

## ВЛИЯНИЕ БУЛЬДОЗЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА НАГРУЖЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИИ

*Инж. В.С. МАКАРОВ, препод. К.О. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук, доц. А.Н. БЛОХИН,  
д-р. техн. наук, проф. В.В. БЕЛЯКОВ*

*Рассматривается влияние бульдозерных эффектов на сопротивление движения и нагрузочный режим работы трансмиссии колесных машин*

При криволинейном движении машины с внешней стороны колеса относительно центра поворота возникают бульдозерные холмы вытесненного материала полотна пути (рис. 1).

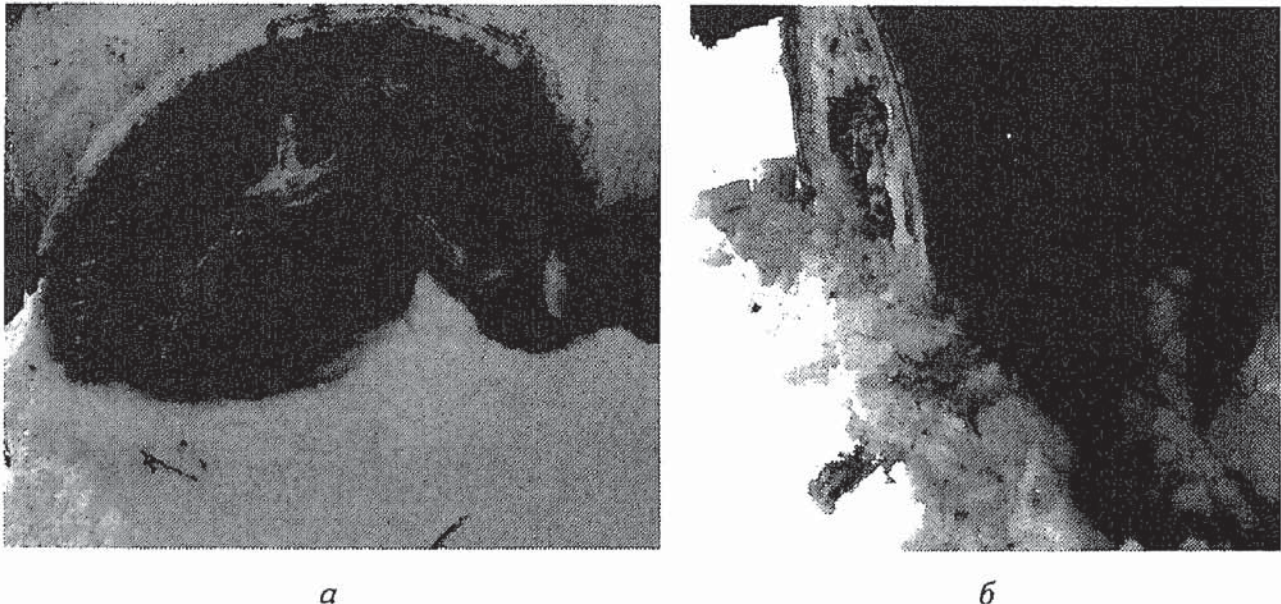


Рис. 1 Бульдозерные эффекты: а – при криволинейном движении автомобиля ВАЗ-2121, б – при криволинейном движении автомобиля КАМАЗ-4310

Одним из возможных способов формирования колеи для машины с колесной формулой 4x4 может быть схема представленная на рис. 2. Сплошным линиям соответствуют границы уплотняемого опорного основания после прохождения колеса, пунктирным – его лобовой части.

При нахождении сопротивления движению от бульдозерных эффектов с боковой стороны колеса полагаем, что качение колеса осуществляется по прямой в каждый момент времени, так как угол обхвата колеса при повороте достаточно мал. Формирование клина сжимаемого снега показано на рис. 3.

