электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0420900025. ISSN 1994-0408

Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению

 # 06, июнь 2010
авторы: Гончаров К. О., Макаров В. С., Беляков В. В

УДК 629.113

ГОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

E-mail: makvl2010@gmail.com

Рассмотрим процесс формирования колеи одиночным колесом. В работе [3] предложена модель качения колеса по снегу учитывающая явление бокового скольжения и бульдозерный эффект с боковой стороны колеса. В ней рассматривается схема формирования колеи, показанная на рис. 1 и 2.

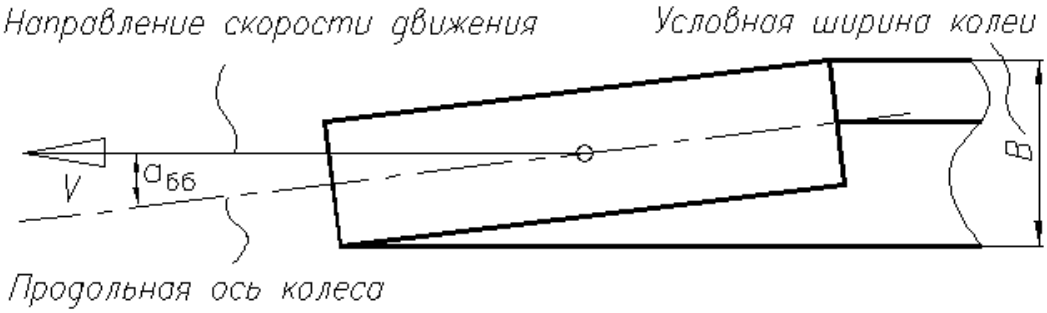

Рис. 1. Формирование колеи в плане сверху

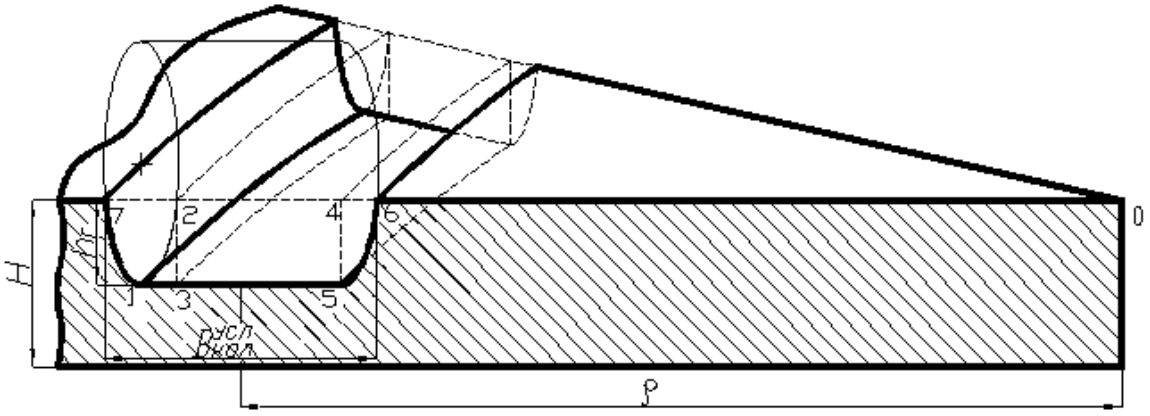

Рис. 2. Формирование колеи при криволинейном движении.

На рисунке показана: $B_{\text{кол}}^{\text{усл}}$ – условная ширина колеи

$$B_{\text{кол}}^{\text{усл}} = B\cos\alpha_{\text{бб}} + 2\left(2Rh_{\text{г}} - h_{\text{г}}^2\right)^{0,5}\sin\alpha_{\text{бб}}, \qquad (1)$$

B – ширина протектора шины, $\alpha_{\text{бб}}$ – угол, возникающий в результате бокового скольжения (угол бокового скольжения), R – радиус колеса, $h_{\text{г}}$ – глубина колеи.

