

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

*Д-р техн. наук А.П. КУЛЯШОВ, канд. техн. наук Ю. И. МОЛЕВ, инж. Д.А. ПРОШИН*

*Выявлено, что при движении автомобиля по снегу на дороге, необходимо учитывать толщину снежного покрова, поскольку от нее зависят как длина тормозного пути, так и замедление автомобиля.*

*It is determined, that when driving on a snow covered road the snow thickness should be considered since brake path length and car deceleration both depend on it.*

Одним из основных показателей, характеризующих управляемость транспортных средств на дорогах, является коэффициент сцепления колеса с дорогой, от величины которого напрямую зависят такие параметры, как длина тормозного пути и радиус поворота [1, 2]. При этом до настоящего времени во всех научных работах, посвященных данному процессу, отсутствует взаимосвязь между высотой снежного покрова и коэффициентом сцепления колеса с дорогой.

Экспериментальная проверка параметров маневрирования транспортных средств на дорогах выявила, что, кроме повышения эффективности торможения от скорости на снежном покрове с определенной толщиной снега, наблюдалось снижение силы сопротивления перемещению заблокированного колеса. Данный эффект был описан в [3]. Наличие на графиках зависимостей «высота снежного покрова — сцепление колеса с дорогой» позволило сделать вывод о том, что, начиная с определенной толщины снежного покрова, объем сдвигаемого снега становится постоянным. Такой процесс возможен, если поверхность сдвига снега не будет совпадать с поверхностью колеса. Экспериментальными исследованиями было установлено, что минимальный коэффициент сцепления равняется 0,12, т. е. критической толщиной снежного покрова, при которой происходит резкое снижение сил сопротивления перемещению заблокированного колеса, следует признать сумму величин погружения колеса в снег и расстояние между поверхностью сдвига и поверхностью колеса [1]

$$h_{кр} = 0,12B_{кол} + \frac{P_{шин}}{B_{кол} + 0,0287(h_{кр} + 0,12B_{кол})^{1,5}}, \quad (1)$$

$$\frac{P_{шин} + 1 \cdot 10^6}{(h_{кр} + 0,12B_{кол})(0,5B_{кол} + 0,0287(h_{кр} + 0,12B_{кол})^{1,5})}$$

где  $B_{кол}$  — ширина контакта колеса с дорогой;  $P_{шин}$  — давление воздуха в шине.

В графическом виде данная зависимость показана на рис. 1.

Несколько иная картина наблюдается при торможении автомобиля, оборудованного АБС. Наличие постоянно вращающегося колеса приводит к отклонению силы взаимодействия колеса со снегом на угол, равный

$$\tilde{h} = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{\omega r_k \sin \varpi}{\sqrt{(v_d - \omega r_k \cos \varpi)^2 + (\omega r_k \sin \varpi)^2}}, \quad (2)$$

где  $r_k$  — радиус качения колеса,  $\omega$  — угловая скорость вращения колеса,  $v_d$  — скорость движения автомобиля,  $\varpi$  — угол направления действия вращательной скорости колеса в зоне его контакта со снегом:

$$\varpi = 0,5 \left( \pi - \arccos \left( 1 - \frac{h_{\text{кр}}}{r_{\text{к}}} \right) \right). \quad (3)$$

С учетом того, что  $v_{\text{д}} = (1 - \delta)\omega r$ , где  $\delta$  — коэффициент буксования, уравнение (1) примет вид

$$h = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{(1 - \delta) \sin \varpi}{\sqrt{(1 - (1 - \delta) \cos \varpi)^2 + ((1 - \delta) \sin \varpi)^2}}. \quad (2)$$

Такой характер движения колеса приводит к тому, что появляются вертикальные и горизонтальные составляющие силы сопротивления перемещению колеса. Причем, если горизонтальное сопротивление, определяемое скоростью движения транспортного средства, плотностью и толщиной снежного покрова, остается неизменным, то дополнительное сопротивление уплотнению снежного покрова приводит к уменьшению глубины погружения колеса вследствие уменьшения удельного давления на величину  $P_0 \sin h$ .

Кроме того, в результате изменения направления действия скорости деформации снега часть снега перед колесом не уплотняется, а сжимается. Распределение уплотненного и сдвинутого снега по массе может быть определено при помощи уравнения:

$$\frac{v_{\text{д}} \sin h}{v_{\text{д}} \cos h} = \operatorname{tg} h = \frac{M_{\text{с}}^{\text{у}}}{M_{\text{с}}^{\text{с}}}. \quad (4)$$

Исходя из того, что плотность сдвинутого снега  $\rho_{\text{с}}$  равняется 300—330 кг/м<sup>3</sup>, а уплотненного  $\rho_{\text{у}}$  400—600 кг/м<sup>3</sup> уравнение (1) может быть переписано в виде

$$h_{\text{кр}} = 0,12B_{\text{кол}} + \frac{P_{\text{шши}}}{\frac{B_{\text{кол}} + 0,0287(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})^{1,5}}{(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})(0,5B_{\text{кол}} + 0,0287(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})^{1,5})} P_{\text{шши}} + 1 \cdot 10^6} - \frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{у}}} h_{\text{кр}} \operatorname{tg} h,$$

