

*Шаршембиев Ж.С., Калманбетова А.Ш.***ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ГОРНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ***J.S. Sharshembiev, A.Sh. Kalmanbetova***FEATURES OF OPERATION OF THE BRAKING SYSTEMS OF WHEEL MACHINES ON MOUNTAIN ROADS**

УДК: 629.4.032:625.711.812

*В статье изложены особенности работы тормозных систем колесных машин на горных автомобильных дорогах. Подробно описан процесс блокировки передних и задних колес при торможении на спусках горных дорог. Приведены принципы работы современных средств регулирования тормозных сил на колесах.'*

*Предложены выражения для определения скорости движения колесных машин на спуске горных дорог.*

*In the article the features of operation of the braking systems of wheel machines on mountain roads. Describe in detail the process of locking the front and rear wheels when braking on downhill mountain roads. Principles of work of modern means of regulation of the braking force on wheels.*

*Offered the expression for definition of speed of movement of the wheels of the cars on the downhill mountain roads.*

С развитием и ростом объема грузовых автомобильных перевозок внутри Кыргызской Республики повышается спрос к колесным машинам большой грузоподъемности. При этом требуется значительное повышение безопасности движения, которая во многом зависит от тормозных качеств колесных машин эксплуатируемых в горных условиях.

Работа колесных машин в горной местности, как известно, сопровождается специфическими особенностями, которые предъявляют его элементам своеобразные требования и затрудняют условия их работы.

Горные автомобильные дороги характеризуется переменностью продольного профиля дорог и повышенной извилистостью плана трассы, что утяжеляет условия работы колесных машин, усложняет его эксплуатацию и затрудняет работу водителей. Движение по горным дорогам, особенно на затяжных спусках, влечет за собой работу двигателей с использованием его в качестве тормоза.

Согласно исследованиям [1] на горных дорогах Кыргызстана извилистость дороги составляют в среднем 58%, а на отдельных участках даже 73% от общей длины маршрута. Уменьшение видимости на крутых поворотах высокогорных дорог приводит к снижению средней скорости движения колесной машины. Кроме того, движение колесной машины на крутых поворотах горных дорог, особенно при спусках, сопровождается значительным боковым уводом колес, что заметно ухудшает ее управляемость и устойчивость, вызывает повышенный износ протектора шины, увеличивает общие потери на сопротивление качению. Результаты статистического анализа дорожно-транспортных происшествий по горным районам Кыргызстана за последние годы показали, что наибольшее количество автоаварий совершаются именно на извилистых участках горных дорог. Статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) показывает, что около 20% ДТП случаются вследствие потери устойчивости колесных машин при торможении.

На высокогорных дорогах Кыргызстана преобладают подъемы и спуски, что вызывает необходимость длительного использования низших передач в коробке переменных передач из-за недостаточности развиваемой силы тяги на высших передачах. На крутых и затяжных спусках низшие передачи пользуются для повышения тормозной эффективности и безопасности движения. Частое и длительное торможение колесных машин неизбежно на затяжных спусках и многочисленных крутых поворотах горной автомобильной дороги. Эффективная работа и безопасность движения колесных машин в горных условиях возможна только при наличии тормозных систем высокой энергоемкости и надежности.

Установлено, что при длительном и интенсивном торможении у грузовых автомобилей тормозные накладки колодок нагреваются до 300-350°C, тормозные барабаны до 280-300°C [2]. Как показывает опыт эксплуатации колесных машин на горных дорогах, использование двигателя и агрегатов трансмиссии для торможения не может существенно разгрузить тормозную систему.

Неизбежным следствием повышения температуры является уменьшение коэффициента трения и резкое увеличение интенсивности износа тормозных накладок. Нередко встречаются случаи возникновения деформации у барабана, колодок, а из фрикционного материала выделяется пропитывающий элемент. В горных условиях срок службы тормозных накладок сокращается в 7-12 раз по сравнению с износом в равнинных условиях. Экспериментально установлено что для охлаждения тормозных механизмов до температуры 80°C после длительного спуска при скорости движения 50 км/ч необходимый путь составляет примерно 20 км [4].

Наибольшая опасность отказа гидравлических элементов тормозного привода связана с перегревом тормозных барабанов, рабочих тормозных цилиндров и тормозной жидкости. В то же время в практически применяемых тормозных жидкостях уже при температуре свыше 90°C начинается выделение летучих компонентов, что приводит к образованию паровых пробок в системе гидропривода.

