

УДК 625.032

ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ В ПРОЦЕССЕ ПРИРАБОТКИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Кандидаты техн. наук С.В. Воронин, И.С. Грунык,
асп. А.В. Волков

ЗМІНА КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ КОЛЕСА З РЕЙКОЮ В ПРОЦЕСІ ПРИПРАЦЮВАННЯ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ

Кандидати техн. наук С.В. Воронін, І.С. Груник,
асп. О.В. Волков

CHANGES OF THE FRICTION WHEEL WITH THE RAIL DURING RUNNING OF THE CONTACTING SURFACES

Cand. of techn. sciences S.V. Voronin, I.S. Grunyk,
Graduate student O.V. Volkov

В статье приведен аналитический обзор и классификация существующего оборудования, которое используется для экспериментальных исследований фрикционных свойств и характеристик контакта "колесо-рельс". В работе дано описание лабораторного стенда для проведения экспериментальных исследований фрикционных характеристик контакта "колесо-рельс", а также результаты проведенных исследований по изменению коэффициента сцепления в процессе приработки контактирующих поверхностей.

Ключевые слова: фрикционный контакт, колесо, рельс, коэффициент сцепления, приработка поверхности.

У статті приведено аналітичний огляд та класифікація існуючого обладнання, яке використовується для експериментальних досліджень фрикційних властивостей і характеристик контакту "колесо-рейка". У роботі дано опис лабораторного стенду для проведення експериментальних досліджень фрикційних характеристик контакту "колесо-рейка", а також результати проведених досліджень по зміні коефіцієнта зчеплення в процесі припрацювання контактуючих поверхонь.

Ключові слова: фрикційний контакт, колесо, рейка, коефіцієнт зчеплення, припрацювання поверхні.

The article provides an analytical overview and classification of existing equipment, which is used for experimental studies of the frictional properties and characteristics of the contact "wheel-rail." A description of the laboratory stand for experimental studies of the friction characteristics of the contact "wheel-rail." The model allows to determine the friction coefficient in the laboratory and reproduce the process of rolling wheels on the rail in a single point of contact. For this is a detailed methodology for conducting research within the proposed stand. Also shown are the results of the research to change the coefficient of friction during the running of the contacting surfaces. At present, this process has not been studied in detail, so is the actual conduct additional research and testing, which could give a clearer picture of the patterns of interaction between wheel and rail.

Keywords: frictional contact, wheel, rail, adhesion coefficient, running-surface.

Введение. Сцепление ведущих колес подвижного состава с рельсом является основным процессом, определяющим степень реализации тягового усилия локомотива [1, 2, 3]. Всестороннее изучение закономерностей

взаимодействия колеса и рельса является актуальной задачей и требует создания специального лабораторного оборудования, позволяющего воспроизводить реальные условия контакта, получать данные о

коэффициенте сцепления с минимальной трудоемкостью, но с максимальной воспроизводимостью и достоверностью. Одним из мало изученных процессов является изменение коэффициента сцепления по мере приработки контактирующих поверхностей. Такой процесс, в частности, может быть изучен при помощи указанного оборудования в лабораторных условиях.

Анализ последних исследований и публикаций. В зависимости от поставленных целей исследований процесса сцепления сегодня применяется различное оборудование [4], которое предназначено для воспроизводства реальных условий контакта «колесо-рельс». Подробная классификация такого оборудования приведена на рис. 1, согласно [5].

К полномасштабному оборудованию принадлежат подвижной состав, который находится в эксплуатации, специально переоборудованный подвижной состав и полномасштабные стенды «колесо-рельс».

Подвижной состав, находящийся в эксплуатации дает косвенную оценку уровня коэффициента сцепления во время испытаний на торможение или по показаниям штатных приборов [6, 7].

Иногда подвижной состав специально переоборудуют, что позволяет использовать его как трибометрическую единицу.

