

Теоретическое обоснование и исследование момента устойчивости колёсных машин при движении по склону

*И.Н. Старунова, К.Т.Н.,
ФГБОУ ВПО Челябинская ГАА*

Как известно, одним из важных эксплуатационных показателей колёсной машины является её устойчивость при движении по поверхностям, имеющим сложный профиль. Теоретические исследования и предварительные испытания показали, что устойчивость колёсных машин при движении по склону можно обеспечить изменением радиусов колёс (прогибов шин) за счёт изменения давления воздуха в них [1–4]. С учётом конструкции и назначения шин величины их прогибов различны и могут достигать (при нормальном давлении) до 100–120 мм. Установлено, что при допускаемых (до 50% от рекомендованных значений) кратковременных снижениях давления воздуха в шинах, прогиб шины может достигать значительных величин от 120 до 150 мм.

Ранее была предложена автоматическая следящая система регулирования давления воздуха в

шинах, которая позволяет регулировать направление вектора центра тяжести [5].

Для обоснования выдвинутых предположений и нахождения момента устойчивости колёсной машины исследуем характер изменения направления вектора центра тяжести с учётом изменения радиусов колёс.

Рассмотрим опрокидывание колёсной машины, находящейся на склоне, относительно точки O (рис. 1). Этот момент определим как функцию от угла склона и приращений радиусов (прогибов) колёс.

Примем условие, что опрокидывания не происходит, когда величина момента больше 0 (момент устойчивости):

$$M_{уст.}(G_a) = f(\alpha, \Delta r_{пр.}, \Delta r_{лев.}) > 0, \quad (1)$$

где G_a – вес машины, Н;

α – угол склона, град.;

$\Delta r_{пр.}$ – приращение правого борта от величины нагрузки, мм;

$\Delta r_{лев.}$ – приращение левого борта от величины нагрузки, мм;

и условие, при котором происходит опрокидывание (момент опрокидывания):

$$M_{опр.}(G_a) \leq 0. \quad (2)$$

Момент опрокидывания относительно точки О колёсной машины, находящейся на склоне, составит:

$$M_{опр.}(G_a) = G_a \cdot c, \quad (3)$$

где c – плечо опрокидывания (переменная величина, зависящая от угла склона α), мм.

Величина c определится из выражения:

$$c = c_1 \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где c_1 – гипотенуза треугольника OAB (рис. 1), мм.

В свою очередь гипотенуза c_1 определится как разность:

$$c_1 = \frac{B}{2} - x_1, \quad (5)$$

где B – ширина колеи колёсной машины, мм;

x_1 – величина, определяемая из треугольника ADK, мм.

$$x_1 = \operatorname{tg} \alpha \cdot (h_0 + x_0), \quad (6)$$

где h_0 – расстояние от центра тяжести до оси колесной машины, мм;

x_0 – расстояние от оси до несущей поверхности, мм.

Тогда выражение (3) с учётом формул (4), (5) и (6) примет вид:

$$M_{опр.}(G_a) = G_a \cdot \left[\frac{B}{2} - \operatorname{tg} \alpha (h_0 + x_0) \right] \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

или

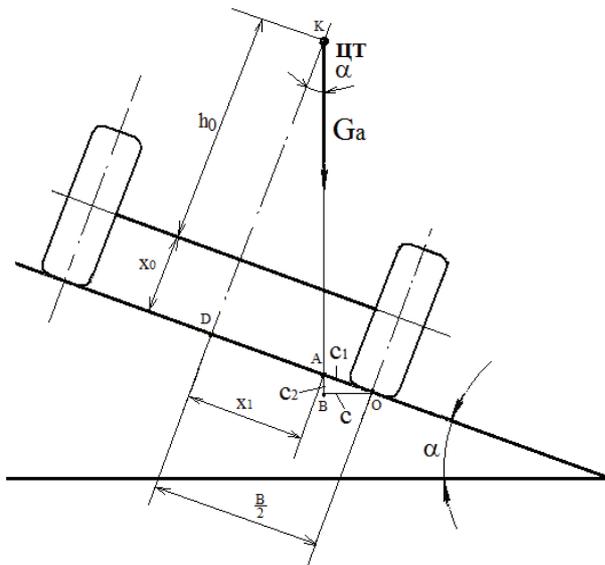


Рис. 1 – Расчётная схема для определения устойчивости колёсной машины от опрокидывания

$$M_{опр.}(G_a) = G_a \cdot \left[\frac{B}{2} - \operatorname{tg} \alpha \cdot h_{ит} \right] \cdot \cos \alpha, \quad (8)$$

так как $h_{ит} = h_0 + x_0$.

Отсюда определим угол α , при котором не происходит опрокидывания колёсной машины ($M_{уст.}(G_a) > 0$):

$$\alpha < \operatorname{arctg} \left(\frac{B}{2h_{ит}} \right). \quad (9)$$

Для определения влияния приращений радиусов колёс по бортам машины на угол смещения вектора центра тяжести (γ) воспользуемся схемой, приведённой на рисунке 2.