Представленная модель характерна для движения колеса с шиной, у которой на боковине отсутствует протектор. Для шин с развитыми боковыми грунтозацепами будет наблюдаться явление дополнительного увеличения ширины колеи за счет экскавационных эффектов с боковой стороны колеса. Характер выноса снега за пределы колеи и приращение ширины колеи показан на рис. 3.

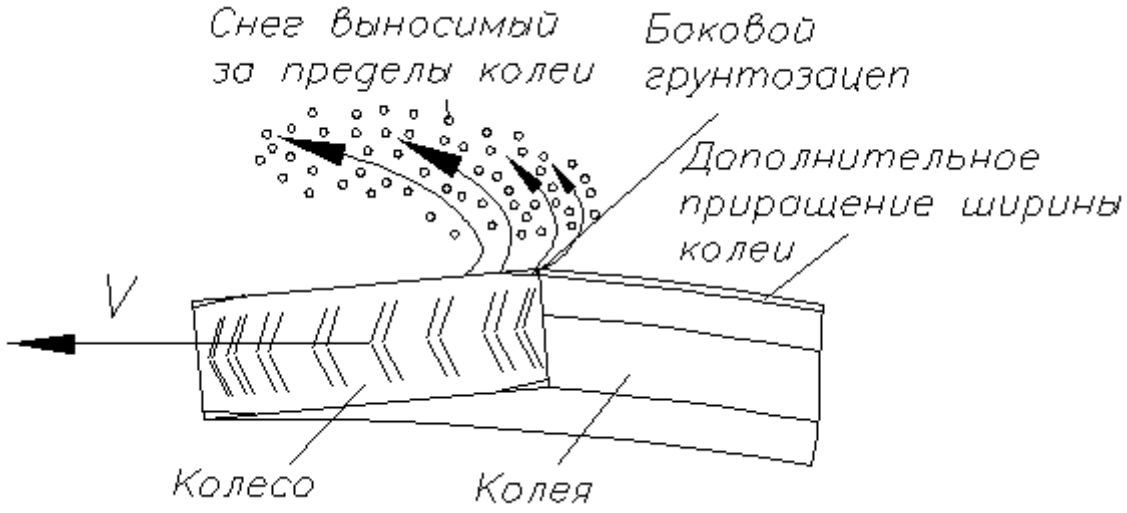

Рис. 3. Вынос снега за пределы колеи

Таким образом, схема формирования колеи с учетом фрезерования снега боковиной колеса будет выглядеть следующим образом (рис. 4).

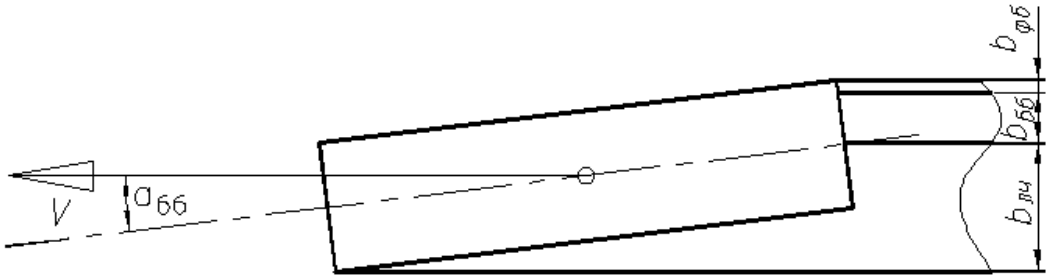

Рис. 4. Формирование колеи с учетом фрезерования снега боковым протектором шины в плане сверху

На рис. 4 показано как формируется колея при проходе колеса.

$$B_{кол}^{усл} = b_{лг} + b_{бб} + b_{фб}, \quad (2)$$

где $B_{кол}^{усл}$ - условная ширина колеи, $b_{лг}$ - ширина колеи, образуемая лобовой частью колеса, $b_{бб}$ - ширина колеи, образуемая в результате смятия снега боковиной колеса, $b_{фб}$ - ширина колеи, образуемая в результате фрезерования снега боковыми грунтозацепами шины при боковом скольжении.

