

ТРАНСПОРТ

УДК 629.113-598.001.66

**Д. А. Дубовик, канд. техн. наук, И. С. Сазонов, д-р техн. наук, проф.,
В. А. Ким, д-р техн. наук, проф., О. В. Билык, канд. техн. наук,
Н. П. Амельченко, канд. техн. наук**

АНАЛИТИЧЕСКАЯ БАЗА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОПОЕЗДА

Современные автоматические системы управления движением на основе измеренных параметров производят расчеты по определению сил в контакте колес машины с опорной поверхностью и коэффициентов сцеплений. Формирование сигналов управления осуществляют при обнаружении превышения заданных пороговых значений сил или коэффициентов сцеплений в контакте колес с опорной поверхностью.

В работе предлагается аналитическая база алгоритма управления автопоездом, позволяющая идентификацию мгновенных центров скоростей звеньев поезда.

В настоящее время ведущие фирмы решают задачу управления движением автопоездов с помощью более сложных электронных систем управления, чем АБС, например, таких как ELB. В систему ELB, по меньшей мере, входят: электронно-пневматическая тормозная система (EPB); ABS; противобуксовочная система (ASR) и система автоматической стабилизации (ESP). Систему ELB отличает то, что она использует дополнительные информации, по сравнению с известными автоматическими системами управления, например: давление в тормозном цилиндре, нагрузка на оси. Колеса автопоезда, оснащенного ELB, отличает то, что все они срабатывают синхронно.

Анализ текущей информации позволяет прогнозировать, что в будущем, после принятия законодательного акта ЕЭК ООН об обязательном использовании системы ESP (примерно с 2012 г.), ELB станет таким же стандартным атрибутом автопоездов, как и ABS.

Несмотря на совершенство системы ELB, его алгоритм управления использует традиционные кинематические параметры, которые мы отмечали в [1, 2] как менее информативные, чем информации о

силах в контакте колес машины с опорной поверхностью и в узлах связи между звеньями автопоезда. Любая современная автоматическая система управления движением колесных машин на основе измеренных кинематических параметров движения решает две основные задачи – это определение сил в контакте колес с дорогой или же коэффициентов их сцепления с дорогой. Так, например, система VDC в своем алгоритме управления использует велосипедную модель автомобиля с позиционными геометрическими связями и на основе принципа Даламбера производит расчет сил в контакте колес с опорной поверхностью с использованием измеренных кинематических параметров вращения колес и масс машины. Силы, рассчитанные таким методом, сравнивают с заведомо заданными пороговыми значениями, а при обнаружении превышения расчетных сил заданным пороговым значениям система формирует сигнал управления исполнительными механизмами для достижения желаемых параметров движения. Причем фирмы, производящие автоматические системы управления, никоим образом не дают

обоснования о выборе пороговых значения сил или коэффициентов сцепления колеса с опорной поверхностью. Поэтому нельзя однозначно утверждать, что алгоритмы таких систем управления адаптивны к изменяющимся условиям опорной поверхности и режимам движения автопоезда.

Не отрицая совершенство современных систем активной безопасности (САБ), попытаемся привести свой способ повышения их эффективности. Суть предлагаемого нами способа совершенствования алгоритма управления состоит в том, что предлагается использовать кинематические параметры не для расчета сил или коэффициентов сцеплений колес с опорной поверхностью, а с помощью этих параметров осуществлять идентификацию мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда. По существу, предлагается изменить аналитическую базу алгоритма управления. Необходимость такого подхода объясняется тем, что пороговые значения сил или коэффициентов сцеплений колес с опорной поверхностью являются переменными и зависят от характеристик опорной поверхности. Поэтому возникает необходимость поиска универсального критерия формирования сигналов управления, не зависящего от характеристик опорной поверхности.

На наш взгляд, такой критерий для колесных машин, осуществляющих криволинейное движение, существует – это наличие мгновенных центров скоростей звеньев поезда. Опознание криволинейного движения можно осуществить с помощью обнаружения углов поворота управляемых колес.

Как известно, необходимыми условиями чистого качения колес автопоезда (автомобиля) при криволинейном движении является существование мгновенных центров скоростей. Отсутствие мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда означает, что машина совершает прямолинейное движение, которое опознается параметрами углов поворота управля-

емых колес, или движется со скольжением колес.

Полагая, что все кинематические параметры, необходимые для определения мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда, замеряются датчиками, входящими в современные системы управления, рассмотрим схему, позволяющую аналитически представить способ идентификации мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда (рис. 1).