В гидравлическом, гидровакуумном и пневмогидравлическом приводах разрежение воздуха от высотных условий может вызвать снижение температуры кипения и уменьшение растворимости в тормозной жидкости,

что также будет способствовать образованию паровых пробок и снижению эффективности и надежности тормозного привода.

Мощность современных тормозных систем колесных машин такова, что даже на самой хорошей дороге водитель может заблокировать колеса, а последствием этого может быть:

- потеря траектории устойчивости в случае блокирования, передних колес. Передние колеса теряют возможность передавать на колесную машину боковые реакции и, следовательно, она не может поворачивать и движется только прямо, несмотря на поворот рулевого колеса водителем. При блокировании колес передней оси может возникнуть ее занос со скоростью  $v_j$  (рис. 1 а), в результате мост начинает двигаться вокруг центра О

со скоростью  $v_p = \sqrt{v_a^2 + v_3^2}$ . Составляющая  $F_y$  и возникающая при этом центробежные силы  $F_u$  гасят занос. Практически траекторная устойчивость восстанавливается при растормаживании колесной машины;

- потеря курсовой устойчивости в случае блокирования задних колес. Невозможность реализовать достаточные боковые реакции приводит к заносу задней оси (рис. 1, б). Этот вид заноса, как видно из рисунка, усугубляется действием силы  $P_v$  и прогрессивно нарастает.

Опытные водители, оттормаживая и одновременно маневрированием с помощью рулевого колеса могут погасить занос задней оси. Однако, многочисленные опыты показывают, что такой профессиональный подход дают положительный эффект только на начальном этапе заноса.

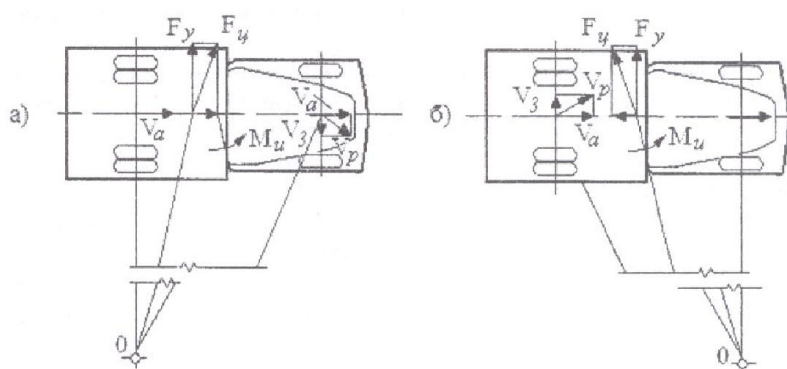


Рис. 1. Схема заноса мостов колесной машины: а - занос переднего моста, б - занос заднего моста

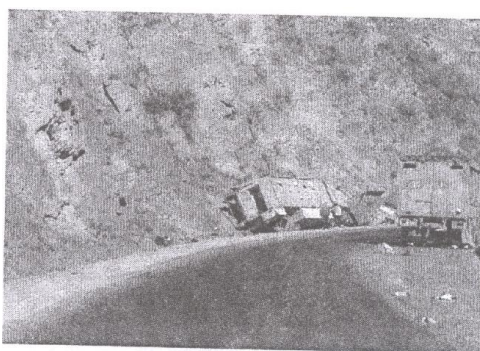


Рис.2. Характерный вид ДТП: наезд на препятствие при спуске горной дороги из-за потери траектории устойчивости в случае блокирования передних колес. Участок горной автомобильной дороги Бишкек-Ош (перевал Туя-Ашуу, спуск)

Если колесная машина успела отклониться от прямолинейного направления на угол около  $20^\circ$ , занос уже не может быть прекращен даже полным растормаживанием и энергичным маневром с помощью рулевого колеса.

Особым случаем является блокирование и передних, и задних колес. Испытания, проведенные учеными на разных автомобилях [5], показали, что при одновременном блокировании или опережающем блокировании передних колес автомобиль, как правило, не терял курсовую устойчивость. Если же задние колеса заблокировались раньше передних на 0,5 с и более, то происходил занос автомобиля. При блокировании одного заднего колеса заноса не наступало до блокирования другого.

Очень актуальным вопросом является обеспечение достаточной тормозной эффективности и хорошей устойчивости движения при спусках горных дорог с регулированием тормозного момента с помощью изменения давления в тормозном приводе.