Как показали экспериментальные исследования снег, который фрезеруется боковиной колеса, выбрасывается достаточно далеко от зон взаимодействия колеса со снегом и в даль-

нейших расчетах может не учитываться. Основное влияние его будет сказываться на увеличении ширины колеи на некоторую величину. Вследствие этого угол бокового скольжения и бульдозерное сопротивление с внешней стороны колеса также будут возрастать [4].

Поэтому порядок расчета дополнительного сдвига (расширения) колеи от фрезерования снега боковыми грунтозацепами шины можно предложить следующий.

1. Рассчитывается по погружению колеса угол бокового скольжения $\alpha_{бб}$ по зависимости:

$$\alpha_{бб} = 0{,}5 \arcsin\left[\left(m_a\ v^2/\rho - F_{тр}\right)K_ж^{-1}\left(Rh_г^2 - h_г^2/3\right)^{-1}\right], \qquad (3)$$

где m_a - масса, приходящаяся на колесо, v - скорость качения колеса, ρ - радиус кривизны движения, проходящий через середину колеса, $K_ж$ - коэффициент жесткости снега, $F_{тр}$ - сила трения [1, 2] колеса о снег.

$$F_{тр} = \varphi_р K_н R_z + \left(c + R_z \Big/ \left(2\sqrt{2Rh_г - h_г^{\,2}} \cdot B\right)\mathrm{tg}\varphi\right)(1 - K_н)2\sqrt{2Rh_г - h_г^{\,2}}\, B, \qquad (4)$$

где $\varphi_р$ - коэффициент трения резины о снег, $K_н$ - коэффициент насыщенности протектора, R_z - нагрузка на колесо, φ - угол внутреннего трения снега.

2. Зная скорость v качения колеса, параметры боковых грунтозацепов (рис. 5): $l_{бгр}$ - шаг, $h_{бгр}$ - ширина в тангенциальном направлении, $b_{бгр}$ - ширина в осевом направлении, $k_{бгр}$ - длина в нормальном направлении, угол бокового скольжения $\alpha_{бб}$, длину активной (погруженной) части колеса $2l = 2\left(2Rh - h^2\right)$ (5) рассчитываем дополнительное смещение колеса вбок.

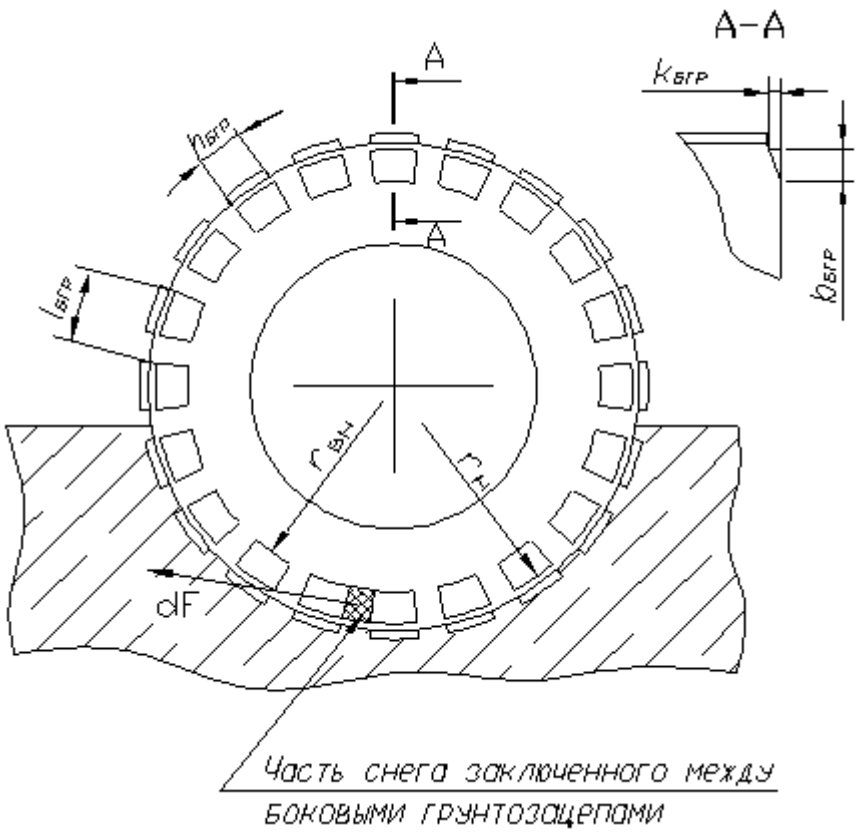

Рис. 5. Взаимодействие колеса со снегом.

