

УДК 519.624.3

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ШЕСТИОСНОГО ЛОКОМОТИВА С УПРАВЛЯЕМОЙ РАДИАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Короп Г.В., Ключев С.А., Зубарь Е.В.

MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF SIXAXIS LOCOMOTIVE WITH CONTROLLED RADIAL WHEELPAIRS INSTALLATION DEVELOPMENT AND RESEARCH

Korop G., Klyuev S., Zybar E.

В статье представлено исследование математической модели движения усовершенствованной тележки локомотива с управляемой радиальной установкой колесных пар в криволинейных участках пути с использованием пакета Matlab/Simulink. На основании общей системы нелинейных, с переменными коэффициентами дифференциальных уравнений движения экипажа по рельсовому пути с неровностями в плане, рассматривается математическая модель динамики движения локомотива усовершенствованной конструкции с осевой формулой 3o-3o как объекта автоматического управления положением колесных пар в рельсовой колее.

Ключевые слова: математическая модель, динамика, криволинейный участок пути, радиальная установка, колесная пара, управляемое движение, численные методы

Постановка проблемы. В современных условиях эксплуатации существующего подвижного состава возникла проблема интенсивного подреза гребней бандажей колесных пар, связанная с силовым взаимодействием колеса с рельсом в криволинейных участках пути, вследствие чего увеличились расходы на ремонт и обслуживание локомотивов и пути.

Решение поставленной проблемы связано с созданием и исследованием принципиально новых конструкций экипажей.

Анализ последних исследований и публикаций. Перспективным направлением снижения силового взаимодействия колеса с рельсом и как следствия снижения интенсивным износа в системе "колесо-рельс" является применение рациональных конструкций экипажной части локомотивов, дополненных системой активного

управления поворотом колесных пар в горизонтальной плоскости при движении в криволинейных участках пути [1, 2].

Целью статьи является исследование математической модели движения шестиосного локомотива с управляемой радиальной установкой колесных пар.

Материалы и результаты исследования. Современный подход к разработке любой технической системы, имеющей механическую часть, предполагает выполнение теоретических исследований её поведения в условиях, приближенных к реальным. Наиболее распространенным в настоящее время методом исследований на стадии проектирования системы или машины является метод компьютерного моделирования. Основу этого метода составляют математическая модель и программные средства.

Предложенная усовершенствованная конструкция тележки и система автоматического управления (САУ) положением колесной пары представлена в работах [3, 4].

На основании общей системы нелинейных, с переменными коэффициентами дифференциальных уравнений движения экипажа по рельсовому пути с неровностями в плане, рассматривается математическая модель динамики движения локомотива усовершенствованной конструкции с осевой формулой 3o-3o как объекта автоматического управления положением колесных пар в рельсовой колее. За основу принята математическая модель движения локомотива с осевой формулой 3o-3o, предложенная в работах Маслиева В.Г. [5].

Исследуются режимы движения локомотива с постоянной скоростью, рассматривается установившееся движение экипажа при постоянной величине криволинейности и возвышении наружного рельса: путь имеет геометрические неровности на рельсах в плане, которые задаются в соответствии с рекомендуемыми реальными случайными возмущениями со стороны рельсового пути [6].

В соответствии с алгоритмом Лагранжа второго рода, производим операции дифференцирования выражений для кинетической, потенциальной энергий и функции рассеивания энергии системы.

Учитывая то, что решение задачи во временной области влечет за собой большой объем вычислений при интегрировании дифференциальных уравнений, применяется алгоритм интегрирования Рунге - Кутты четвертого порядка с переменным шагом интегрирования.

В процессе моделирования для определения радиуса криволинейного участка пути использовалось следующая зависимость:

$$1/R = \Omega/V \quad (1)$$

где Ω - угловая скорость вращения рамы тележки; R - радиус криволинейного участка пути; V - линейная скорость движения локомотива.

Инерционные свойства экипажа при такой системе радиальной установки колесных пар (РУКП) не изменяются, т.е. матрица инерционных коэффициентов модели изменяется в соответствии с вычисляемым углом поворота колесной пары. В базовой математической модели [5] изменяются уравнения, описывающие влияние колесно-моторных блоков:

$$\begin{aligned} I_{ijz} \ddot{\varphi} + I_{ijz} \ddot{\varphi}_1 + I_{ijz} \ddot{\varphi}_{ij} = \\ = -K_{B\xi} (y^2_{Bij} - y_{ij} y_{Bij}) \varphi_{ij} + M_{Tij} + M_{ij} pg \end{aligned} \quad (2)$$

где M — массы: кузова, прдресоренных частей візка і колісно-моторного блока відповідно; I — главные центральные моменты инерции этих масс; x, y, z с индексами - размеры экипажа; M_{Tij} - момент от сил в контакте колес с рельсом; y_B — расстояние от оси тележки до гасителей колебаний; g — ускорение силы тяжести; φ - углы поворота, соответственно колесной пары, тележки, кузова; K и β - коэффициенты жесткости и демпфирования связей экипажа в направлении соответствующих осей координат.