В полномасштабных стендах «колесо-рельс» используются реальные колесо и рельс [8, 9]. Подобные стенды позволяют исследовать влияние фрикционных условий контактирования, угла атаки колеса, угла подуклонки рельса и других факторов на коэффициент сцепления колеса с рельсом. Кроме этого, имеется возможность проводить испытания на износ, усталостную прочность, а также исследовать зарождение и развитие трещин.

К масштабному оборудованию относятся трибометры, перемещаемые транспортными средствами, портативные трибометры и лабораторные установки [4].



Рис. 1. Классификация оборудования, используемого для исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс»

Трибометры, перемещаемые транспортными средствами включают в себя те, которые перемещаются специально оборудованными автомобилями, те, которые устанавливаются на подвижном составе, и те, которые используются как скользящие сенсоры. Данный вид оборудования дает возможность проводить исследования в условиях эксплуатации.

Портативные трибометры получили широкое распространение ввиду простоты своей конструкции и легкости в использовании. Они могут быть двух типов: основанные на принципе затормаживания рабочего ролика и предназначенные для измерения статического трения.

Лабораторные установки получили широкое применение для исследования фрикционных свойств пар трения. На них можно реализовать всевозможные кинематические схемы движения. Из всего перечня существующих лабораторных установок на практике чаще всего используются двухдисковые машины трения, машины трения “диск-палец”, оригинальные машины трения и маятниковые трибометры.

Основная часть исследований. С целью проведения экспериментальных исследований фрикционных характеристик контакта “колесо-рельс” был создан лабораторный стенд (рис. 2).

Имитация контакта “колесо-рельс” на стенде реализуется в системе “диск-плоскость”.

Диск имеет сферическую поверхность катания, что позволяет воссоздать процесс качения колеса по рельсу в условиях одноточечного контакта. При этом пятно контакта имеет эллиптическую форму, что соответствует реальному пятну контакта.

Стенд позволяет определять коэффициент сцепления в лабораторных условиях. Его основные преимущества [4]:

- относительная простота в управлении;
- низкая трудоемкость измерений;
- высокая воспроизводимость и достоверность получаемых результатов.

Основу стенда (рис. 3) составляет станина 1 на которой смонтирована колонка 2. На колонку 2 устанавливается с помощью направляющих кронштейн 3, в который вмонтирована стойка ролика 9 и нагрузочная площадка 10. На станине с помощью шарнирных соединений смонтирован предметный стол 4. Эти соединения дают столу возможность передвигаться в продольном направлении S вдоль станины. Предметный стол и станина соединены между собой двумя пружинами 11. В поперечном направлении предметный стол движется с помощью маховика поперечной подачи 5. На предметном столе жестко закреплена контактная плоскость 6, на которую опирается контактный ролик 8, смонтированный на приводном валу 7.