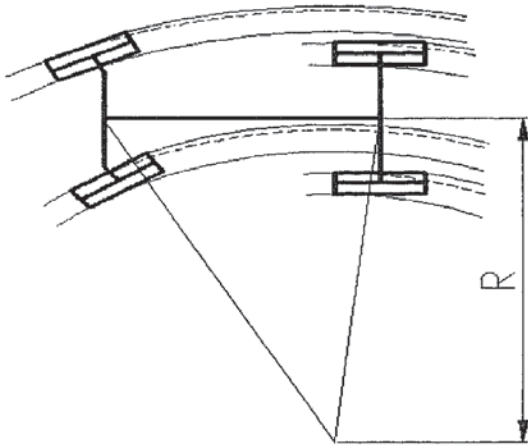


Рис. 2 Формирование колеи

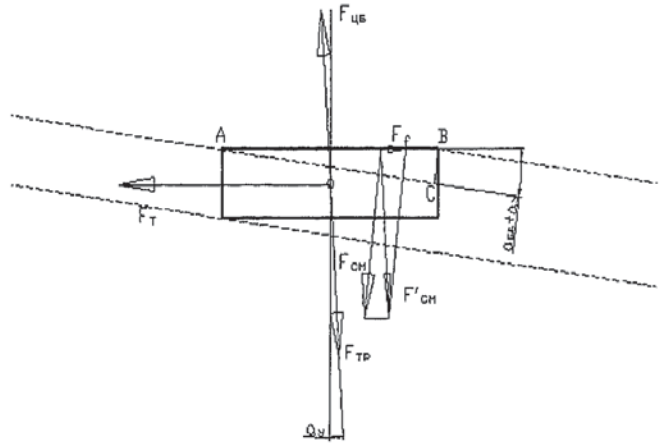
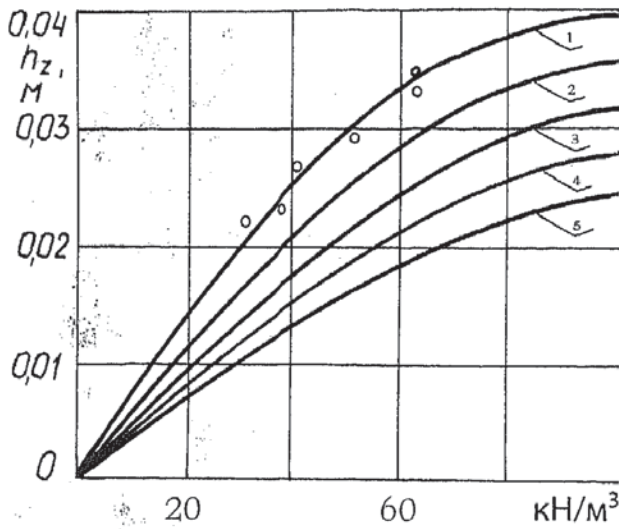
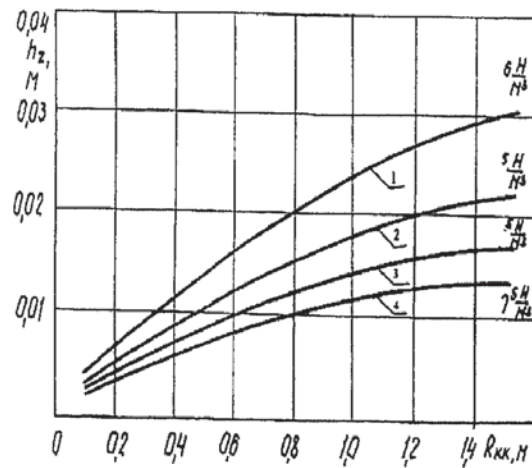


Рис. 3 Формирование клина снега

В [1, 2, 3] профессором В. В. Беляковым доказывается, что при движении по снежной целине колеса вертикальный прогиб шины мал. Результаты экспериментально-теоретических исследований подтверждающие это явление приведены на рис. 4. В связи с чем, радиус колеса катящегося по снегу можно принять постоянным.



а



б

Рис. 4. Диаграммы радиального прогиба шины модели И-112 (13.00-18) при вертикальной нагрузке 10000 Н на снежной целине; а - статическая деформация шины в зависимости от жесткости снега при различном внутреннем давлении воздуха; б - динамическая деформация шины в зависимости от радиуса качения колеса при различной жесткости снега и внутреннем давлении воздуха  $0,1 \cdot 10^5$  Па