Функциональная зависимость угла поворота колесной пары относительно тележки в зависимости от параметров исполнительного устройства подставляется в математическую модель движения

усовершенствованного шестисного рельсового экипажа.

Функциональная зависимость угла поворота колесной пары относительно тележки, согласно САУ положением колесной пары в рельсовой колее [3], имеет вид:

$$\begin{aligned} a_3 \frac{d^3 \varphi_{ij}}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 \varphi_{ij}}{dt^2} + a_1 \frac{d\varphi_{ij}}{dt} + \varphi_{ij} = \\ = a_1 \frac{dM(t)}{dt} + M(t) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{где } a_3 = \frac{T_1 T^2}{k_2 k_3 k_5}, \quad a_2 = \frac{2\xi T_1 T}{k_2 k_3 k_5}, \quad a_1 = \frac{k_4}{k_3}.$$

$$T = \sqrt{\frac{J}{c}}, \quad \xi = \frac{b}{2 \cdot c}, \quad k_5 = \frac{M_H - M_C}{c}$$

где J - момент инерции колесной пары, c, b - упругая и диссипативная составляющая рессорного подвешивания, M_C - момент сил трения при повороте колесной пары, M_H - момент внешней нагрузки, $M(t)$ - разность момента сил трения при повороте колесной пары и момента внешней нагрузки, k_2 - коэффициент передачи датчика, k_3, k_4 - коэффициент передачи регулятора.

В результате моделирования движения тележки локомотива 2ТЭ116 серийного исполнения и усовершенствованной системы в пакете Matlab/Simulink получены результаты, приведенные на рис. 1, 2.

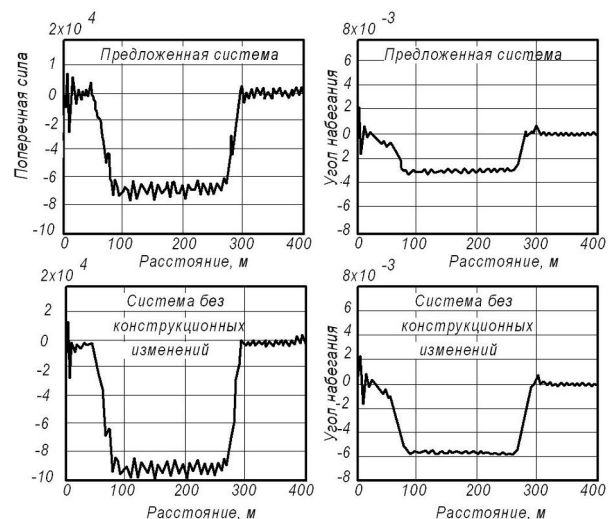


Рис. 1. Результатов моделирования движения 2ТЭ116 (R=300 м, V=90 км/ч)

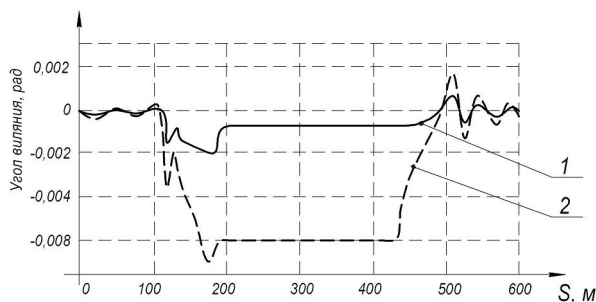


Рис. 2. Теоретические значения угла виляния первой колесной пары тепловоза при управляемом и неуправляемом прохождении криволинейного участка пути

Выводы: 1. Результаты экспериментальных исследований ВНИТИ и выполненных теоретических исследований, показывают, что эффективность усовершенствованной системы управления радиальной установкой колесных пар выше, чем у серийного, на всех режимах движения. Усовершенствованная система автоматического управления положением колесных пар позволяет снизить направляющие усилие на 35%, а угол набегания свести практически к нулю.

2. Разработанная математическая модель движения усовершенствованного шестиосного локомотива, с учетом наличия поводка регулируемой длины, позволяет прогнозировать и сравнивать с эталонной конструкцией динамических и эксплуатационных показателей, определять их перспективность применения на различных участках железных дорог и научно обосновывать конструкцию устройств для радиальной установки колесных пар в криволинейных участках пути при достоверной вероятности равной 0,98.