Рассмотрим в статическом положении смещение межколёсной оси машины на ровной поверхности в зависимости от изменения радиусов колёс на величину $\pm \Delta r$, без учёта угла склона.

В связи с приращением радиусов колёс по бортам машины ось между колёсами изменит своё положение на угол γ и соответственно направление вектора центра тяжести изменится на этот же угол. Определим момент устойчивости колёсной машины в этом случае:

$$M_{уст.}(G_a) = G_a \cdot K, \quad (10)$$

где K – расстояние от точки А до оси правого колеса, мм.

Величина K определится как сумма расстояний K_1 (катет треугольника ABC) и K_2 . Расстояния K_1 и K_2 определятся из следующих соотношений (рис. 2):

$$\begin{aligned} K_1 &= K_3 \cdot \cos \gamma, \\ K_2 &= \frac{B}{2} \cos \gamma, \end{aligned} \quad (11)$$

где K_3 – это катет AC треугольника ADC, $K_3 = h_0 \cdot \sin \gamma$.

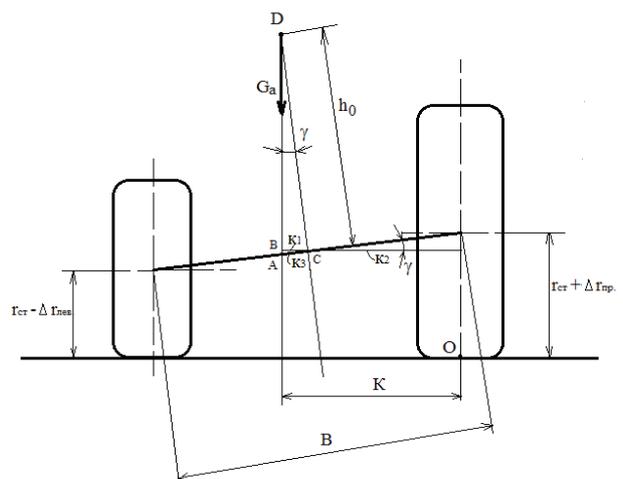


Рис. 2 – Расчётная схема для определения угла смещения центра тяжести от величины приращения радиусов колёс

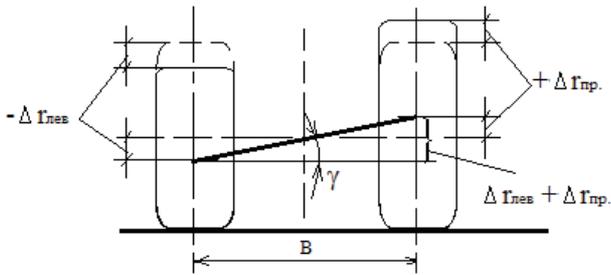


Рис. 3 – Расчётная схема для определения угла γ в статическом положении колёсной машины

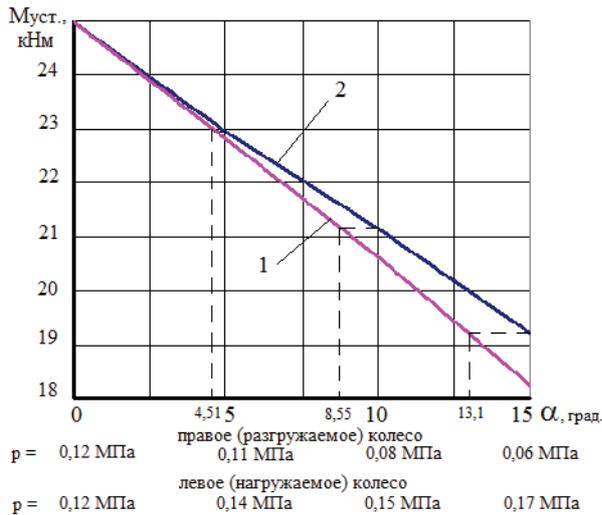


Рис. 5 – Зависимость момента устойчивости трактора МТЗ-80 от угла склона α_0 при дифференциации давлений воздуха по бортам машины: 1 – при $p=0,12$ МПа; 2 – при дифференциации давлений по бортам

С учётом выражения (11) расстояние K определится:

$$K = K_1 + K_2 = h_0 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma + \frac{B}{2} \cdot \cos \gamma. \quad (12)$$

Тогда момент устойчивости по выражению (10) определится:

$$M_{уст.}(G_a) = G_a \cdot \left(h_0 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma + \frac{B}{2} \cdot \cos \gamma \right). \quad (13)$$

Величину угла γ можно определить из схемы (рис. 3):

$$B \cdot \sin \gamma = \Delta r_{np.} - \Delta r_{лев.},$$

отсюда
$$\sin \gamma = \frac{\Delta r_{np.} - \Delta r_{лев.}}{B}. \quad (14)$$

При расположении колёсной машины на склоне с углом действительный угол смещения вектора центра тяжести $\gamma_{ум}$ определится как:

$$\gamma_{ум} = \gamma - \alpha. \quad (15)$$

Следовательно, для решения задачи на устойчивость колёсной машины на склоне необходимо совместно решать систему уравнений:

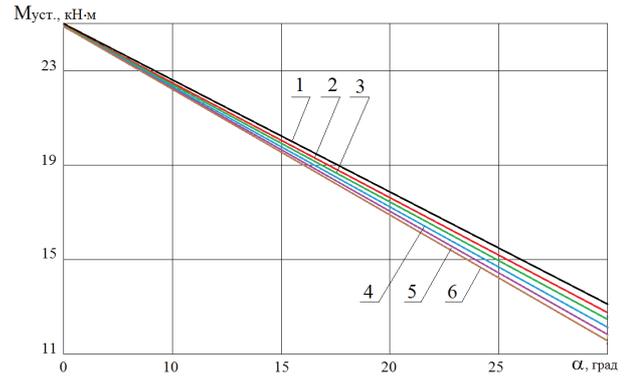


Рис. 4 – Зависимость момента устойчивости трактора МТЗ-80 от угла α_0 для различных давлений в шинах:

1 – $p=0,06$ МПа; 2 – $p=0,08$ МПа; 3 – $p=0,11$ МПа; 4 – $p=0,12$ МПа; 5 – $p=0,14$ МПа; 6 – $p=0,17$ МПа

$$\begin{cases} M_{уст.}(G_a) = G_a \cdot \left[h_0 \cdot \sin(\gamma - \alpha) \cdot \cos(\gamma - \alpha) + \frac{B}{2} \cdot \cos(\gamma - \alpha) \right], \\ \gamma = \arcsin \left(\frac{\Delta r_{np.(\alpha)} - \Delta r_{лев.(\alpha)}}{B} \right) \end{cases}, \quad (16)$$

где $\Delta r_{np.(\alpha)}$ и $\Delta r_{лев.(\alpha)}$ – приращение радиусов колёс правого и левого бортов колёсной машины от величины угла склона, мм.

При помощи полученной математической модели построим графики моментов для различных давлений в шинах трактора МТЗ-80 без изменения давлений по бортам, используя значения прогибов шин, полученные по формуле В.Л. Бидермана (рис. 4) [1, 6].

Анализируя полученные графики, можно отметить, что при нахождении трактора на различных углах склона более устойчивое положение относительно опрокидывания будет соблюдаться при условии минимального давления воздуха в шинах (линия 1, 2, 3). Это объясняется тем, что при минимально допустимых значениях давления воздуха в шинах прогиб достигает максимальных величин, и это приводит к снижению высоты центра тяжести колёсной машины, что повышает её устойчивость при нахождении на склоне. При максимально допустимых больших значениях давления воздуха в шинах трактора момент устойчивости (линии 4, 5, 6) снижается на 2–9%.

Подставив значения величин прогибов шин трактора МТЗ-80 для различных углов склона в формулу (16), при дифференциации давлений в шинах по бортам получили графики моментов устойчивости от угла склона с учётом смещения вектора центра тяжести на угол γ в более устойчивое положение трактора (рис. 5).

Полученный график показывает, что при изменении давления воздуха в шинах по бортам (угол склона $\alpha_0 = 5^\circ, 10^\circ$ и 15°) происходит значительное изменение момента устойчивости (линия 2) относительно момента, когда давление воздуха в шинах

не меняется (линия 1). Например, при угле склона в 5° момент устойчивости увеличивается на 1–2%, при 10° – до 5% и при 15° составляет около 9%.

Представленные результаты расчётов наглядно подтверждают предположение, что принудительным регулированием радиусов колёс (давлением воздуха в шинах) можно значительно повысить момент устойчивости и, следовательно, сместить направление вектора центра тяжести колёсной машины в более устойчивое, безопасное положение.

Литература

1. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А. и др. Исследование влияния угла склона на дисбаланс нагружения бортов колёсной машины и изменение направления вектора центра тяжести // Научное обозрение. 2014. № 1. С. 28–32.
2. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А. и др. Обоснование необходимого времени регулирования давления воздуха в шинах при движении транспортного средства по склону // Научное обозрение. 2014. № 4. С. 116–122.
3. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А. Автоматическое регулирование давления воздуха в шинах – фактор безопасного движения колёсных машин на склонах // Техника в сельском хозяйстве. 2014. № 1. С. 13–15.
4. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А. Устойчивость колёсных машин на склонах // Интеграция науки и бизнеса в агропромышленном комплексе: матер. Междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 70-летию Курганской ГСХА (24–25 апреля 2014 г.). Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2014. Т. 3. С. 191–195.
5. Горшков Ю.Г., Бобров С.В., Старунова И.Н. и др. Автоматизация процесса устойчивости колёсной машины при движении по поперечному и продольному склонам // Научное обозрение. 2014. № 12. С. 59–65.
6. Бидерман В.Л., Гуслицер Р.Л., Захаров С.П. и др. Автомобильные шины (конструкция, расчёт, испытания, эксплуатация). М.: Госхимиздат, 1963.