Рис. 2. Общий вид лабораторного стенда

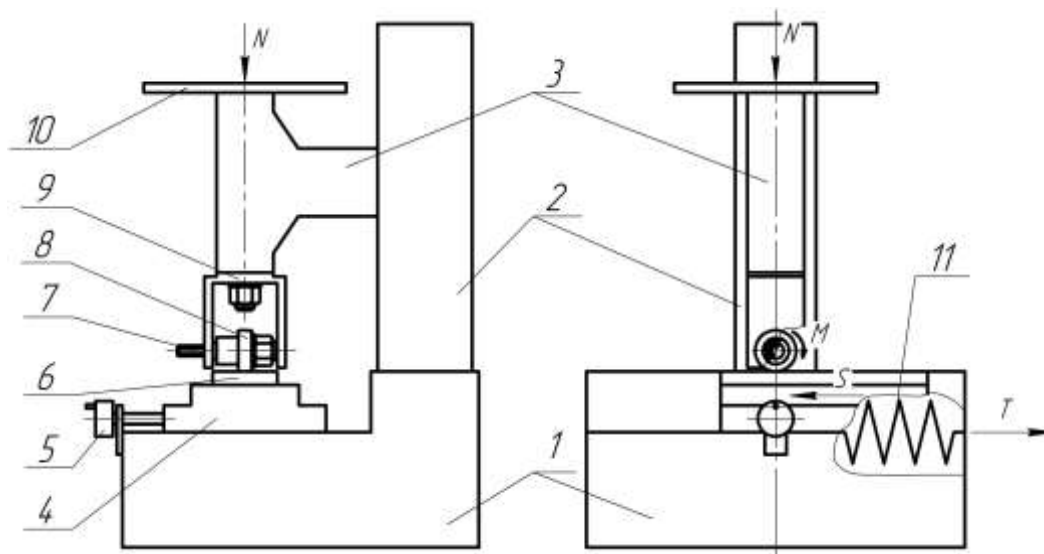


Рис. 3. Схема лабораторного стенда

Методика проведення експеримента передбачає прикладання заданого вертикального зусилля N к ролику. Далі за допомогою приводного вала к ролику подається крутящий момент M , який поступово наростає до моменту проскальзання ролика по поверхні.

Під предметним столом к станині прикріплено лінійний потенціометр. Бегунок потенціометра з'єднано з предметним столом і переміщується разом з ним. К потенціометру під'єднано цифровий преобразователь, який має можливість підключення к комп'ютеру через USB-вихід. Цифровий преобразователь, пружина 11 і лінійний потенціометр разом представляють собою цифровий динамометр. Під час проведення експерименту сигнал з цифрового динамометра виводиться на монітор комп'ютера у вигляді графіка, що описує залежність сили тертя ролика від переміщення стола. У момент проскальзання ролика сила тертя різко падає і фіксується її пікове значення. Коефіцієнт сцеплення в даному випадку визначається як відношення максимальної сили тертя T_{max} к нормальному навантаженню N

$$\varphi = \frac{T_{max}}{N}, \text{ Н.} \quad (1)$$

Максимальна сила тертя визначається як середнє арифметичне всіх пікових значень сили тертя T_i в одній серії експерименту

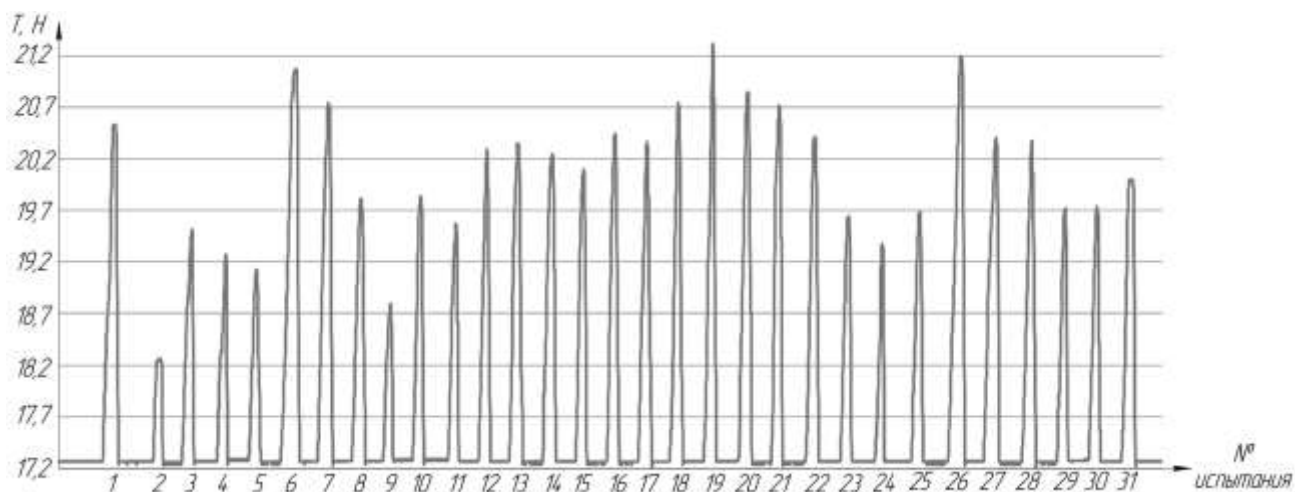
$$T_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \text{ Н,} \quad (2)$$

де n – кількість експериментів в одній серії;
 i – порядковий номер пікового значення в серії.