Литература

1. Тепляков А. Н. Пути снижения интенсивности износа гребней колесных пар локомотивов: Дисс. канд. техн. наук : 05.22.07: Хабаровск. – 2004. – 197 с.
2. Ключев С.А. Методики активного управления тележкой рельсового транспортного средства. / Ключев С.А., Ключев А.А. // Вестник Восточнoукр. ун-та. – Луганск: ВНУ им. В.Даля. – 2009. – Вип. №4 (134) Ч.1. – С. 67-74.
3. Ульшин В.А. Разработка и исследование системы автоматического управления положением колесной пары локомотива / Ульшин В.А., Ключев С.А. // Вестник Восточнoукр. ун-та. – Луганск: ВНУ им. В.Даля. – 2012. – Вип. №3 (174) Ч.2 – С. 169-175.
4. Декларационный патент на полезную модель №31817, кл. В61F 5/00 Двoвисний вiзок залiзничної транспортної одиниці / Спiрягин М.І., Спiрягин В.І., Костенко І.В., Ключев С.О. – №u200713258, заявл. 28.11.2007 р.; опубл. 25.04.2008, бюл. №8 – 4 с.
5. Маслиев В. Г. Научные основы выбора конструкторско-технологических параметров устройств для уменьшения износа бандажей колес локомотивов: дис. д-ра техн. наук: 05.22.07 / Маслиев Вячеслав Георгиевич; Национальный технический ун-т "Харьковский политехнический ин-т". - Х., 2001. - 497 л. - Библиогр.: л. 431-460.

6. Черняк А.Ю. Моделирование случайных возмущений в системе "рельсовый экипаж-путь" // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля - Луганск: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2003. - №9 (67). - Ч.1 С. 173-177.

References

1. Tepljakov A. N. Puti snizhenija intensivnosti iznosa grebnej kolesnyh par lokomotivov: Diss. kand. tehn. nauk : 05.22.07: Habarovsk. – 2004. – 197 c.
2. Kljuev S.A. Metodiki aktivnogo upravlenija telezhkoj rel'sovogo transportnogo sredstva. / Kljuev S.A., Kljuev A.A. // Vestnik Vostochnoukr. un-ta. – Lugansk: VNU im. V.Dalja. – 2009. – Vip №4 (134) Ch.1. – S. 67-74.
3. Ul'shin V.A. Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskogo upravlenija polozheniem kolesnoj pary lokomotiva / Ul'shin V.A., Kljuev S.A. // Vestnik Vostochnoukr. un-ta. – Lugansk: VNU im. V.Dalja. – 2012. – Vip №.3 (174) Ch.2 – С. 169-175.
4. Deklaracijnij patent na korisnu model' №31817, kl. B61F 5/00 Dvovisnij vizok zaliznichnoї transportnoї odinici / Spirjagin M.I., Spirjagin V.I., Kostenko I.V., Kljuev S.O. – №u200713258, zajavl. 28.11.2007 r.; opubl. 25.04.2008, bjul. №8 – 4 s.
5. Masliev V. G. Nauchnye osnovy vybora konstruktorskotekhnologicheskikh parametrov ustrojstv dlja umen'shenija iznosa bandazhej koles lokomotivov: dis. d-ra tehn. nauk: 05.22.07 / Masliev Vjacheslav Georgievich; Nacional'nyj tehničeskij un-t "Har'kovskij politehničeskij in-t". - H., 2001. - 497 l. - Bibliogr.: l. 431-460.
6. Chernjak A.Ju. Modelirovanie sluchajnyh vozmushhenij v sisteme "rel'sovyj jekipazh-put" // Visnik Shidnoukraїns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja - Lugansk: Vid-vo SNU im. V. Dalja, 2003. - №9 (67). - Ch.1 S. 173-177.

Корюп Г.В., Ключев С.О., Зубарь Є.В. Розробка та дослідження математичної моделі руху шестивісного локомотиву з керуванням радіального встановлення колісних пар

В статті представлено дослідження математичної моделі руху вдосконаленого візку локомотиву з керуванням радіальним встановленням колісних пар у криволінійних ділянках шляху з використанням пакету Matlab/Simulink. На базі загальної системи нелінійних, з змінними коефіцієнтами диференціальних рівнянь руху екіпажу по рейковому шляху з нерівностями у плані, розглядається математична модель динаміки руху локомотиву вдосконаленої конструкції з осевою формулою 3o-3o як об'єкту автоматичного керування положенням колісних пар у рейковій колії.

Ключові слова: математична модель, динаміка, криволінійний ділянок шляху, радіальне встановлення, колісної пари, керований рух, численні методи.

Korop G., Klyuev S., Zybar E. Mathematical model of motion of sixaxis locomotive with controlled radial wheelpairs installation development and research

In the article the mathematical model of improved locomotive with controlled radial wheelpairs installation in the curvilinear areas using of Matlab/simulink package is researched. On the basis of the general system of nonlinear with the variable coefficients of differential equations of

carriage motion on track circuit with track irregularities in a plan, the mathematical model of dynamics of locomotive motion of the improved construction is considered with the axial formula of 3o-3o as an object of position of wheelpairs automatic control in track circuit. The efficiency of improved control system radial setting of wheelpairs is higher than at mass production locomotive on all modes of motion is established.

Keywords: *mathematical model, dynamics, curves, radial wheelpair installation, controlled motion, numerical computation.*

Короп Г.В. – к.т.н. кафедри транспортних систем Восточноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Клюев С.А. – асистент кафедри охорони труда и БЖД Восточноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Зубарь Є.В. – студентка 4 курсу кафедри транспортних систем Восточноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рецензент: **Нечаев Г.И.**, д.т.н., проф.

Статья подана 20.03.2013