Рассмотрим возможные пути осуществления такого регулирования. В целях упрощения вопроса ограничимся прямолинейным движением колесной машины на спуске горной дороги. Надо сказать, что фактически прямолинейная траектория представляет собой последовательную совокупность сопряженных криволинейных участков, кроме того, на колесо постоянно действуют боковые силы, вызванные неровностями дорожного покрытия, воздушными потоками, биением колес и т.п. [4]. При торможении за счет неравномерности

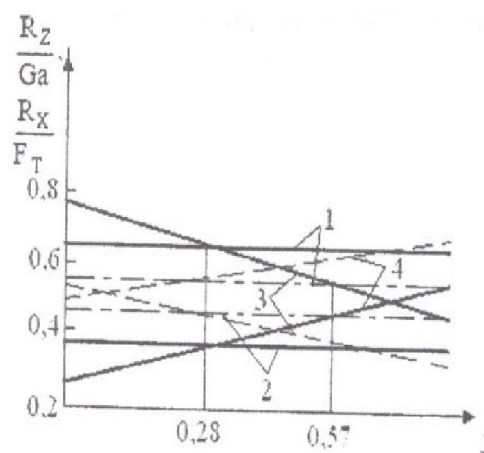
действия тормозных механизмов на колесную машину начинает действовать поворачивающий момент, который в пределах запаса по сцеплению компенсируется действием боковых реакций дороги. Таким образом, даже при внешне прямолинейном движении колесной машины торможение может привести к потере устойчивости.

Первый и самый простой путь регулирования заключается в изменении водителем усилия на тормозной педали исходя из субъективной оценки сцепления колес с дорогой. Опытные водители при торможении на скользких дорогах иногда добиваются успеха, применяя импульсное торможение, т.е. быстро блокируя и разблокируя колеса. Способ этот ненадежен, так как слишком многое зависит от квалификации и внимания водителя, быстроты изменения внешних условий и т.д.

Автомобильные производители для повышения устойчивости и эффективности торможения тормозные механизмы задних колес грузовых автомобилей делают мощнее, так как они обычно несут большую нормальную нагрузку. Недостатки этого способа очевидны: он эффективен только при том коэффициенте сцепления, той полезной нагрузке и тех координатах центра масс, на которые рассчитывали конструкторы.

На рис. 3 пунктиром показаны отношения  $\frac{R_z}{G_a}$  для того же автомобиля в снаряженном состоянии. Видно,

что в этом случае во всем диапазоне коэффициента сцепления задние колеса будут блокироваться первыми.



**Рис.3.** Расчетное распределение тормозных сил и нормальных нагрузок по осям грузового автомобиля: 1-тормозная сила на заднем мосту; 2- тормозная сила на переднем мосту; 3- масса приходящаяся на задний мост; 4- масса, приходящаяся на передний мост

————— — полная масса,  
 - - - - - — снаряженная масса

Таким образом, можно констатировать, что выбор нужной величины тормозных сил путем регулирования давления в приводе водителем малоэффективен из-за изменения нормальных осевых нагрузок. Очевидно, что этот недостаток можно преодолеть, меняя в соответствии с изменением условий торможения и распределением тормозных сил. Этот способ оказался исключительно перспективным и позволил реализовать второй путь повышения устойчивости колесной машины при торможении: автоматическое регулирование тормозных сил колесной машины.

Современными средствами такого регулирования являются специальные приборы тормозного привода - регуляторы тормозных сил и сложные противоблокировочные системы (ABS). Для того чтобы предотвратить уменьшение эффективности торможения вследствие недоиспользования сцепной массы и обеспечить одновременное блокирование передних и задних колес, необходимо использовать регуляторов тормозных сил. Эти приборы устанавливаются обычно в заднем контуре тормозного привода и при нарастании давления до заданной величины изменяют коэффициент передачи заднего контура привода, в результате чего сохранить опережающее блокирование передних колес. Регуляторы тормозных сил в значительной степени влияют на эффективность торможения и устойчивость колесной машины и поэтому требуют особой внимательности в эксплуатации. Неточность установки регулятора тормозных сил может привести к дорожно-транспортному происшествию.

Большое разнообразие наблюдается в рекомендациях по установлению ограничений скоростей движения колесных машин на спусках горных дорог. Анализ существующих работ показывает, что все еще недостаточно исследованы вопросы регламентации скоростей движения колесных машин на спуске горных дорог и требуется дальнейшее изучение данного вопроса.

Рассмотрим вопросы расчета скоростей движения колесных машин на спуске горных дорог. В основе расчета лежит дифференциальное уравнение движения автомобиля следующего вида:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{\delta G} (G \cdot i - G f_0 - C) + \frac{g}{\delta G} (KF + 0,00065 f_0 G + D) V^2 \quad (1)$$

Таблица 1

Коэффициенты уравнения С и D для различных режимов движения приведены в табл. 1.