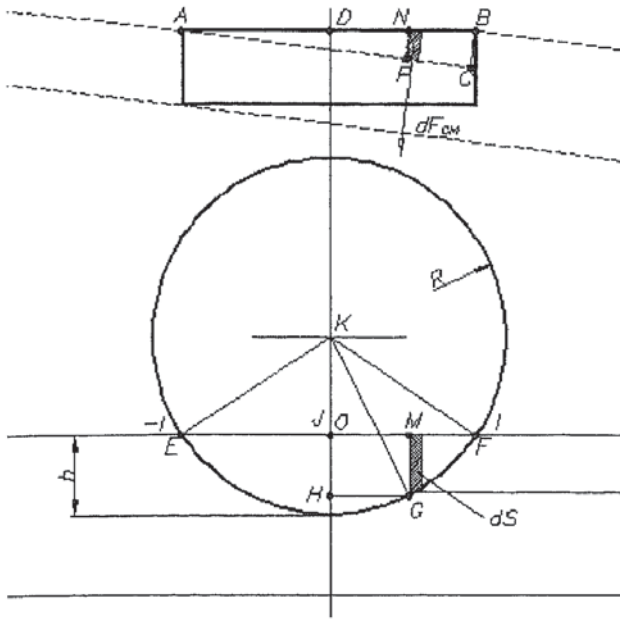


Рис. 5 Схема взаимодействия колеса со снегом

Для нахождения реакции на боковину колеса от смятия клина снега  $F_{см}$  воспользуемся схемой взаимодействия движителя со снегом (рис. 5).

Элементарная площадь боковины колеса  $dS$  равна:

$$dS = \left[ \sqrt{R^2 - l^2} - (R - h) \right] dl$$

где  $R$  – радиус колеса,  $l$  – расстояние от вертикали проходящей через центр колеса до точки начала контакта с опорным основанием,  $h$  – глубина погружения колеса.

Элементарная реакция от смятия клина снега  $dF_{см}$ :

$$dF_{см} = c \left( \sqrt{2Rh - h^2} + l \right) \left[ \sqrt{R^2 - l^2} - (R - h) \right] \sin(\alpha_{об} + \alpha_y) dl$$

где  $c$  – жесткость снега,  $\alpha_{об}$  – угол увода от бокового заноса,  $\alpha_y$  – угол увода шины.

Полная боковая реакция от деформации  $F_{см}$ :

$$F_{см} = \int_{-\sqrt{2Rh-h^2}}^{\sqrt{2Rh-h^2}} c \left( \sqrt{2Rh - h^2} + l \right) \left[ \sqrt{R^2 - l^2} - (R - h) \right] \sin(\alpha_{об} + \alpha_y) dl$$

Решая данное уравнение, получим:

$$F_{см} = c \sin(\alpha_{об} + \alpha_y) \sqrt{2Rh - h^2} \left\{ \left[ R^2 \arcsin\left( \sqrt{2Rh - h^2} / R \right) \right] - \left[ (R - h) \sqrt{2Rh - h^2} \right] \right\}$$

При повороте центробежная сила  $F_{цб}$  будет компенсироваться, не только трением об опорную поверхность  $F_{тр}$ , но и составляющей силы от смятия клина снега  $F'_{см}$ . Из условия равновесия сил (см. рис. 3) видно:

$$F_{цб} = F_{тр} + F'_{см}$$

В соответствии с работой [1]:

$$F_{цб} = m_a v^2 \rho$$

$$F_{тр} = \varphi_p k_n R_z + (c_0 + R_z \left( 2 \sqrt{2Rh - h^2} \cdot b_{ш} \right) \operatorname{tg} \varphi_0) (1 - k_n) 2 \sqrt{2Rh - h^2} b_{ш}$$

где  $m_a$  – масса автомобиля, приходящаяся на опорный элемент,  $v$  – скорость движения,  $\rho$  – радиус поворота,  $\varphi_p$  – коэффициент трения резины протектора шины по материалу опорной поверхности,  $k_n$  – коэффициент насыщенности протектора,  $R_z$  – вертикальная реакция, приходящаяся на опорный элемент,  $c_0$  – коэффициент внутреннего сцепления грунта,

$b_{ш}$  – ширина протектора шины,  $\varphi_0$  – угол внутреннего трения грунта.

Из силового треугольника  $[F_{см}, F_f^{66}, F'_{см}]$  на рис. 3 следует:

$$F_{см} / \sin(90 - \alpha_y) = F_f^{66} / \sin(\alpha_{66} + \alpha_y) = F'_{см} / \sin(90 - \alpha_{66}).$$

Сила сопротивления качению колеса по снежной целине от бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении с внешней стороны колеса равна:

$$F_f^{66} = F_{см} \sin(\alpha_{66} + \alpha_y) / \cos \alpha_y,$$

$$\text{где } \alpha_{66} = 0,5 \cdot \left[ \arcsin\left(C / \sqrt{A^2 + B^2}\right) - \arcsin\left(B / \sqrt{A^2 + B^2}\right) \right],$$

$$A = 1, B = K_y,$$

$$C = 2(F_{ш6} - F_{тp}) / \left( c \sqrt{2Rh - h^2} \left\{ R^2 \cdot \arcsin\left(\sqrt{2Rh - h^2} / R\right) - [(R - h)\sqrt{2Rh - h^2}] \right\} \right) - K_y.$$