или

$$h_{\text{кр}} = \frac{0,12B_{\text{кол}} + \frac{P_{\text{шши}}}{\frac{B_{\text{кол}} + 0,0287(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})^{1,5}}{(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})(0,5B_{\text{кол}} + 0,0287(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})^{1,5})} P_{\text{шши}} + 1 \cdot 10^6}}{1 + \frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{у}}} \operatorname{tg} h}. \quad (6)$$

Следует отметить, что (6) справедливо для гладкого колеса, не оснащенного грунтозацепами. При взаимодействии со снегом колеса, оснащенного грунтозацепами часть снега, заключенного в пространство между грунтозацепами, выносится из зоны контакта. Данная величина может определиться из уравнения

$$h_{\text{кр}} = \frac{0,12B_{\text{кол}} + \frac{P_{\text{шши}}}{\frac{B_{\text{кол}} + 0,0287(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})^{1,5}}{(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})(0,5B_{\text{кол}} + 0,0287(h_{\text{кр}} + 0,12B_{\text{кол}})^{1,5})} P_{\text{шши}} + 1 \cdot 10^6}}{1 + \frac{\rho' (1 - \frac{\delta k_7}{h_{\text{г}}})}{\rho_{\text{у}}} \operatorname{tg} h} + h_{\text{г}}. \quad (7)$$



Решение уравнений (1), (6), (7) показано на рис. 1.

Изменение замедления автомобилей, оснащенных колесами 175/70 R 13, в зависимости от толщины снежного покрова и начальной скорости движения, показано на рис. 2. Полученные данные позволили более точно рассчитать траекторию контраварийных маневров.

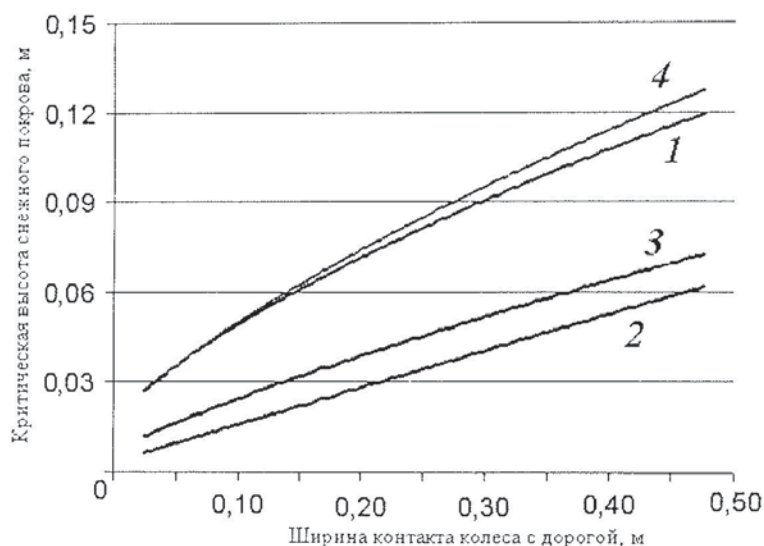


Рис. 1. Изменение критической толщины снежного покрова от ширины контакта колеса с дорогой; 1, 4 — для случаев торможения «юзом»; 2, 3 — для торможения с АБС; 1, 2 — на колесах без протектора; 3, 4 — на колесах с высотой протектора 6 мм