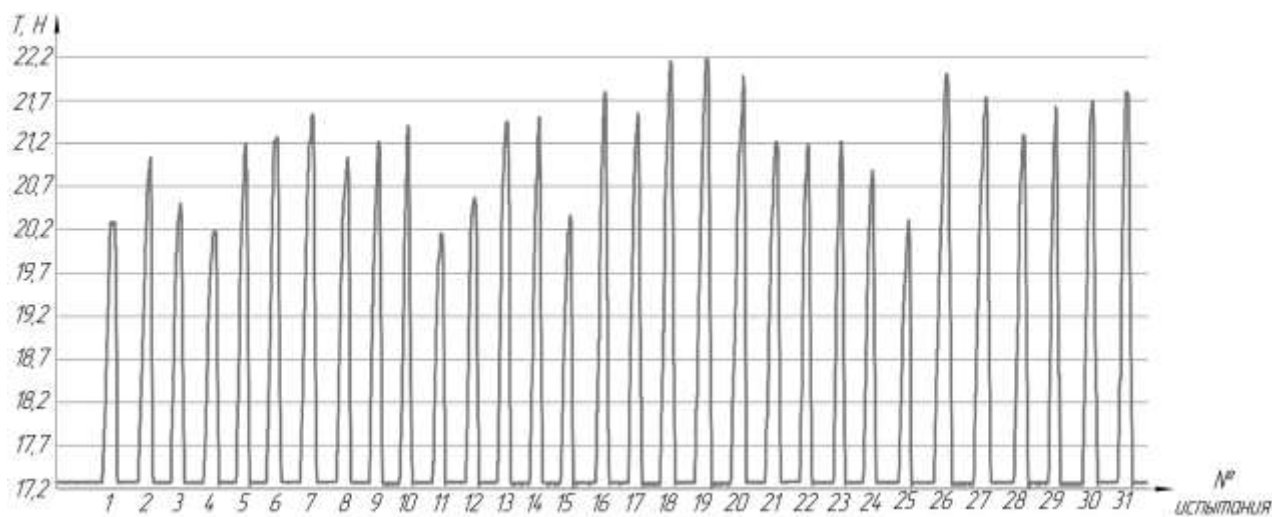
Перед початком експериментальних досліджень контактна поверхня очищується до стану однорідної шорсткості за допомогою наждачної паперу з поступовим змінюванням її структури від більш крупної к більш дрібній. Перед безпосереднім проведенням досліджень контактні поверхні обезжириваються і сушаться.

Під час проведення експериментальних досліджень вертикальне навантаження, прикладене к ролику, становило 90 Н.