Для определения мгновенного центра скоростей определим угол Δ (см. рис. 1). Точка K представляет собой точку сочленения тягача с полуприцепом (прицепом).

Рассматривая треугольник $KP_c^T C_1$, имеем

$$|KP_c^T| = \sqrt{|P_c^T C_1|^2 + |KC_1|^2 - 2|P_c^T C_1||KC_1|\sin(\eta - \delta_1)}.$$

По теореме синусов имеем

$$\frac{\sin \Delta}{|P_c^T C_1|} = \frac{\cos(\eta - \delta_1)}{|KC_1|}.$$

Откуда

$$\Delta = \arcsin \left[\frac{|P_c^T C_1|}{|KP_c^T|} \right] \cos(\eta - \delta_1),$$

где

$$|P_c^T C_1| = \frac{L_T \cos \delta_2}{\sin(\eta - \delta_1 + \delta_2)};$$

$$|KC_1| = H;$$

$$|KP_c^T| = \sqrt{\frac{L_T^2 \cos^2 \delta_2}{\sin^2(\eta - \delta_1 + \delta_2)} + H^2 - 2 \frac{L_T \cos \delta_2 \sin(\eta - \delta_1)}{\sin(\eta - \delta_1 + \delta_2)}}.$$

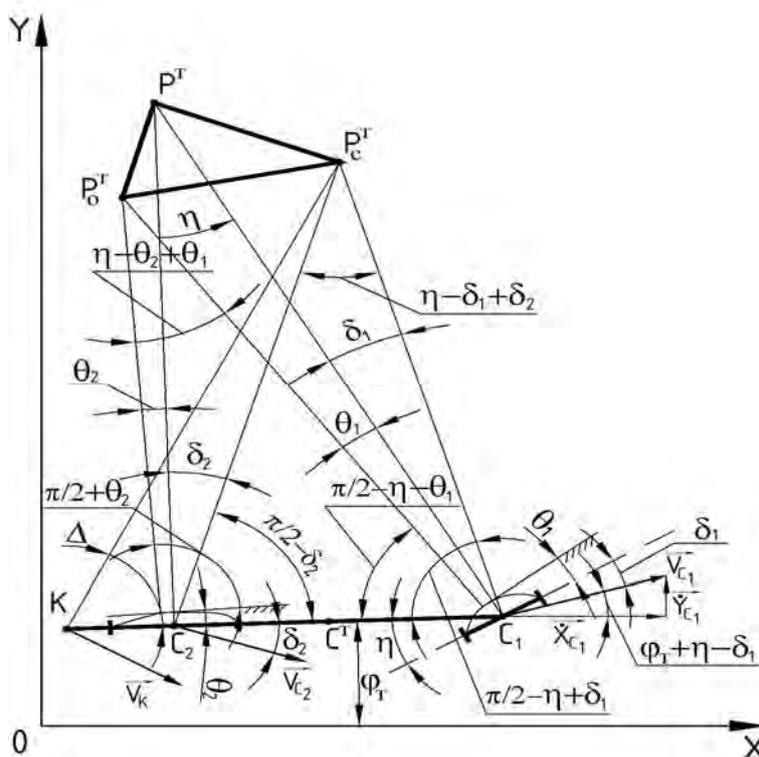


Рис. 1. Схема к идентификации мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда при его криволинейном движении

Таким образом, имеем

$$\Delta = \arcsin[L_T \cos \delta_2 \cos(\eta - \delta_1)] / \left[\sin(\eta - \delta_1 + \delta_2) \sqrt{\frac{L_T^2 \cos^2 \delta_2}{\sin^2(\eta - \delta_1 + \delta_2)} + H^2 - 2 \frac{L_T \cos \delta_2 \sin(\eta - \delta_1)}{\sin(\eta - \delta_1 + \delta_2)}} \right] \quad (1)$$

Центр пятна контакта переднего колеса прицепа, перемещаясь по линии качения, описывает кривую, отличную от кривой геометрического центра колеса вследствие

деформации пневматика. Эту кривую можно охарактеризовать мгновенными центрами перемещения точек: точка сопряжения дышла полуприцепа (прицепа) и точка переднего моста тягача, точка пятна контакта шины заднего моста и точка сопряжения дышла полуприцепа к сцепке тягача *K* (см. рис. 1).

