



Кинематика взаимодействия «колесо-рельс»



Ярослав НОВАЧУК
Yaroslav A. NOVACHUK

Дмитрий НИКИТИН
Dmitry N. NIKITIN



Роман КОБЛОВ
Roman V. KOBLOV

Новачук Ярослав Антонович — кандидат технических наук, доцент Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС).
Никитин Дмитрий Николаевич — инженер кафедры «Тепловозы и тепловые двигатели» ДВГУПС.
Коблов Роман Викторович — преподаватель ДВГУПС (г. Хабаровск).

Инновационные методы математического моделирования взаимодействия железнодорожного колеса с рельсами, которые могут быть использованы при проектировании тягового подвижного состава, а также изыскателями, для определения: траекторий движения условных точек, принадлежащих профилю железнодорожного колеса. Моделирование выполнено на основе ранее не использовавшейся фундаментальной теории кинематики круга.

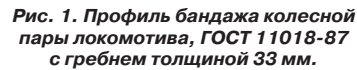
Целью представленного исследования является адаптация фундаментальных положений циклоидальных кривых к движению условных точек профиля бандажа железнодорожного колеса с определением их траекторий, скоростей и ускорений. Одновременно ставилась задача ввести коррекцию в разномыслие представителей априорно-теоретических представлений и необоснованных допущений при рассмотрении проблем взаимодействия в системе «колесо-рельс».

Актуальность темы подтверждается реальностью ситуации, когда в локомотивных структурах железных дорог России ежегодно выполняют сотни тысяч обточек колесных пар тягового подвижного состава. Такие вынужденные технологические операции поглощают труд и капитал отрасли в виде дополнительных эксплуатационных затрат на шесть и более миллиардов рублей.

Ключевые слова: железная дорога, моделирование, колесо, рельс, взаимодействие циклоида, кинематика движения колеса.

На текущий момент человечество пришло к различным транспортным движениям, которые прочно закрепились: в водном транспорте — парус и гребной винт; в воздушном — пропеллер и реактивная

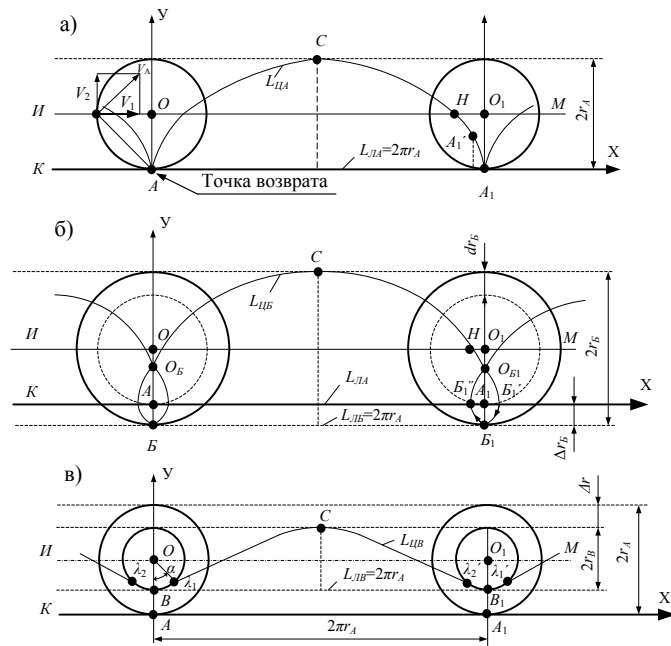
Систематизировав фундаментальные исследования в области геометрии, математики и механики движения круга (колеса), еще раз убедились, что в его основу заложены классические законы механики, которые находятся в одном ряду с теорией баллистики, теорией летательных аппаратов, остойчивости корабля и т.д. В то же время есть право говорить о несправедливо неустаревающей теории циклоиды, математические свойства которой развивали и обосновывали известные ученые Е. Торичелли, В. Вивиани, Г. Персонье (Роберваль), Б. Паскаль, Р. Декарт, П. Ферма. Механические свойства циклоиды исследовали Х. Гюйгенс, И. Ньютон, Г. Лейбниц, Иоганн и Якоб Бернулли, Л. Эйлер, Ж. Лагранж.



Согласно [3] длина одной арки обыкновенной циклоиды равна восьми радиусам производящего круга ($L_{\text{ак}} = 8r$), что на 27,3% больше $2\pi r$. Площадь, ограни-



Рис. 2. Графики движения условных точек профиля колеса: а) циклоида точки А; б) удлинённая циклоида точки В; в) укороченная циклоида точки В.



ченая аркой циклоиды и ее основанием, равна утроенной площади производящего круга: $S_{\text{ци}} = 3\pi r_A^2$.

На этих фундаментальных положениях строятся проекции скорости точки А на координатные оси:

$$V_x = \dot{x} = V_o \cdot \left(1 - \cos \frac{V_o t}{r}\right), \quad V_y = \dot{y} = V_o \sin \frac{V_o t}{r}, \quad (3)$$

$$\text{или } \dot{x} = 2V_o \sin^2 \frac{V_o t}{2r}, \quad \dot{y} = 2V_o \sin \frac{V_o t}{2r} \cos \frac{V_o t}{2r}. \quad (4)$$

Модуль скорости V_A равен:

$$V_A = 2V_o \left(\sin \frac{V_o t}{2r} \right). \quad (5)$$

Направление ее определяется тангенсом угла наклона касательной:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \operatorname{ctg} \frac{V_o t}{2r}. \quad (6)$$

Напомним фундаментальные теоремы плоскопараллельного движения круга (колеса) [6]: «Всякое движение свободной неизменяемой системы в бесконечно малый промежуток времени может быть разложено на: а) поступательное движение со скоростью V_o некоторой точки тела и б) вращательное движение вокруг мгновенной оси, проходящей через эту точку».

