

УДК 622.625.28.032

*КОСТЮКЕВИЧ А.И.*, к.т.н., доц., ВНУ им. В. Даля

*ТАРАН И.А.*, к.т.н., доц., ГВУЗ «НГУ»

*КОВТАНЕЦ М.В.*, аспирант, ВНУ им. В. Даля

*НОЖЕНКО В.С.*, аспирант, ВНУ им. В. Даля

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЦЕПЛЕНИЯ В КОНТАКТЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС» ПРИ НАЛИЧИИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СРЕДЫ**

У роботі на підставі експериментальних досліджень визначено вплив відносного проковзування на коефіцієнт зчеплення при взаємодії гладких поверхонь, що контактують за наявності проміжного шару, це дозволить з більшим ступенем точності вирішувати задачі розробки трансмісії шахтного рейкового транспорту.

**Введение.** Актуальность изучения проблемы сцепления колес локомотивов с рельсами общеизвестна [1], особенно на современном этапе развития рельсового транспорта в связи с необходимостью повышения тяговых возможностей и скоростей движения локомотивов, а также наращиванием массы поездов. От процессов, происходящих в контакте взаимодействующих колеса и рельса, зависит эффективность локомотивной откатки в целом. Обобщение всего комплекса силовых установок и передач, обеспечивающих воспроизводство, передачу и трансформирование больших потоков энергии происходит именно в колесе. А эффективная реализация этой энергии в тяговое усилие зависит от сцепления колеса с рельсом. Известно [2], что рельсовый путь имеет значительную загрязненность, либо обводненность. При движении локомотива жидкая или многокомпонентная среда, находящаяся в зоне контакта, значительно влияет на коэффициент сцепления колеса с рельсом и силу сопротивления качению. В настоящее время в практике эксплуатации шахтного рельсового транспорта для определения фрикционного состояния пары колесо-рельс используют определения «рельсы чистые», «мокрые», «влажные», «покрытые угольной или породной пылью» и т.д. Многообразие определений состояний трущихся пар в основном по внешним качественным признакам свидетельствует о том, что природа явления определяющего фрикционные характеристики пары колесо-рельс, остаётся до настоящего времени ещё не выясненной, а процесс взаимодействия колеса с рельсом, при наличии промежуточной среды изучен недостаточно, что обуславливает необходимость проведения нового (очередного) этапа исследований проблемы сцепления колеса и рельса при наличии промежуточной среды.

**Состояние вопроса.** Теории взаимодействия колеса и рельса при качении посвящены многочисленные работы, что связано с острой актуальностью проблемы. Многие из них устарели, но и современные работы в этой области не могут четко объяснить физику явлений, происходящих на контакте рельса и движущегося по нему колеса. Существующие и используемые в отечественном шахтном локомотиво- и вагостроении зависимости коэффициентов сцепления колеса и рельса были установлены на основе результатов экспериментальных исследований проведенных в 1950...1970 гг. Основополагающие экспериментальные исследования в условиях шахтной локомотивной откатки, на эксплуатирующемся поезде в реальных условиях

движения, были проведены А.А. Ренгевичем [3]. На основании этого материала выведены эмпирические зависимости и получены численные значения коэффициента сцепления  $\psi$  колес локомотива с рельсами от состояния рельсового пути, использующиеся в тяговых и тормозных расчетах и в настоящее время. При этом, величину критического скольжения, что вызывает некоторые сомнения, предложено принимать равной  $\varepsilon_{кр} = 2,5\%$ , для любого состояния рельсового пути. При использовании этих рекомендаций результаты не всегда отражают реальную характеристику процесса взаимодействия колеса и рельса, что на определенных этапах развития подвижного состава приводит только к их уточнению, не раскрывая природы взаимодействия элементов образующих фрикционную пару, не указывая направлений для управления процессом взаимодействия, особенности его формирования и др.

Однако, в настоящее время, существование двух максимумов на характеристике сцепления является практически общепризнанным фактом в теории сцепления [4]. Первый из рассматриваемых максимумов характеристики, соответствующий крайне незначительному (0,5...2,0 %) скольжению колесных пар (КП), отмечался исследователями [4, 5] как единственный еще в самом начале проведения широких экспериментов по изучению этого явления. Величина скольжения, соответствующая максимуму сцепления, была названа «критической», а условия ее существования, качественные и количественные характеристики при сравнительно чистых рельсах достаточно полно интерпретировались теорией пластических деформаций, рассматривающей внутреннее напряженное состояние в колесе и рельсе в окрестностях поверхности их касания. Однако в реальных условиях эксплуатации участки с сухими и чистыми рельсами, где уровень сцепления колес с рельсами достаточно высок и стабилен, как правило, чередуются с участками, характеризующимися большей или меньшей загрязненностью. Некоторым исследователям при использовании быстродействующей аппаратуры удавалось фиксировать наличие второго максимума силы сцепления при значениях скольжения значительно выше критического [4, 5, 6].

