

УДК 629.113-598.001.66

**И. С. Сазонов, д-р техн. наук, В. А. Ким, д-р техн. наук,  
Л. Г. Красневский, д-р техн. наук, А. Т. Скойбеда, д-р техн. наук,  
А. М. Захарик, канд. техн. наук, О. В. Билык, канд. техн. наук,  
Н. П. Амельченко, канд. техн. наук**

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О СИЛАХ В АЛГОРИТМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЖЕНИЕМ СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА**

В работе на основе результатов теоретических исследований дано обоснование эффективности использования силовых факторов в алгоритмах экстренного торможения автопоездов. Результаты моделирования процесса экстренного торможения седельного автопоезда по криволинейной траектории на ПЭВМ подтвердили эффективность использования информации о силах в узлах связи между звеньями поезда и о тормозных моментах на его колесах в алгоритмах управления торможением автопоездов, включающих складывание звеньев машины при торможении.

Проблема внедрения совершенных систем активной безопасности автотранспортных средств (САБ АТС) напрямую связана с конкурентоспособностью АТС. Мировая практика подтвердила эффективность использования САБ АТС, таких как антиблокировочные системы (АБС), поэтому начиная с 1 октября 1991 г. Директива 71/320 ЕЭС и приложение к Правилам 13 ЕЭК ООН законодательно предписали установку АБС на грузовые автомобили общей массой более 16 т, на прицепы и полуприцепы полной массой более 10 т, автобусы полной массой свыше 12 т.

В последние годы автомобильные фирмы продолжают совершенствовать САБ АТС. Появляются более эффективные системы управления движением АТС, такие как электронные системы стабилизации автомобиля (ESP), системы управления динамикой движения автомобиля и автопоездов, например, VDC и ELB.

Необходимо отметить, что в системе ELB, кроме традиционной информации о кинематических параметрах вращения колес и масс автопоезда, дополнительно используется информация о силах, например, о давлении в тормозном цилиндре, о нагрузках на оси машины. Использование силовой ин-

формации в алгоритме системы ELB позволило обеспечить синхронность срабатывания колесных тормозов всех осей автопоезда.

Анализ текущей информации позволяет утверждать, что ЕЭК ООН в недалеком будущем законодательно примет акт об обязательном использовании ESP, а затем и ELB на автомобилях. Поэтому, чтобы упредить снижение конкурентоспособности отечественной автомобильной продукции, необходимо форсировать научные исследования для создания более эффективных собственных систем управления, отличающихся более низкой стоимостью и патентной чистотой. Тем более это важно в ситуации, когда Республика Беларусь начинает становление производства САБ АТС.

На наш взгляд, поиск создания перспективных САБ АТС кроется в использовании отличных от существующих источников информации – кинематических параметров. То есть новые решения должны быть основаны на использовании более высокоинформативных источников, чем применяемые в современных САБ АТС, которые до сих пор, несмотря на совершенство современных систем управления, традиционно используют кинематические параметры движения масс автомобиля. Са-

мая совершенная современная автоматическая система управления движением колесных машин на основе измерения кинематических параметров движения масс автомобиля производит определение сил в контакте колес с дорогой или же коэффициентов их сцеплений. Так, например, аналитическая база алгоритма VDC, используя измеренные кинематические параметры движения масс АТС на основе велосипедной модели автомобиля и принципа Даламбера, производит расчеты по определению сил в контакте колес с опорной поверхностью или же коэффициентов сцеплений колес. Силы, рассчитанные таким методом, сравнивают с заведомо заданными их пороговыми значениями. При обнаружении превышения расчетных сил заданным пороговым значениям система формирует сигнал управления исполнительными механизмами для достижения желаемых параметров движения АТС. Следовательно, нельзя однозначно утверждать, что алгоритмы таких систем управления адаптивны к изменяющимся характеристикам опорной поверхности и режимам движения автопоезда.

Для создания более совершенного алгоритма управления торможением седельного автопоезда предлагается использовать более высокоинформативные источники – силы в контакте колес машины с опорной поверхностью и в узлах связи между звеньями автопоезда, что позволит создать более эффективные САБ АТС нового поколения.

Для обоснования алгоритма управления на силовом анализе, с известными допущениями, рассматривается математическая модель торможения автопоезда по криволинейной траектории.

Система дифференциальных уравнений курсового движения седельного автопоезда в общем виде может быть представлена в форме уравнения Лагранжа 1-го рода с неопределенными множителями:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k A_{ij} \ddot{q}_i = \sum_{i=1}^n C_i + \sum_{j=1}^l \lambda_j \frac{\partial f_j}{\partial \dot{q}_i},$$

где  $i$  – число обобщенных координат;  $j$  – число уравнений связей качения колес;  $A_{ij}$  – коэффициенты при старших производных обобщенных координат, зависящие от инерционных характеристик поезда, обобщенных координат, обобщенных скоростей и геометрических параметров машины,  $A_{ij} = A_{ij}(m_i, q_i, \dot{q}_i, l_i)$ ;  $C_i$  – некоторая функция от обобщенных координат и обобщенных скоростей,  $C_i = f_i(q_i, \dot{q}_i)$ ;  $\lambda_j$  – неопределенные множители Лагранжа, представляющие собой суть боковые реакции колес со стороны опорной поверхности;  $\frac{\partial f_j}{\partial \dot{q}_i}$  –

градиенты от уравнений связей колес с опорной поверхностью.