В свою очередь, теоремой Даламбера [6] подтверждается процесс движения круга: «Всякое движение твердого тела, имеющего неподвижную точку, в бесконечно малый промежуток времени приводится к вращению вокруг мгновенной оси, приходящей через неподвижную точку».

На этих фундаментальных положениях устанавливается результирующая скорость условной точки V_A как скорость взаимодействия колеса с рельсом, которая соответствует:

$$V_A = V_o \sqrt{2} = 1,4142 V_o, \quad (7)$$

где V_o — поступательная скорость центра колеса.

При условии, что колесо радиуса r катится без скольжения по прямолинейному рельсу, а скорость центра колеса постоянная и равна V_o , мгновенный центр скоростей находится в точке Т соприкосновения колеса с неподвижным рельсом.

Вектор скорости точки V_A всегда направлен перпендикулярно мгновенному радиусу ТА.

Ускорение точки А есть производная скорости по времени, оно постоянно по величине и направлению от точки А к центру колеса.

Если принять $OB=R$, $OA=r$, тогда координаты точки В в подвижной системе координат приобретут значения:

$$\begin{aligned} x &= R \sin \varphi = R \sin \frac{V_o}{r} t \\ y &= R \cos \varphi = R \cos \frac{V_o}{r} t \end{aligned} \quad (8)$$

Траектория точки Б, называемая удлиненной циклоидой, образует петлю вокруг точки касания Т или точки А. Для обыкновенной циклоиды (рис. 2а) эта петля выражается в заострение (точка возврата): нисходящая и восходящая ветви обыкновенной циклоиды имеют в этой условной точке А мгновенный центр и общую касательную, параллельную оси Ау. Каждая точка А является и точкой Т – мгновенным центром поворота колеса, который поступательно перемещается по основанию циклоиды (по рельсу). Параметры петли находятся в аналитической зависимости с расположением точки Б по высоте гребня ΔR . В частности, ΔR ассоциируется с глубиной касания гребня с боковой гранью головки рельса, от радиуса r круга катания колеса. Проекция траектории движения точки Б на вертикальную плоскость отражает характер взаимодействия гребня колеса при его набегании на боковую грань головки рельса.

ВЫВОДЫ

Представленная теория:

- дает пояснение механизма взаимодействия условных точек профиля и, в частности, гребня колеса с рельсом;
- устанавливает аналитические и параметрические соотношения скорости и ускорения взаимодействия с рельсом колеса в зависимости от его диаметра по кругу катания;

– устраняет путаницу и противоречия в понятиях о расположении мгновенного центра скоростей и мгновенного центра поворота колеса.

Интенсивный износ гребня, бесспорно, является следствием скольжения с определенной скоростью его поверхности по боковой грани головки рельса.

Разработанная и адаптированная физико-математическая модель движения колесной пары рассматривается нами как голономная кинематическая система, позволяющая априорно решать задачи механики и аналитически определять:

- характерные особенности движения условной точки Б, принадлежащей гребню колеса;
- длину пути перемещения условной точки гребня Б по боковой поверхности головки рельса;
- реальную относительную скорость перемещения точки Б;
- динамические составляющие сил взаимодействия поверхностей гребня и рельса, а также значения работы, производимой при этом, и затраченной на нее энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986.
2. Митрохин А. Н. Колесо – рельс: требуется более совершенная теория // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 7.
3. Берман Г. Н. Циклоида. – М.: ГИТТЛ, 1954.
4. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1973.
5. Новачук Я. А., Григоренко В. Г., Никитин Д. Н. Инновационная теория взаимодействия колес и рельсов // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 9.
6. Жуковский Н. Е. Кинематика, статика, динамика точки. – М.–Л.: Оборонгиз, 1939. ●

KINEMATICS OF INTERACTION BETWEEN THE WHEEL AND THE RAIL

Novachuk, Yaroslav A. – Ph. D. (Tech), associate professor of Far-Eastern State University of Railway Engineering (Khabarovsk).

Nikitin, Dmitry N. – engineer at the department of diesel locomotives and heat engines of Far-Eastern State University of Railway Engineering (Khabarovsk).

Koblov, Roman V. – lecturer at Far-Eastern State University of Railway Engineering (Khabarovsk).

The article describes innovative methods of mathematical simulation of interaction of the wheels and the rails of the railways. They can be employed for engineering of new traction rolling stock, and researchers can use them to define trajectories of moving conventional points on the railway wheel profile. Simulation is based on fundamental theory of circle kinematics, never used for this purpose.

Key words: railway, simulation, wheel, rail, interaction of cycloid, kinematics of wheel movement.

Координаты авторов (contact information): Новачук Я. А. – novachuk@inbox.ru, Никитин Д. Н. – Rain238@yandex.ru, Коблов Р. В. – Romashka.one2007@rambler.ru.