Аналогичные результаты, свидетельствующие о наличии второго максимума или о возможном смещении экспериментальной зависимости в сторону увеличения критического скольжения, полученные при исследованиях зависимости предельного коэффициента сцепления одиночной оси трамвайного вагона от скорости движения, представлены в [7].

Это позволяет принципиально по-новому подходить к оценке сцепных качеств рельсовых экипажей и энергетических затрат при движении подвижного состава на стадии проектирования, что позволит выбирать оптимальные (рациональные) параметры создаваемых машин.

**Цель и постановка задачи.** Целью настоящей работы является установление зависимости коэффициента трения при качении со скольжением от относительного скольжения колеса по рельсу при наличии промежуточного слоя. Достижение поставленной цели реализуется за счет установление зависимости коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте рабочего ролика с рельсом. Под температурой в контакте здесь и далее следует понимать, полученное за счет относительного трения ролика о рельс, превышение температуры в контакте над температурой окружающей среды.

**Материалы исследований.** При изучении процесса сцепления выполняются многочисленные экспериментальные исследования, которые проводятся:

- на физических моделях в лабораторных условиях;
- на катковых стендах с натурными единицами подвижного состава;
- на участках железных дорог.

Исследования, проводимые на катковых стендах, позволяют имитировать многие компоненты реальных процессов, возникающих при движении с разными скоростями, однако имитация рельсового пути с помощью катков не позволяет воссоздать достаточно полно процесс сцепления колеса с рельсом. Это связано с уменьшением номинальной площади контакта «колесо-каток» по сравнению с парой «колесо-рельс», увеличением эффективной конусности вогнутого профиля поперечного сечения бандажа.

При исследовании силы сцепления локомотивов на реальном рельсовом пути исключается неадекватность условий опыта и эксплуатации. Однако такие эксперименты требуют значительных затрат средств и времени.

В эксплуатационных условиях фрикционное состояние поверхностей колес и рельсов оценивают специальными приборами – трибометрами. Достоинством трибометров является простота конструкции и обслуживания, а также возможность проводить исследования непосредственно на пути, находящемся в эксплуатации. К сожалению, с помощью трибометра невозможно раздельно исследовать влияние скорости скольжения и температуры на коэффициент трения скольжения. Кроме того колесо локомотива движется в режиме качения со скольжением, а трибометры измеряют коэффициент трения скольжения в режиме юза. Т.о. экспериментальные исследования процесса сцепления колес локомотива с рельсами, проводимые в настоящее время как в лаборатории, так и на участках железных дорог, не дают однозначного ответа на многие важные для практики эксплуатации вопросы.

Исследования проводились на оригинальной машине трения [8]. Для получения зависимости коэффициента трения от скорости скольжения и температуры в зоне контакта предлагается использовать метод, суть которого описана в [8]. Данный метод позволяет получить необходимые для теории сцепления зависимости. Функционально машина трения состоит из тележки (рис.1) с размещенным на ней разгонным устройством (I), ориентирующим (II) и измерительным (III) узлами, микропроцессорным блоком (IV).

Условия эксплуатации, характерные для подземных выработок, не могут быть полностью воспроизведены на стенде. Имитировались условия с однозначными и воспроизводимыми характеристиками. Исследовались случаи сухого трения и трения по смоченной поверхности. Известно [3], что в подземных условиях отсутствуют сухие и идеально гладкие рельсы, а также чистые смоченные рельсы, т.к. на рельсах всегда находится слой угольной или породной пыли. Поэтому при измерениях на поверхность рельса наносили угольную или породную пыль с различной толщиной слоя, а также водно-угольно-породную смесь различной консистенции. Пробы материалов были отобраны на шахте «Юбилейная» ХК «Павлоградуголь».

После соответствующей обработки получены зависимости коэффициента трения от температуры в зоне контакта (рис. 2 – 6), по которым построены характеристики сцепления (рис. 7) для различных фрикционных состояний пары колесо-рельс.