Для разработки алгоритма управления торможением седельного автопоезда по криволинейной траектории рассматриваются следующие варианты экстренного торможения:

- торможение поезда только колесами полуприцепа;
- торможение поезда только колесами задней оси тягача;
- торможение поезда только колесами передней оси тягача.

При моделировании торможения поезда варьировались значения коэффициентов сцепления его колес с дорогой и начальные скорости торможения. Кроме того, торможение производилось с различными вариантами блокирования колес осей поезда (рис. 1–3).

При торможении седельного автопоезда колесами оси полуприцепа и с начальными скоростями его торможения от 40 до 80 км/ч по опорной поверхности с коэффициентом сцепления  $\varphi_{\text{сц}} = 0,8$  тягач практически сохранял заданную траекторию движения в конце торможения. Угол отклонения продоль-

ной оси полуприцепа относительно продольной оси тягача в конце торможения не превышал  $12^{\circ}$  (см. рис. 1).

При торможении седельного автопоезда путем блокирования задних колес тягача и с начальными скоростями торможения от 40 до 80 км/ч по опорной поверхности с коэффициентом сце-

пления  $\varphi_{сц} = 0,8$  тягач не сохранял заданную траекторию движения в конце торможения (см. рис. 2). Угол отклонения продольной оси полуприцепа относительно продольной оси тягача превышал  $90^{\circ}$ . В то же время сам полуприцеп сохранял заданную траекторию движения в конце торможения.

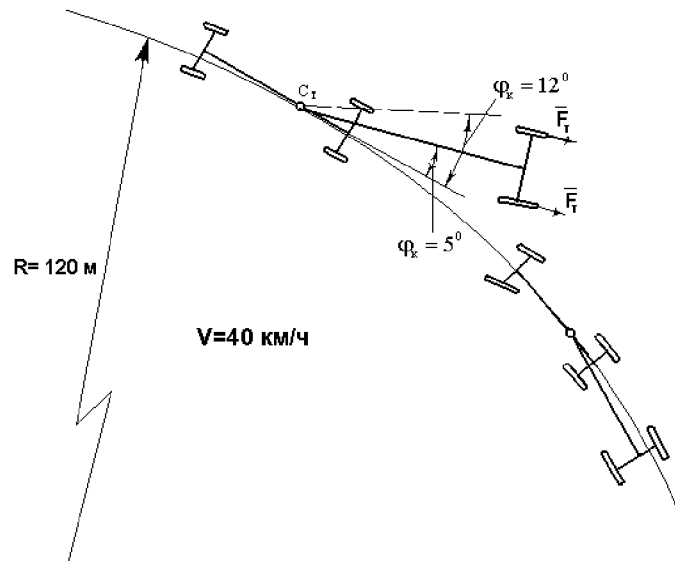


Рис. 1. Схематичное положение звеньев автопоезда при его торможении колесами оси полуприцепа

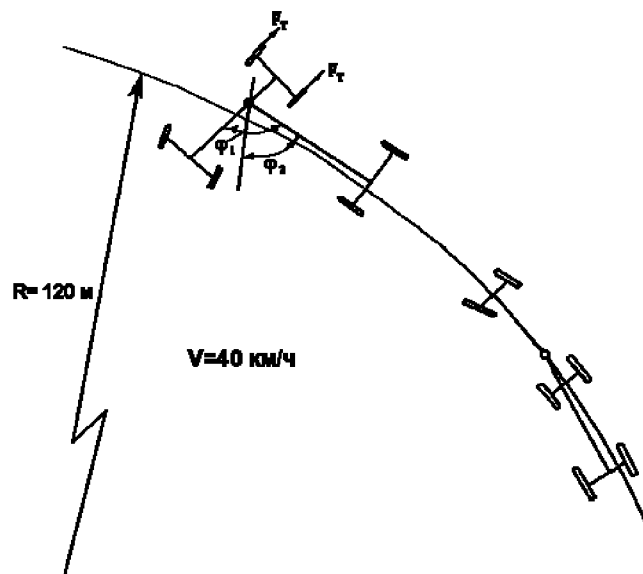


Рис. 2. Схематичное положение звеньев автопоезда при его торможении колесами задней оси тягача

При торможении седельного автопоезда путем блокирования передних колес тягача и с начальными скоростями торможения от 40 до 80 км/ч по опорной поверхности с коэффициентом сцепления  $\varphi_{\text{сц}} = 0,8$  ни тягач, ни полуприцеп не сохраняли заданную траекторию движения в конце торможения.