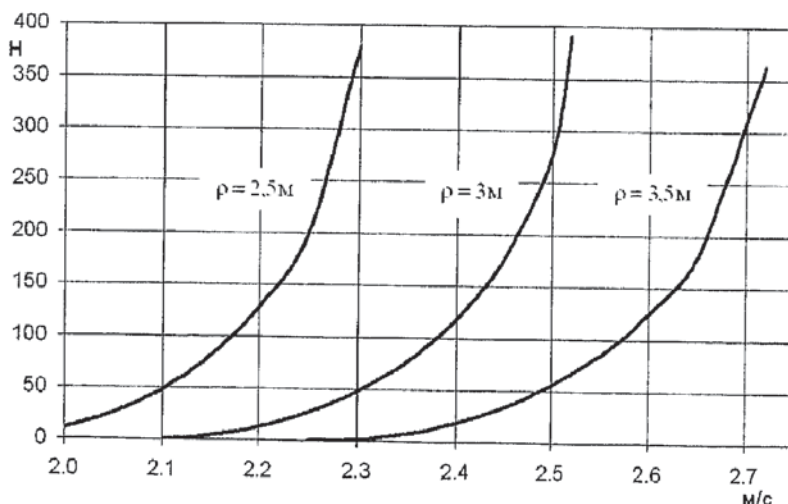


Рис. 6. Диаграмма сопротивления движения колеса от бульдозерных эффектов при разных радиусах поворота

Для автомобиля ВАЗ-2121 зависимость  $F_f^{66} = F_f^{66}(v)$  представлена на рис. 6. Данные взяты из источников [1, 2, 3].  $R = 0,343 \text{ м}$ ,  $h = 0,1 \text{ м}$ ,  $c = 10^5 \text{ Н м}^3$ ,  $m_a = 600 \text{ кг}$ ,  $\varphi_p = 0,2$ ,  $k_n = 0,6$ ,  $R_z = 5886 \text{ Н}$ ,  $c_0 = 3 \text{ КПа}$ ,  $b_{ш} = 0,175 \text{ м}$ ,  $\varphi_0 = 0,36^\circ$

Таким образом, при криволинейном движении бульдозерные эффекты оказывают влияние на сопротивление качения колеса, и вызывают увеличение нагруженности элементов трансмиссии машины.

Это может быть использовано при проектировании и разработке алгоритмов управления машины в целом. Правильный выбор параметров позволит уменьшить количественный показатель сопротивления движения от бульдозерных эффектов, тем самым снизить нагрузочный режим работы трансмиссии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барахтанов Л.В., Беляков В.В., Кравец В.Н. Проходимость автомобиля. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.
2. Вездеходные транспортно-технологические машины // Под редакцией В. В. Белякова и А. П. Куляшова. – Н. Новгород.: ТАЛЛАМ, 2004. – 960 с.
3. Аникин А.А., Беляков В.В., Донато И.О. Теория передвижения колесных машин по снегу. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 240 с.

629.113

## ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВОГО КАРКАСА КУЗОВА ПОЛУПРИЦЕПА

*Асп. Д.О. АНИСИМОВ, д-р.техн.наук.доц. С.М. КУДРЯВЦЕВ*

Становление рыночных отношений в нашей стране ведет к росту производства, развитию интеграции в промышленности, расширению рынков сбыта, росту потребительской активности. Увеличение объемов грузо- и пассажиропотока требует развития транспортной сферы. Опережающими темпами развивается автомобильный транспорт вследствие его доступности и универсальности.

Стабилизация экономики в стране положительно сказывается на росте благосостояния ее граждан. Растет спрос на дорогостоящие товары длительного пользования и в первую очередь на легковые автомобили. В I квартале 2008 г. темпы роста производства в российском автопроме вдвое превысили среднемировые 4 – 6%. По данным ОАО «АСМ – Холдинг» было произведено 413 774 единицы автотехники, в том числе 331 111 легковых автомобилей. Кроме того, более 300 000 легковых машин ежегодно ввозится в страну из-за границы. Основная нагрузка по транспортировке этого вида товаров ложится на автопоезда-автовозы, поскольку это наиболее доступный и безопасный способ.