После формальных преобразований аналитическую базу, позволяющую идентификацию мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда, можно представить в виде

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\cos \theta_3}{\cos(\Delta + q_3 - q_4 - \theta_3)} &< \frac{\cos \theta_3^{\text{доп}}}{\cos(\Delta + q_3 - q_4 - \theta_3^{\text{доп}})}; \\ \frac{\cos \left(q_4 - \arctg \frac{\dot{q}_2 - H\dot{q}_3 \cos q_3 - l\dot{q}_4 \cos q_4}{\dot{q}_1 + H\dot{q}_3 \sin q_3 + l\dot{q}_4 \sin q_4} \right)}{\cos \left(\Delta + q_3 - \arctg \frac{\dot{q}_2 - H\dot{q}_3 \cos q_3 - l\dot{q}_4 \cos q_4}{\dot{q}_1 + H\dot{q}_3 \sin q_3 + l\dot{q}_4 \sin q_4} \right)} &< \frac{\cos \delta_3^{\text{доп}}}{\cos(\Delta + q_3 - q_4 + \delta_3^{\text{доп}})}. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Для оценки курсовой устойчивости звеньев «тягач – прицеп» введено допустимое значение угла увода $\delta_3^{\text{доп}}$ (см. рис. 1), при котором исключается проскальзывание пятен контактов колес. В [1, 2] приведены рекомендации по предельным значениям углов увода $\delta_3^{\text{доп}} \approx 10^\circ$.

Таким образом, аналитическая база адаптивного алгоритма управления, обеспечивающая криволинейное движение автопоезда без проскальзывания пятен контактов колес автопоезда, может быть основана на способе идентификации мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда, которые исключают задание множества пороговых значений сил или коэффициентов сцеплений колес с опорной поверхностью.

Эффективность аналитической базы алгоритма может быть повышена путем использования методов механики негोलомных систем, учитывающих при составлении уравнений движения автопоезда также уравнения кинематических связей качения колеса с опорной поверхностью.

Окончательно формальные условия существования мгновенных центров скоростей звеньев автопоезда можно представить в виде

$$\begin{cases} |P^{\Pi} P_c^{\Pi}| < |P^{\Pi} P_c^{\Pi}|^{\text{доп}}; \\ |P^{\Pi} P_o^{\Pi}| < |P^{\Pi} P_o^{\Pi}|^{\text{доп}}; \\ |P_c^{\Pi} P_o^{\Pi}| < |P_c^{\Pi} P_o^{\Pi}|^{\text{доп}}, \end{cases} \quad (3)$$

где $|P^{\Pi} P_c^{\Pi}|^{\text{доп}}$, $|P^{\Pi} P_o^{\Pi}|^{\text{доп}}$, $|P_c^{\Pi} P_o^{\Pi}|^{\text{доп}}$ – значения соответствующих отрезков при допустимых значениях $\delta_3^{\text{доп}}$, $\delta_4^{\text{доп}}$, $\theta_3^{\text{доп}}$, $\theta_4^{\text{доп}}$.

Таким образом, адаптивный к характеристикам опорной поверхности алгоритм формирования сигналов управления движением автопоездов может быть реализован в современных автоматических системах управления с использованием кинематических параметров движения масс автопоездов.

Критерий формирования сигналов управления исполнительными механизмами автопоездов, основанный на идентификации мгновенного центра скоростей звеньев автопоезда при криволинейном движении, существенно повысит эффективность современных систем управления, а тем самым и их безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика колесных машин / И. С. Сазонов [и др.] ; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – 461 с.
2. Ким, В. А. Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа / В. А. Ким. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 05.05.2009

**D. A. Dubovik, I. S. Sazonov,
V. A. Kim, O. V. Bilyk, N. P. Amelchenko**
Algorithm analytic base of lorry motion control

The analysis of operation of automatic motion control systems of wheeled machines shows that all modern automated control systems use information about kinematic parameters of rotary and progressive wheel motion and bodies. On their basis calculations are made and forces of wheel contact with the supporting surface and their coupling coefficients are determined and algorithm carries out control signal formation when discovering exceeding rated forces and coupling coefficients relative to threshold force and coupling coefficient meanings. These algorithms are not adaptable to changing characteristics of the road supporting surface. The paper offers an algorithm analytic base of lorry motion control based on the identification of instantaneous speed centers of lorry links. Algorithm forms a control signal when instantaneous lorry links speed centers are not available at its curvilinear motion.