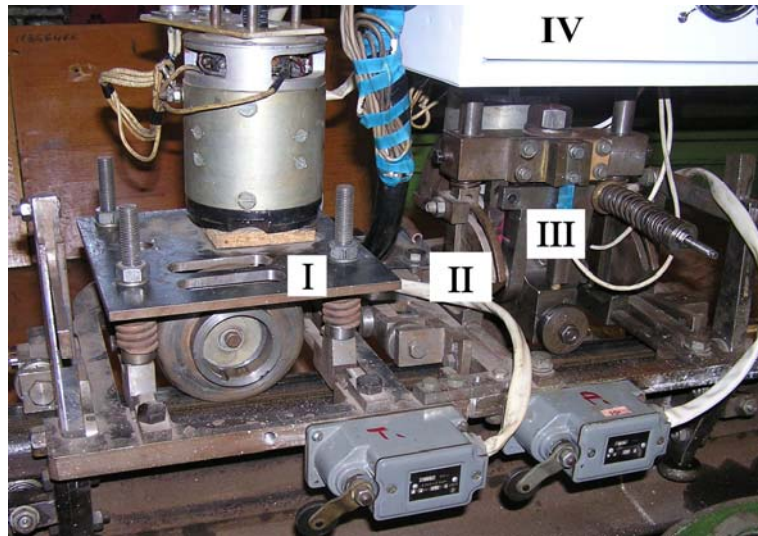


Рисунок 1 – Общий вид машины трения

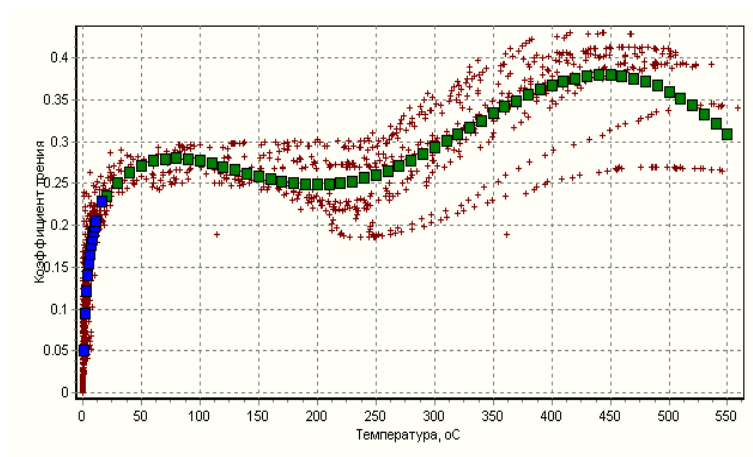


Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости коэффициента трения от температуры на чистых сухих рельсах

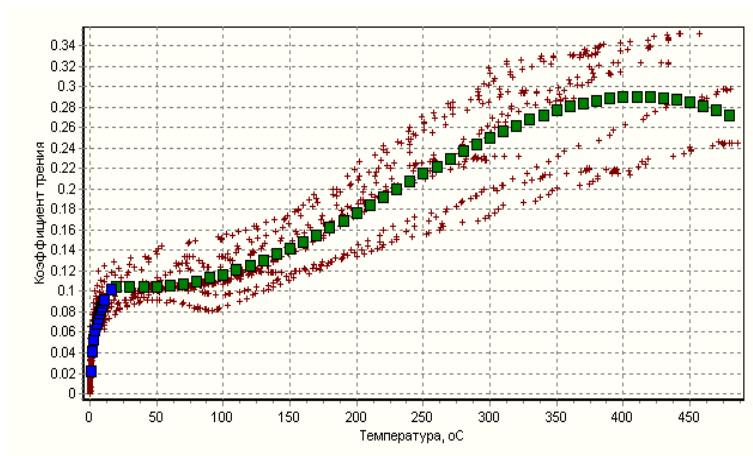


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости коэффициента трения от температуры на обводненных рельсах

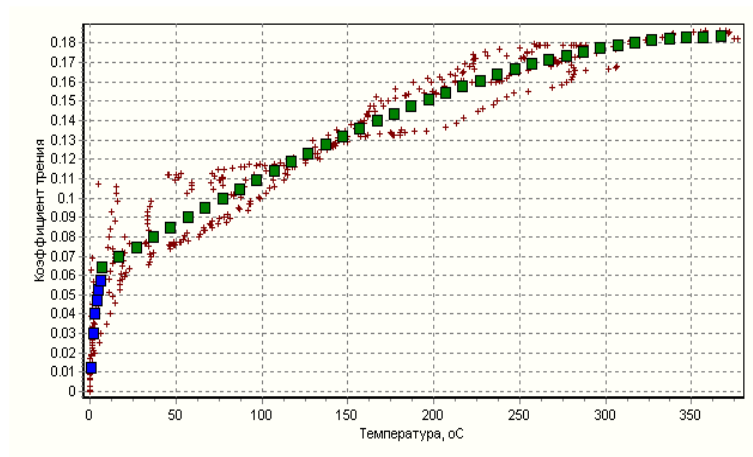


Рисунок 4 – Экспериментальные зависимости коэффициента трения от температуры на рельсах покрытых жидкой угольно-породной смесью