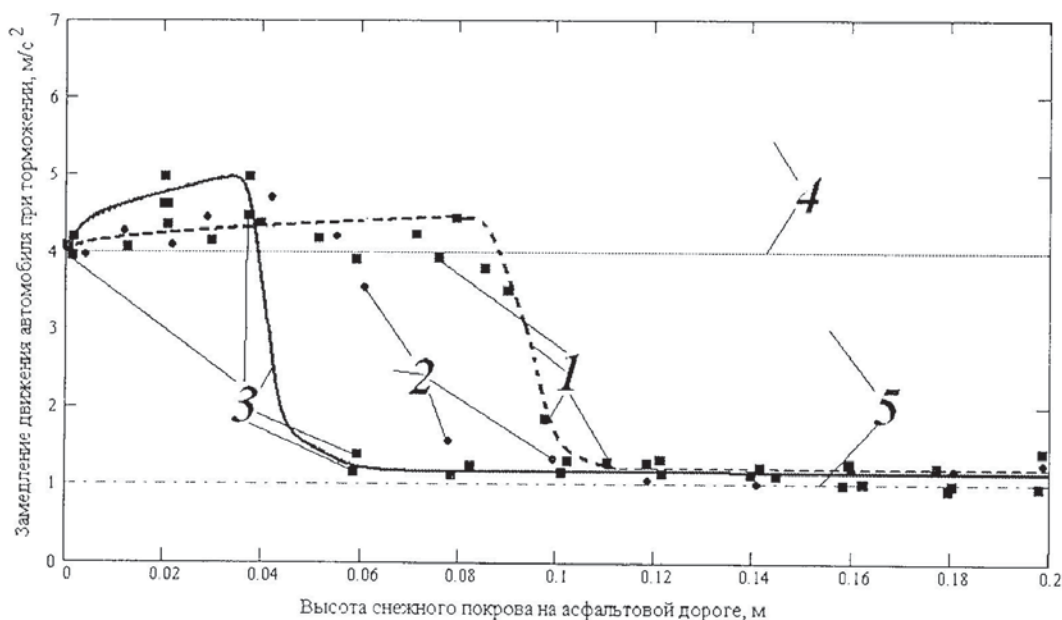


Рис. 2. Изменение теоретических и расчетных замедлений движения автомобилей в зависимости от толщины снежного покрова; 1 — для автомобиля без АБС на зимних шинах, при движении с начальной скоростью 1 м/с (3,6 км/ч); 2 — для автомобиля, оснащенного АБС на зимних шинах при движении с начальной скоростью 11 м/с (40 км/ч); 3 — для автомобиля, оснащенного АБС на летних шинах, при движении с начальной скоростью 25 м/с (90 км/ч); 4 — рекомендуемый расчетный диапазон замедлений на мокром асфальте [2, 4]; 5 — рекомендуемый расчетный диапазон замедлений на заснеженной дороге [2, 4]

Отличие траекторий движения транспортных средств для начальной скорости движения 60 км/ч в зависимости от толщины снежного покрова показано на рис. 3.

Полученные данные были проверены на автомобиле RENAULT LOGAN при движении по снежной целине с глубиной снежного покрова до 0,2 м, лежащего на асфальтовой поверхности. Величина эффективного замедления автомобиля была получена с использованием прибора «ЭФФЕКТ». Траектория движения замерялась при помощи рулетки.

Результаты исследования позволили сделать вывод о необходимости учета слоя снежного покрова на дороге. При этом разница в слое снега в 0,02 м может привести к тому, что величина замедления автомобиля при торможении может измениться более чем в 5 раз, длина тормозного пути — в 3 раза.

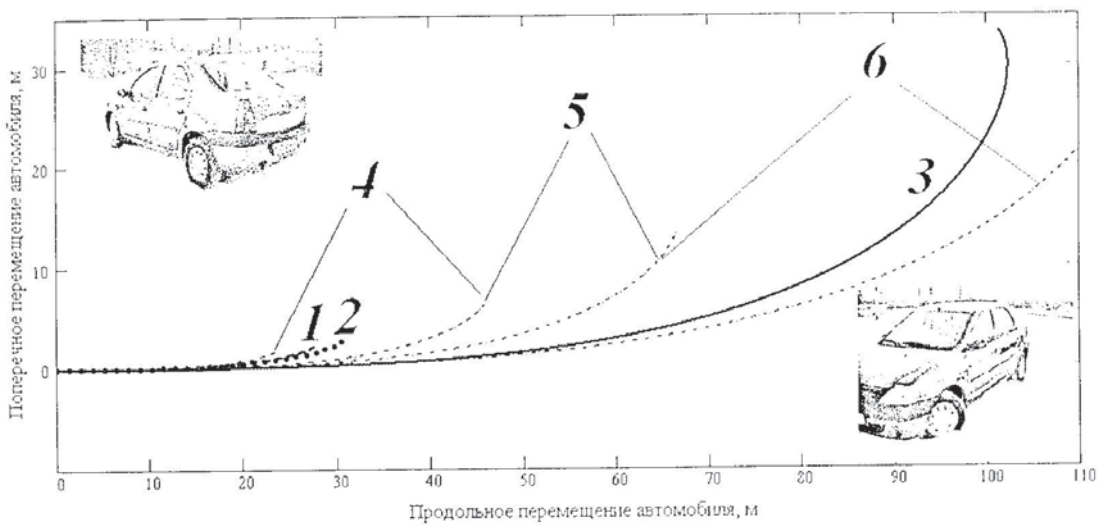


Рис. 3. Расчетная траектория движения транспортного средства, оснащенного ABS при выполнении комбинированного маневра «поворот с торможением» для высоты снежного покрова: 1 — 0,05 м; 2 — 0,02 м; 3 — 0,08 м; граничные данные для маневров: 4 — на мокром асфальте; 5 — на заснеженной дороге; 6 — на обледенелой дороге

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляков В. В., Молчев Ю. И. Влияние подстилающего слоя поверхности движения на величину экскавационной осадки движителя. — Вестник МГТУ им. Баумана // *Машиностроение* 2007. — № 1. — С. 72—78.
2. Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. — М.: Транспорт, 1989.
3. Справочная энциклопедия дорожника. Том 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог / А.П. Васильев, Э.В. Дингелс, М.С. Коганзон и др.; под ред. А.П. Васильева. — М.: Инфор-мавтодор, 2004. — 507с.
4. Суворов Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действия водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП: Учебное пособие. — М.: Изд-во «Экзамен», 2003.