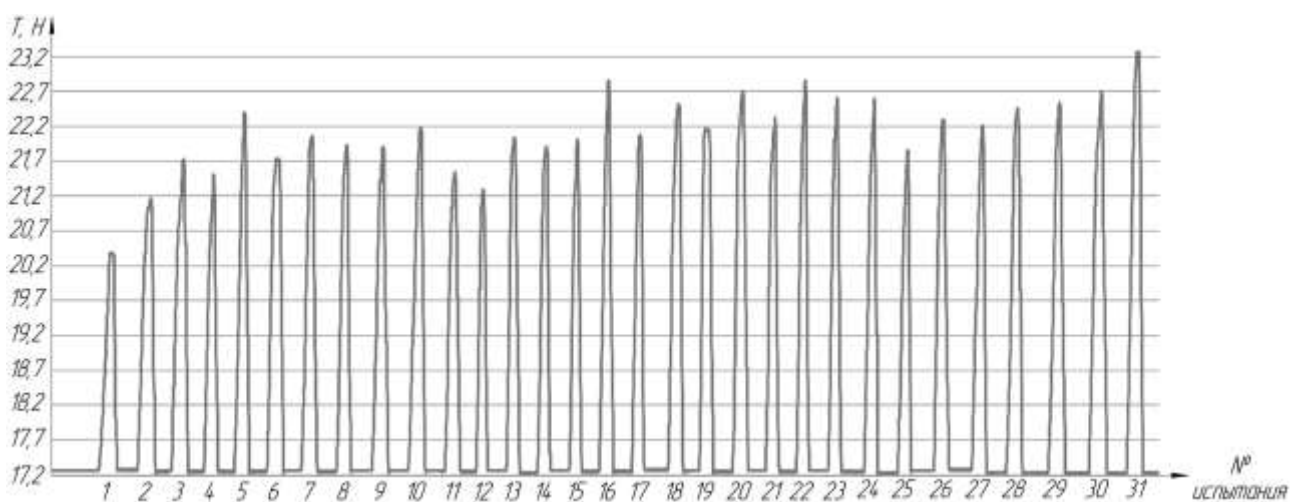
Результати проведенних досліджень показали, що при повторенні кожної серії експерименту коефіцієнт сцеплення зростає і характеристики сцеплення між роликом і поверхнею набувають більш стабільного вигляду (рис. 4).



а) первая серия испытаний;



б) вторая серия испытаний;



в) третья серия испытаний;

Рис. 4. Результаты проведенных испытаний

Анализ кривой, получаемой в ходе одного испытания (рис. 5) показывает, что при достижении определенного усилия (T_{max}) происходит проскальзывание ролика относительно плоскости и происходит срыв сцепления. С каждой последующей серией испытаний усилие срыва увеличивается, что свидетельствует о приработке контактирующих поверхностей, при которой происходит накопление большого числа однонаправленных пластических деформаций, что нагартовывает

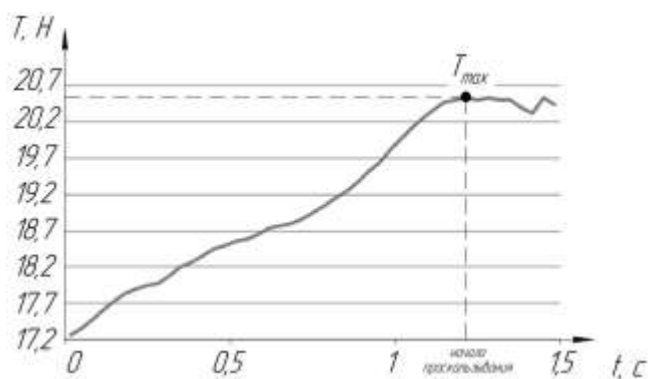


Рис. 5. Характерный вид кривой изменения перемещения и усилия во времени

поверхностный слой до тех пор, пока фактическая площадь контакта достигнет максимума для заданной внешней нагрузки. Этот процесс объясняет механизм контактно-усталостных дефектов и механического упрочнения поверхностного слоя в процессе работы (наклепа) [10]. С постепенным образованием наклепа рост коэффициента сцепления замедляется и в итоге вообще прекращается, находясь постоянно в одной области значений (рис. 6).

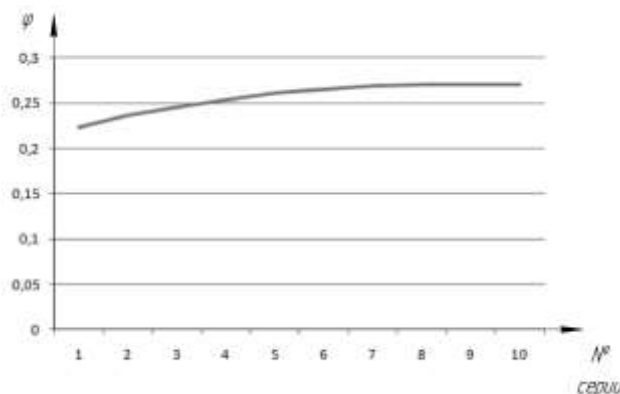


Рис. 6. График изменения коэффициента сцепления

Выводы:

1. Создание и использование лабораторного оборудования для исследования контакта «колесо-рельс» на сегодняшний день является актуальной задачей, решение которой позволит исследовать физические процессы, протекающие в контакте, разрабатывать и совершенствовать технологии управления сцеплением между ведущими колесами локомотивов и рельсами.

2. Приведенный лабораторный стенд требует дооснащения, а именно установки

электрического привода. Это позволит вращать ролик равномерно и с одинаковым крутящим моментом, как следствие, повысить точность проводимых измерений.

3. Анализ результатов проведенных испытаний показал, что коэффициент сцепления растет в процессе приработки поверхностей до некоторого установившегося значения. Это свидетельствует о механическом упрочнении контактирующих поверхностей, насыщении фактической площади контакта и установления равновесной шероховатости.

Список использованных источников

- Осипов, С.И. Основы тяги поездов [Текст]: учебник для студентов техникумов и колледжей ж.-д. тр-та / С.И. Осипов, С.С. Осипов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.
- Кузьмич, В.Д. Теория локомотивной тяги [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель; под ред. В.Д. Кузьмича. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.
- Камаев, А.А. Взаимодействие локомотива и пути в кривых участках пути [Текст]: учебное пособие / А.А. Камаев, Г.С. Михальченко. – Тула: Тульский политехнический институт, 1977. – 68 с.
- Костюкевич, А.И. Обзор оборудования, используемого для экспериментального исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» [Электронный ресурс] / А.И. Костюкевич // Наукові

вісті Далівського університету: зб. наук. праць. – Луганськ, 2011. – № 3. <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/840>.

5. Poole, W., Guidance on Wheel/ Rail Low Measurement, February 2008, Rail Safety and Standarts Board, GM/ GN2642, London.

6. Казаринов, В.М. Коэффициенты сцепления колес с рельсами при торможении [Текст] / В.М. Казаринов, Л.А. Вуколов // Исследования автотормозной техники на железных дорогах СССР: Труды ВНИИЖТ. – М., 1961. – Вып. 212. – С. 5–38.

7. Казаринов, А.В. Повышение сцепления колес с рельсами в режимах торможения [Текст] / А.В. Казаринов // В кн.: Автотормоза скоростных и тяжеловесных поездов / Сб. науч. тр. ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1979. – Вып.604. – С. 129–135.

8. Голубенко, А.Л. Сцепление колеса с рельсом [Текст] / А.Л. Голубенко. – К.: ВПЮЛ, 1993. – 448 с.

9. Экспериментальные исследования колеса с рельсом на испытательно-измерительном комплексе [Текст] / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, Ю.Ю. Осенин [и др.] // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – №5 (123), ч. 1. – С. 18–23.

10. Харрис, У. Дж. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса [Текст] / У. Дж. Харрис, С.М. Захаров, Дж. Ландгрэн [и др.]; пер. с англ. С.М. Захарова. – М.: Интекст, 2002. – 408 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Ремарчук

Воронін Сергій Володимирович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Груник Іван Степанович, канд. техн. наук, начльник Рівненської дирекції залізничних перевезень. Тел.: (0362) 42-33-00. E-mail: kaf_spprm@ukr.net.

Волков Олександр Вікторович, аспірант кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (066)830-35-79. E-mail: volkov_90@mail.ua.

Sergey Voronin, kand. tekhn. sciences, associate professor, manager of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Hrunyk John, kand. tekhn. sciences, manager of Rivne railway department. E-mail: kaf_spprm@ukr.net.

Volkov Alexander, graduate student of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport. E-mail: volkov_90@mail.ua.