Расчет величины уширения колеи $b_{фб}$ можно производить по объему выносимого снега $\Delta V_1 = \Delta V_2$, где ΔV_1 - снег, выносимый из колеи и зависящий от $b_{фб}$, ΔV_2 - снег, который выносится грунтозацепами и зависит от. $l_{бгр}, h_{бгр}, b_{бгр}, k_{бгр}$.

Расчет выносимого снега примем за один оборот колеса.

$$\Delta V_1 = 2 b_{фб}\, h_г\, \pi R,\ \ \Delta V_2 = \left[\left(0.5\ k_{бгр}\ b_{бгр}\right)\left(l_{бгр} - h_{бгр}\right)\right]\ n\left(1 + S_б\right), \tag{6}$$

где $S_б$ - коэффициент буксования. Приравнивая $\Delta V_1 = \Delta V_2$, получим значение $b_{фб}^{об}$ учитывающее уширение колеи исходя из объема выносимого снега:

$$b_{фб}^{об} = \left[\left(0.5\ k_{бгр}\ b_{бгр}\right)\left(l_{бгр} - h_{бгр}\right)\right]\ n\left(1 + S_б\right)\left(2 h_г\ \pi R\right)^{-1}. \tag{7}$$

Необходимо также учесть кинематику движения: $b_{фб}^{к} = 2l\, S_б\ \mathrm{tg}\,\alpha_{бб}$ (8).

Увеличение ширины колеи равно: $b_{фб} = \min\left\{b_{фб}^{об}, b_{фб}^{к}\right\}$ (9).

Анализ зависимостей показывает, что характер изменения $b_{фб}$ будет следующим (см. рис. 6):

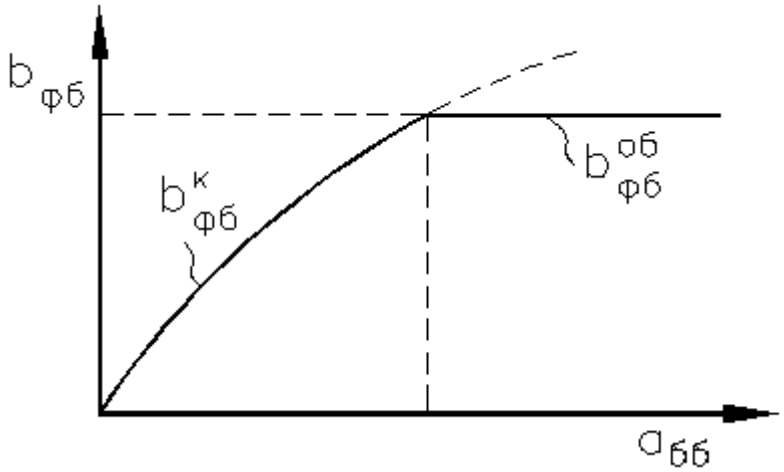

Рис. 6. Формирование величины уширения колеи вследствие экскавации в зависимости от угла бокового скольжения.

Анализ зависимостей на рис.6 показал, что рост $b_{фб}^{к}$ до $b_{фб}^{об}$ происходит уже при $\alpha_{бб} = (1-3)^{\circ}$ в зависимости от размеров бокового протектора шины.

