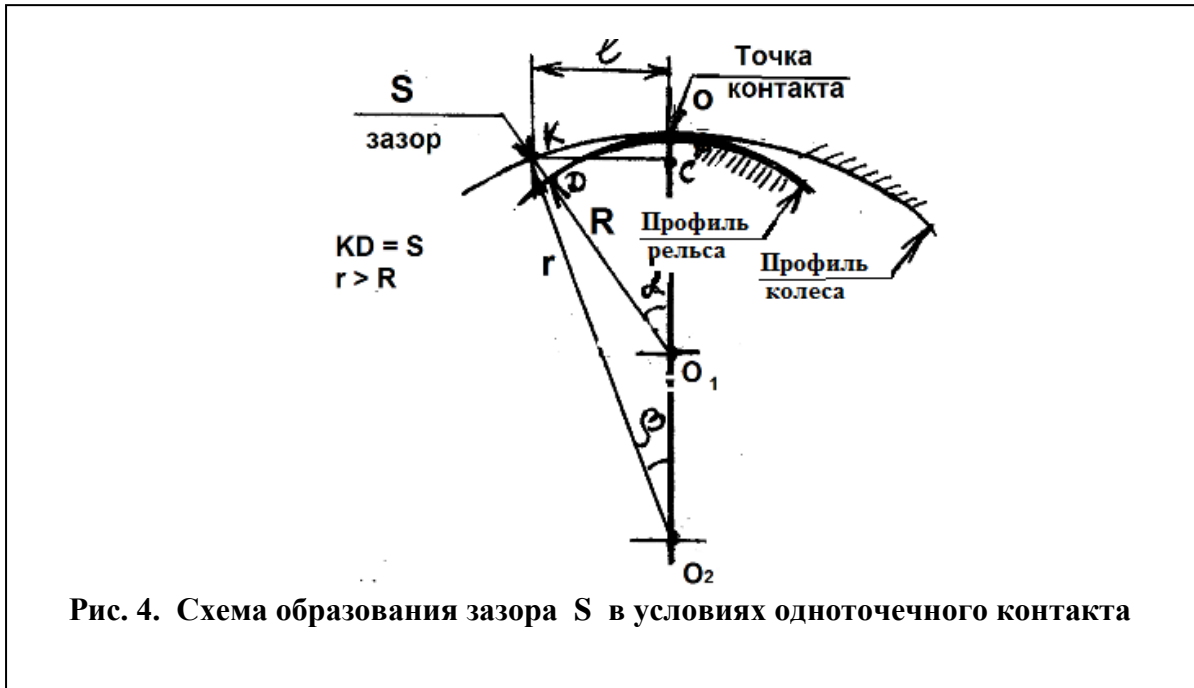


Рис. 4. Схема образования зазора S в условиях односточечного контакта

Из  $\Delta O_2KC$

$$r^2 - l^2 = O_2C^2. \quad (6)$$

Из  $\Delta O_1KC$

$$(R + S)^2 - l^2 = O_1C^2. \quad (7)$$

Но  $O_1C = O_2C - O_1O_2 = O_2C - (r - R)$ . (8)

Подставив значение  $O_1C$  в (7), получим

$$(R + S)^2 - l^2 = [O_2C - (r - R)]^2 \quad (9)$$

С учетом (6),

$$(R + S)^2 - l^2 = [\sqrt{r^2 - l^2} - (r - R)]^2 \quad (10)$$

Преобразовав правую часть формулы (10), получим

$$(R + S)^2 - l^2 = r^2 - l^2 - 2(r - R)\sqrt{r^2 - l^2} + (r - R)^2 \quad (11)$$

После преобразований, получим квадратное уравнение относительно

$$S^2 + 2RS - E = 0, \quad (12)$$

где  $E = 2(r - R)(r - \sqrt{r^2 - l^2})$ .

Решая квадратное уравнение (12) и учитывая положительные корни, получим:

$$S = -R + \sqrt{R^2 + 2(r - R)(r - \sqrt{r^2 - l^2})}. \quad (13)$$

Полученные формулы (5) и (13) устанавливают зависимость зазора, который может иметь место между контактирующими профилями колес и

рельсов подвижного состава, соответственно, при двухточечном гребневом и однотоочечном контактах.

Учитывая применяемые в международной практике железнодорожного движения рекомендации, по этим формулам можно рассчитать параметры конформных профилей колес локомотивов и рельсов.

Выводы:

1. В условиях открытых горных работ для обеспечения конформного профиля колес железнодорожного транспорта необходим непрерывный мониторинг рабочей поверхности головки рельсов железнодорожного полотна и колесных пар подвижного состава.

2. Учитывая международный опыт эксплуатации железнодорожного транспорта, для обеспечения конформного профиля рельсов и колес локомотивов можно рекомендовать величину зазора между колесом и рельсом в пределах 0,2...0,8 мм, а полуширину полосы контакта – в пределах 12...20 мм.

3. При использовании на карьерах старогонных рельсов целесообразно проводить своевременное профилирование рельсов и колесных пар подвижного состава по поверочным шаблонам.

4. На ряде горных предприятий вопросам, рассмотренным в данной работе, не уделяется должного внимания, а именно, не производится шлифовка рельсового пути и профилирование бандажей колес локомотивов. Вследствие этого, не обеспечивается снижение контактных напряжений, как это имеет место при конформном контакте и, как следствие, усиливаются процессы контактной усталости и пластических деформаций, приводящие к снижению тяговых способностей локомотивов.

#### Список литературы

1. Евдокимов Б.А., Забелин Г.Д. и др. Железнодорожный транспорт открытых разработок. М. Недр.1984. 181 с.

2. **ГОСТ 11018-2000.** Тяговый подвижной состав железных дорог колеи 1520 мм. Колесные пары. Общие технические условия

3. **Инструкция** по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1529 мм (с изменениями и дополнениями, утвержденными указанием МПС России от 23.08.2000 № К – 2273у).

4. **Лысюк В.С.** Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов. М., Транспорт, 2002. 215 с.

5. **У.Дж. Харрис, С.М. Захаров, Дж. Ландгрэн** и др. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса./Пер. с англ/ «Интертекст». 2002. 408с.

6. **Ресурс** и ремонтпригодность колесных пар подвижного состава железных дорог. Монография. Под ред. проф. Иванова И. А., Москва, ИНФРА-М, 2011, 264 с.