Заметное увеличение изменения разности угловой скорости между продольными осями тягача и полуприцепа происходило в начале торможения. При этом при различных начальных скоростях торможения происходил интенсивный «вынос тягача» от заданной траектории, а разворот полуприцепа происходил к направлению кривизны заданной траектории движения (см. рис. 3). Анализ результатов процесса торможе-

ния седельного автопоезда на ПЭВМ показал, что для создания алгоритма управления, исключающего складывание звеньев автопоезда при его экстренном торможении по криволинейной траектории, использование информации о силах, действующих на шкворень сцепного устройства поезда, и тормозных моментах на колесах представляется более эффективным, чем применение кинематических параметров. Алгоритм управления торможением, основанный на информации о силах и моментах, будет учитывать условия сцепления колес с опорной поверхностью и силы взаимодействия между звеньями поезда и тем самым обеспечит адаптивность системы управления к изменяющимся условиям сцепления.

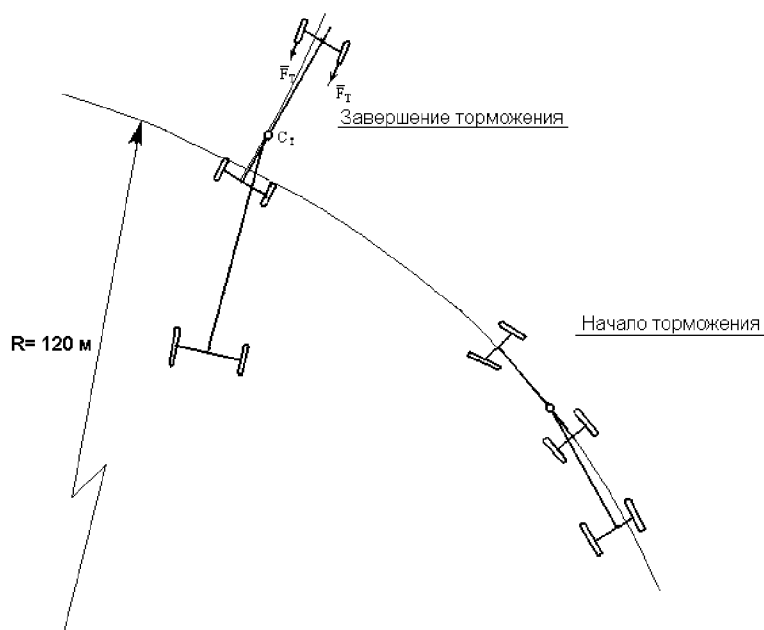


Рис. 3. Схематичное положение звеньев автопоезда при торможении с блокированием колес передней оси тягача

Из анализа результатов исследований экстренного торможения седельного автопоезда можно сделать вывод о том, что алгоритмы управления торможением, основанные на анализе информации о силах взаимодействия в узлах связи между тягачом и полуприцепом, о

тормозных моментах на колесах автопоезда, позволят создать более эффективные САБ АТС. При помощи силовой информации возможно создание алгоритмов управления торможением АТС, исключающих складывание его звеньев. Данное преимущество нового алгорит-

ма будет явным преимуществом перед алгоритмами современных систем управления, т. к. ни один алгоритм современных систем управления не исключает складывание звеньев поезда при экстренном торможении на криволинейной траектории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сазонов, И. С.** Динамика колесных машин / И. С. Сазонов, П. А. Амельченко, В. А. Ким ; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – 461 с.
2. **Пат. 3439 (BY), МКИ<sup>6</sup> В 60Т 8/52.** Способ управления антиблокировочной системой торможения транспортного средства / В. П. Лобах [и др.]. – № 960342 ; заявл. 03.07.96 ; опубл. 30.06.00. – 5 с. : ил.
3. **Пат. 2103191 (RU), МКИ<sup>6</sup> В 60 Т 8/52.** Способ управления антиблокировочной системой торможения транспортного средства / В. П. Лобах [и др.]. – № 96119735/11 ; заявл. 27.09.96 ; опубл. 27.01.98, Бюл. № 3. – 4 с. : ил.
4. **Пат. 2125517 (RU), МКИ<sup>6</sup> В 60 К 41/ 00, В 60 Т 1/02.** Способ регулирования режимами движения мобильных машин / В. А. Ким. – № 97119963/28 ; заявл. 03.12.97 ; опубл. 27.01.99, Бюл. № 3. – 18 с. : ил.

Белорусско-Российский университет  
Материалы поступили 16.06.2009

**I. S. Sazonov, V. A. Kim, L. G. Krasnevsky,  
A. T. Skojbeda, A. M. Zaharik, O. V. Bilyk,  
N. P. Amelchenko**  
**Efficiency of use of the information on forces  
in algorithms of control of saddle-type articulated  
lorry braking**

In the article, on the basis of the results of theoretical researches, the substantiation about efficiency of use of force factors in algorithms of emergency braking of the articulated lorry is given. The results of modelling of process of emergency braking of articulated lorry on a curvilinear trajectory on PC have confirmed efficiency of use of the information on forces in communication centres between links of a lorry and the brake moments on its wheels in algorithms of braking of the lorry convoys, excluding folding of the links of the car at braking.