3. Вводим поправку на угол бокового скольжения с учетом фрезерования снега боковыми грунтозацепами шины.

$$\alpha_{бб+фб} = \alpha_{бб} + \alpha_{фб} \tag{10}$$

Так как само приращение $b_{фб}$ мало, то угол $\alpha_{фб}$ также принимает малые значения. Поэтому для его определения можно воспользоваться следующей зависимостью:

$$\alpha_{фб} = \operatorname{arctg}\left(0{,}5 b_{фб}\, l^{-1}\right) \tag{11}$$

или сразу определить угол $\alpha_{бб+фб}$:

$$\alpha_{бб+фб} = \operatorname{arctg}\left[\left(2l\sin\alpha_{бб} + b_{фб}\right)\left(2l\cos\alpha_{бб}\right)\right] . \tag{12}$$

4. Силу сопротивления от бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса с учетом фрезерования снега боковыми грунтозацепами шины можно рассчитать по зависимости:

$$F_f^{бб+фб} = F_{см}^{бб}\left(c_{рез} + \sin\left(\alpha_{бб} + \alpha_{фб}\right)\right) \quad (13)$$

$$P_{fбб+фб} = R_{бб}\, F_f^{бб+фб} R^{-1}, \quad (14)$$

Для расчета экскавационной составляющей сопротивления боковины колеса воспользуемся схемой приведенной на рис. 5.

Как видно из схемы формирование силы будет происходить на участке ограниченном радиусами $r_н$ и $r_{вн}$. Будет определяться по зависимости.

$$F_{бэ} = S_б\left(F_{тр}^{r_н} - F_{тр}^{r_{вн}}\right)\left(1 - K_{нб}\right), \quad (15)$$

$K_{нб}$ - коэффициент насыщенности бокового протектора, можно определить по зависимости:

$$K_{нб} = l_{бгр} / h_{бгр}\,. \quad (16)$$

$$S_{r_н} = r_н^{\,2}\arcsin\left(\frac{\sqrt{2Rh_г - h_г^2}}{R}\right) - \left(r_н - h_г\right)\sqrt{2r_н h_г - h_г^2}\,,$$

$$S_{r_{вн}} = r_{вн}^{\,2}\arcsin\left(\frac{\sqrt{2Rh_г - h_г^2}}{R}\right) - \left(r_{вн} - h_г\right)\sqrt{2r_{вн} h_г - h_г^2}\,,$$

$$F_{тр}^{r_н} = \left[c + \left(K_ж\left(r_н h_г^2 - h_г^3/3\right)\sin\left(2\alpha'_{бб}\right)\right)\mathrm{tg}\varphi\, S_{r_н}^{-1}\right]\ S_{r_н}, \quad (17)$$

$$F_{тр}^{r_{вн}} = \left[c + \left(K_ж\left(r_{вн} h_г^2 - h_г^3/3\right)\sin\left(2\alpha'_{бб}\right)\right)\mathrm{tg}\varphi\, S_{r_{вн}}^{-1}\right]\ S_{r_{вн}}\,. \quad (18)$$

$K_{нб}$ - коэффициент насыщенности бокового протектора.

Приведенная сила экскавационного сопротивления с внешней стороны колеса будет определяться по зависимости:

$$P_{f\,бэ} = 2F_{бэ}\, R/\left(r_н + r_{вн}\right). \quad (19)$$

Суммарное экскавационно-бульдозерное сопротивление с внешней стороны колеса будет определяться как: $P_{f\,бэб} = P_{fбб+фб} + P_{f\,бэ}$ (20).

Рассмотрим, как влияет экскавационно-бульдозерное сопротивление с внешней стороны колеса на сопротивление качения колеса от вертикального смятия снега с учетом его плотности [5]. Сила сопротивления определяется по зависимости [4]:

$$P_{fc} = \int_0^{h_г} \left\{ \left[\left(R^2 - \left(R - h_г + h \right)^2 \right)^{0,5} - \left(2Rh - h^2 \right)^{0,5} \right] \sin \alpha_{бб} + B \cos \alpha_{бб} \right\} \gamma h / \left(1 - h / h_{max} \right) \, dh . \qquad (21)$$

На рис. 7 и 8 цифрами 1, 2, 3, 4 показаны зависимости для снега плотностью 0,15, 0,20, 0,25, 0.30 г/см^3 соответственно.