Режимы движения	Значения коэффициентов	
	С	D
Тяговый режим	-а	в
Накат	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
Торможение колесными тормозами	Gγ <sub>T</sub> + A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
Торможение двигателем	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
Совместное торможение двигателем и колесными тормозами	Gγ <sub>T</sub> + A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
Торможение тормозом-замедлителем	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>
Совместное торможение тормозом-замедлителем и колесными тормозами	Gγ <sub>T</sub> + A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>

Остальные обозначения соответствует принятым в теории автомобиля. A<sub>1</sub>; B<sub>1</sub>; A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>; A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub> - соответственно, постоянные коэффициенты, полученные аппроксимацией кривых F<sub>xx</sub>- f(V) (сила сопротивления трансмиссии), F<sub>TS</sub>-f(V) (сила торможения двигателем), F<sub>T3</sub>-f(V) (сила торможения тормозом- замедлителем).

Для численного решения выражение (1) приводим к следующему виду:

$$V \frac{dV}{dS} = \pm n_1 - n_2 V^2 + n_3 i \left( S_1 \frac{S}{R} \right) - n_4 \gamma_T (S) \quad (2)$$

$n_1, n_2, n_3, n_4$  - коэффициенты, получаемые из соответствующих уравнений, в зависимости от режима движения. Знак "+" перед первым членом относится к тяговому режиму, а "-" - к остальным.

Путем решения выражения (2), для соответствующего режима движения, после преобразований и подстановок находятся выражения для определения скорости движения колесных машин на спуске горных дорог:

для участков с постоянным продольным уклоном

$$V = \sqrt{(V_0^2 - K_0) e^{-2K_3 S}} \quad (3)$$

для вертикальных кривых

$$V = \sqrt{(V_0^2 - K_1) e^{-2K_3 S} \pm K_2 S + K_1} \quad (4)$$

$$K_0 = \frac{G(i - f_0 - c)}{KF + 0,00065 f_0 G + D} \quad K_3 = \frac{g}{\delta G} (KF + 0,00065 f_0 G + D)$$

$$\text{где } K_2 = \frac{G}{R(KF + 0,00065 f_0 G + D)} \quad K_1 = K_0 \mp \frac{K_2}{2K_3}$$

Из уравнений движения и выражений (3) и (4) получаем выражения для определения времени и пути движения.

Предлагаемые выражения представляют возможность расчетов параметров движения колесных машин на спуске горных дорог для различных его условий и режимов, обеспечивают построение, с достаточной точностью, эпюр скоростей движения колесных машин на спуске.

Вопрос построения эпюр скоростей движения колесных машин на спуске горных дорог непосредственно связан с вопросом установления соответствующих ограничений скорости движения. При установлении ограничений скорости движения колесных машин необходимо принять принцип равенства тормозного пути колесной машины, движущегося на спуске горных дорог, тормозному пути колесной машины, движущегося по горизонтальной дороге. Подставляя значение тормозного пути в выражение (3.3) и решая его для условия  $V = 0$ ;  $V_0 = V_{\text{ор}}$ ;  $S = S_T$  получаем выражение для определения  $V_{\text{ор}}$  для участков с постоянным продольным уклоном

$$V_{огр} = \sqrt{K_0(1 - e^{-2K_3 S_T})}$$

Расчеты  $V_{огр}$  по выражению (5) для условия движения на прямой передаче и  $\gamma_T = 0,2$  для различных режимов движения показали, что при установлении ограничений скорости движения автомобилей на спуске горных дорог целесообразно исходить из режима совместного торможения, обеспечивающего наиболее высокие значения ограничений скорости.

**Список литературы:**

- 1 Нусупов Э.С. Эксплуатационная эффективность автотранспортных средств в горных условиях. ИФМГП АН Кирг. ССР, г. Фрунзе, Илим, 1988, 168с.
- 2 Ревин А.А. Повышение эффективности, устойчивости и управляемости при торможении автотранспортных средств. Автореф. Дисс... док.тех.наук.-Волгоград, 1984-41с.
- 3 Справочная энциклопедия дорожника. II том. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева, Москва, 2004.
- 4 Гредескул А.Б. Исследование динамики торможения автомобиля. Автореф. дисс. докт. техн.наук. Харьков, 1963. -42с.
- 5 Гуревич Л.В., Меламуд Р. А. Тормозное управление автомобиля.-М., Транспорт, 1978.-152с.

**Рецензент: д.т.н., профессор Маткеримов Т.Ы.**