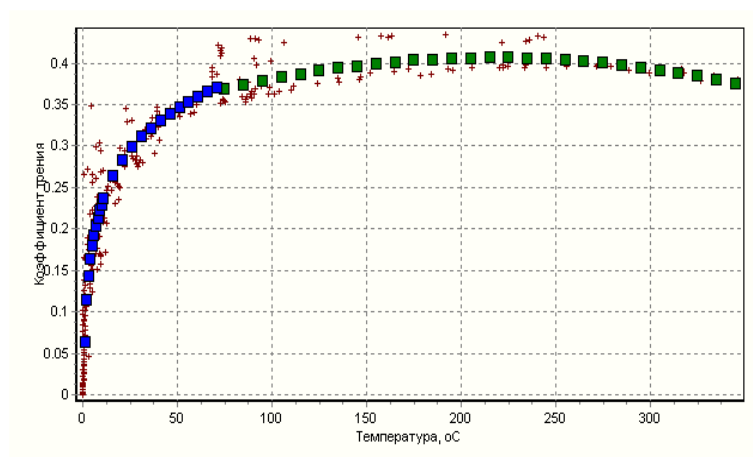


Рисунок 5 – Экспериментальные зависимости коэффициента трения от температуры на рельсах покрытых тонким слоем породной пыли

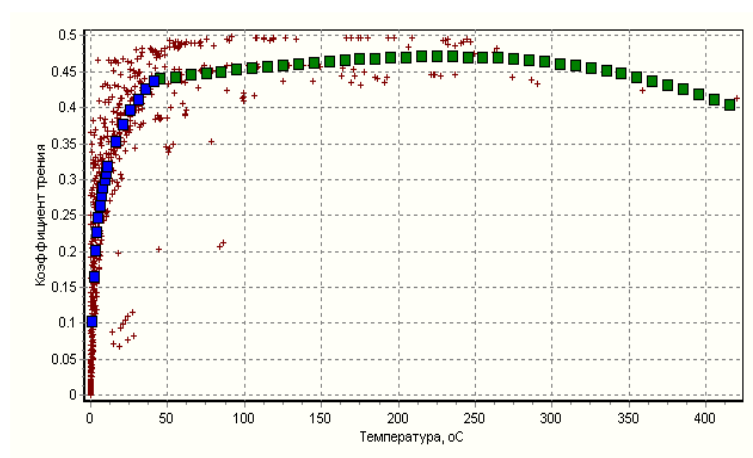


Рисунок 6 – Экспериментальные зависимости коэффициента трения от температуры на рельсах покрытых тонким слоем угольной пыли

Как видно из рисунков, изменение фрикционных условий меняет не только максимальное значение коэффициента трения, но и характер зависимости последнего от температуры в контакте. Таким образом, фрикционные условия контактирования являются определяющими факторами, влияющие на весь комплекс параметров фрикционной пары «колесо-рельс».