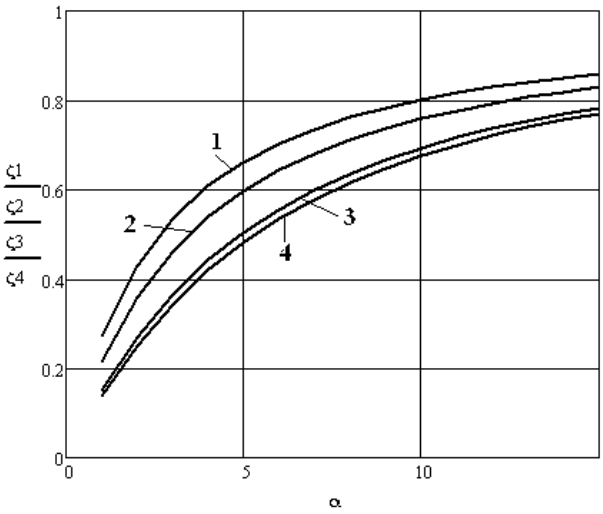

Рис. 7. Отношение экскавационной составляющей к бульдозерной в зависимости от угла бокового скольжения. Колесо с шиной И-112. Глубина снега 0,6 м.

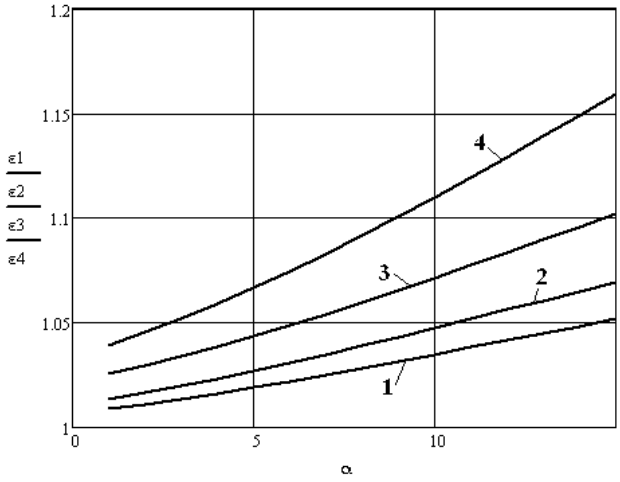

Рис. 8. Отношение суммы сопротивления от смятия и экскавационно-бульдозерного сопротивления к сопротивлению от смятия снега в зависимости от угла бокового скольжения. Колесо с шиной И-112. Глубина снега 0,6 м.

Анализ зависимостей на рис. 7, 8 показывает, что при увеличении угла бокового скольжения до 15° отношение экскавационной составляющей к бульдозерной стремится к 16-23%, а прирост сопротивления качения колеса от экскавационно-бульдозерного сопротивления с внешней стороны колеса для данных условий движения составит порядка 5-17% в зависимости от плотности снега.

Таким образом, при криволинейном движении экскавационно-бульдозерные эффекты с внешней стороны колеса оказывают влияние на сопротивление качения. Предложенные за-

висимости позволяют сделать не только количественные выводы о росте сопротивления, но и более качественно описать процесс качения колеса.

Список использованных источников

1. Беляков В.В., Вахидов У.Ш., Молев Ю.И. Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа. Научное издание // НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – Н.Новгород, 2009 г. – 300 С.

2. Вездеходные транспортно-технологические машины // Под редакцией В. В. Белякова и А. П. Куляшова. – Н. Новгород.: ТАЛАМ, 2004. – 960 с.

3. Макаров В.С., Гончаров К.О., Блохин А.Н., Беляков В. В. Влияние бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колесных машин на нагруженность элементов трансмиссии. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №9, 2008г. с 47-51.

4. Макаров В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: Дисс… канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009 г. –161 с.

5. Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: Дисс. …докт. техн. наук: 05.05.03. НГТУ, Н.Новгород,1999. – 485 с.