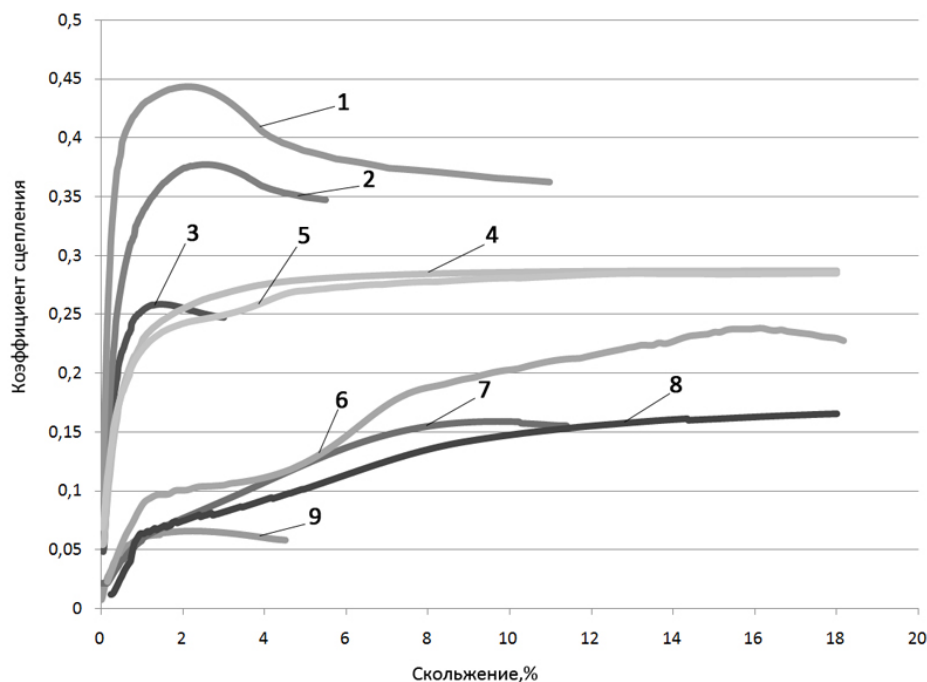


Рисунок 7 – Экспериментальные зависимости коэффициента сцепления от относительного скольжения при различном фрикционном состоянии пары колесо-рельс: 1 – угольная пыль тонким слоем; 2 – породная пыль тонким слоем; 3 – чистый, сухой рельс; 4 – породная пыль толстым слоем; 5 – угольная пыль толстым слоем; 6 – рельс покрыт водой; 7 – жидкая-угольно-породная смесь; 8 – обводнённая -угольно-породная смесь; 9 – масло моторное

### Выводы

1. Данные, полученные на основании проведенных экспериментальных исследований, свидетельствуют о том, что наблюдающиеся в эксплуатации значительные изменения коэффициентов сцепления колес локомотивов с рельсами, определяются прежде всего характеристиками поверхностного слоя загрязнений колес и рельсов, что позволит наиболее полно и эффективно исследовать актуальные проблемы механики контактного взаимодействия колеса и рельса.
2. Характеристика сцепления полученная для чистого сухого рельса идентична полученной в [3]. Но, наличие влаги и загрязнений (поверхности рельсов покрыты слоем водно-угольно-породной смеси) существенно меняет течение процесса реализации имеющегося уровня сцепления. С ухудшением условий сцепления величина критического скольжения возрастает до 8,5...16 % и выше. Характеристика сцепления смещается вправо, становится более полой, ее максимум значительно менее ярко выражен, а по абсолютной величине (0,15) существенно уступает фиксируемому на чистых рельсах (0,26).

3. С позиций наиболее развитой в настоящее время молекулярно-механической теории трения [9] полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. При качении колеса по рельсу, вследствие его деформации под действием нагрузки, создаётся площадка касания конечных размеров. В этом случае материал на площадке касания будет сжат, а материал опорной поверхности – растянут. При последовательном нарушении контакта в данном месте, точки опорной поверхности в результате упругости будут стремиться сблизиться, а точки поверхности колеса будут удаляться друг от друга, что и приводит к проскальзыванию поверхностных слоёв контактирующих тел. Описанный процесс имеет место при упруго-пластическом контакте, характерном для контактирования пары колесо-рельс. Введение в область контакта упруго-вязкой среды – промежуточного слоя, приводит, по всей видимости, к тому, что точки колеса удаляются на большие расстояния, вызывая увеличение проскальзывания. Кроме того, определённый вклад вносит изменение давления в контакте трибосопряжения, обусловленное постоянно чередующимися в различных комбинациях режимами трения: сухое, граничное и жидкостное. Следует отметить, что жидкостное трение наступает когда жидкие плёнки имеют толщину 0,1 мкм и более, т.к. объёмные свойства жидкости проявляются в плёнках такой и большей толщины [7].

**Список литературы:** 1. *Голубенко А.Л.* Сцепление колеса с рельсом: – 2-е изд. Доп. И перераб. – Луганск: Из-во ВУГУ, 1999. – 476 с. 2. *Лужнов Ю. М., Русакова Н. В., Черепашенец Р. Г.* Загрязнение поверхностей рельсов и колес подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. 1972. № 4. – С. 38-40. 3. *Ренгевич А.А.* Коэффициент сцепления электровозов / *А.А. Ренгевич* // Вопросы рудничного транспорта. – М.: Госгортехиздат, 1961. – Вып. 5. 4. *Вербек Г.* Современное представление о сцеплении и его использовании // Железные дороги мира. 1974. № 4. – С. 23-53. 5. *Буато М.* Современные противоюзные устройства // Железные дороги мира. 1987. № 4. – С. 15-22. 6. *Буато М.* Характеристики коэффициента сцепления в режиме торможения // Revue Generall des Chemins de Fer. 1987. 106. № 10. – С. 5-16. 7. *Крагельский И.В., Виноградова И.Э.* Коэффициенты трения. – М.: Машиностроение, 1962. – 220 с. 8. *Голубенко А.Л., Костюкевич А.И.* Экспериментальные исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс». Вестник ВНУ им. В.Даля. – №5(147). – С. 14-19. 9. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.