

# Основные показатели статической устойчивости колёсного трактора на склоне при автоматическом регулировании давления воздуха в шинах

Ю.Г. Горшков, д.т.н., профессор, И.Н. Старунова, к.т.н., доцент, А.А. Калугин, к.т.н., В.В. Бакунин, ст. преподаватель, ФГБОУ ВПО Челябинская ГАА

В исследованиях по вопросам повышения безопасности эксплуатации колёсных машин установлено, что улучшение их устойчивости при движении по склонам может быть реализовано путём изменения направления вектора центра тяжести и его координатами [1–4].

Основными показателями, обеспечивающими безопасность движения колёсных тракторов на склонах, являются:

- величина статического угла наклона трактора и статического радиуса колеса;
- величина давления воздуха в шинах трактора;
- величины времени подкачки (выпуска) воздуха в передних и задних шинах колёс трактора.

Известно, что для обеспечения поперечной устойчивости колёсных машин необходимо, чтобы вектор центра тяжести не проходил через критическую точку опрокидывания О (рис. 1) [4]. Однако проведённые ранее расчёты [1] позволяют констатировать, что изменение радиусов колёс по бортам машины значительно влияет на её статическую устойчивость [1]. Для изучения указанных показателей статической устойчивости авторами статьи разработана автоматическая следящая система регулирования давления воздуха в шинах, которая позволяет в зависимости от угла наклона трактора изменять величину статического радиуса колеса [5]. Величина статического радиуса колеса трактора, находящегося на склоне, зависит от ве-

личины давления воздуха в шинах, угла склона и перераспределения веса.

Повышение и снижение давления воздуха в шинах по бортам колёсной машины (до необходимых величин) происходит не мгновенно, а за относительно небольшие промежутки времени. Это обусловлено до некоторой степени постоянством нагрузки (разгрузки) колёс, величиной угла склона, силой инерции при повороте машины, длиной пути, сопротивлением воздуха в каналах устройства, скоростью движения машины, давлением воздуха (газа) в баллоне высокого давления устройства [5].

**Материалы и методы исследования.** Для решения согласования (по времени) срабатывания автоматической системы по бортам колёсной машины надо определить основные параметры, такие, как объём баллона высокого давления, необходимое давление в нём (для неоднократного подкачивания), время истечения воздуха при различных давлениях, как в шину, так и из шины в атмосферу, и др.

Для этого воспользуемся принципиальной схемой (рис. 2) и определёнными допущениями: перетекание воздуха (газа) происходит без изменения температуры и выделения тепла; оба резервуара считаются жёсткими [6]; перетекание сжатого воздуха (газа) происходит после открытия электроклапана. Для решения поставленной задачи используем основные положения теории движения газов [7, 8].

Основные положения теории движения газов позволили получить математическую модель времени истечения воздуха (газа) из баллона высокого давления 2 через клапан 3 в шину 1:

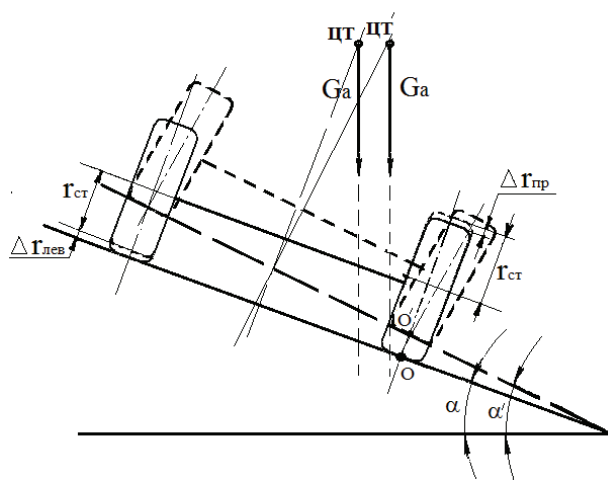


Рис. 1 – Принципиальная схема изменения радиусов колёс при статическом положении машины поперёк склона:

$G_a$  – вес колёсной машины;  $r_{ст}$  – статический радиус колеса;  $\Delta r_{лев}$ ,  $\Delta r_{пр}$  – приращение радиусов колёс;  $\alpha_0$  – угол склона

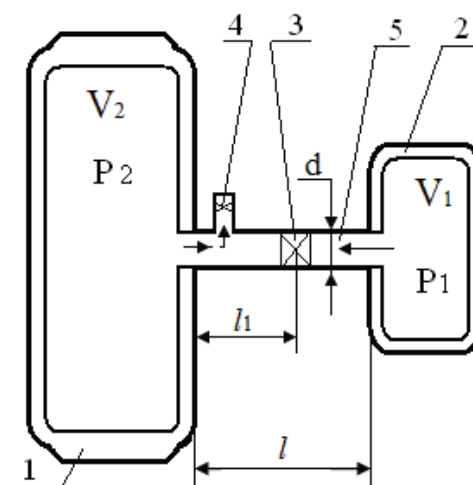


Рис. 2 – Расчётная схема:

1 – шина (2-й резервуар); 2 – баллон высокого давления (1-й резервуар); 3 – электроклапан высокого давления; 4 – электроклапан выхода воздуха (газа) в атмосферу; 5 – воздуховод

$$t_k = \frac{1}{\mu \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \int_0^{m_k} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \Delta p_{(m)} \cdot \rho_{cp(m)}}} dm, \quad (1)$$

где  $t_k$  — время перетекания воздуха (газа), с;

$d$  — диаметр воздуховода, м;

$\Delta p_{(m)} = p_1 - p_2$  — разность давлений в резервуарах (от количества перетёкшей массы воздуха);

$\rho_{cp(m)}$  — средняя плотность воздуха (газа), кг/м<sup>3</sup>;

$\mu \approx \sqrt{\frac{1}{1 + \sum \zeta + \lambda \frac{l}{d}}}$  — коэффициент расхода,

учитывающий потери напора (давления) (для задвижки  $\mu \approx 0,7$ ; для круглого отверстия  $\approx 0,82$ );  $\sum \zeta$  — сумма всех местных гидравлических сопротивлений в трубке воздуховода со стороны резервуара 1 до выхода воздуха (газа) из трубки в резервуар 2;

$\lambda$  — коэффициент трения по длине трубки длиной  $l$  и диаметром  $d$ .

Выражение (1) позволяет обосновать размеры величин, входящих в эту зависимость. В частности, можно определить диаметр воздуховода, массу перетёкшего воздуха (газа), объём баллона высокого давления и давление в нём, любое время  $t$ , необходимое для перетекания массы  $m$  воздуха (газа) из 1-го резервуара во 2-й, а также из 2-го резервуара в атмосферу.

С помощью полученной зависимости (1) можно определить временную диаграмму работы автоматической следящей системы регулирования давления воздуха в шинах колёсной машины. Это выражение позволит оптимизировать время работы системы и её основные конструктивные параметры.

Для определения среднего массового расхода воздуха (газа) за время полного перетекания и скорости истечения воздуха (газа) в любой момент времени  $t_{(m)}$ , предложены следующие равенства:

$$Q_{cp} = \frac{m_k}{t_k}; \quad (2) \text{ и } v_{(m)} = \frac{4 \cdot Q_{(m)}}{\rho_{cp(m)} \cdot \pi d^2}, \quad (3)$$

где  $Q_{cp}$  — средний массовый расход воздуха (газа), кг/с;

$m_k$  — максимальное значение перетёкшей массы, кг;

$v_{(m)}$  — скорость истечения воздуха (газа), м/с.

В качестве примера рассмотрим колёсный трактор МТЗ-80. Для расчёта используем следующие значения: давление в шине  $P_{2(n)}$  переднего колеса 0,14–0,25 МПа; объём шины переднего колеса  $V_{2(n)} = 78 \cdot 10^{-3}$ , м<sup>3</sup>; давление в шине  $P_{2(з)}$  заднего колеса 0,08–0,14 МПа; объём шины заднего колеса  $V_{2(з)} = 281 \cdot 10^{-3}$ , м<sup>3</sup>; диаметр воздуховода  $d = 5 \cdot 10^{-3}$ , м; длина воздуховода  $l = 70 \cdot 10^{-3}$ , м; длина воздуховода  $l_1 = 35 \cdot 10^{-3}$ , м; объём баллона высокого давления  $V_1 = 7 \cdot 10^{-3}$ , м<sup>3</sup>; давление в баллоне  $P_1 = 2–4$  МПа (рис. 2). Расчёты по вышеприведённым формулам выполнены в программной среде Mathcad 15.0.

**Результаты исследования.** Для определения величин прогиба шин при различных давлениях и нагрузках воспользуемся формулой, предложенной В.Л. Бидерманом [9]. На рисунках 3 и 4 представлены зависимости изменения прогиба шин (передних и задних колёс) от угла склона (нагрузки) при различных давлениях воздуха (газа) в шинах.

Согласно ранее опубликованным данным, при определённых условиях движения допускается кратковременно превышать нормативные значения рекомендуемых давлений в шинах трактора [10]. Поэтому при построении предложенных графиков расширен диапазон допускаемых давлений воздуха в пневматических шинах колёсного трактора.

Представленные графики показывают, что даже незначительное изменение давления в шинах, например с 0,06 до 0,08 МПа (рис. 3, нагружаемое колесо), при угле склона  $\alpha = 10^\circ$  (линия 1 и 2) приводит к прогибу около  $\Delta h_1 \approx 16–17$  мм. При разгрузке этого же колеса (рис. 3) уменьшение прогиба составляет  $\Delta h_2 \approx 13–14$  мм. Эту же ситуацию можно наблюдать и у передних колёс трактора МТЗ-80 (рис. 4). Полученные расчёты позволяют констатировать, что изменение давления воздуха в шинах даёт возможность регулировать направление вектора центра тяжести в более безопасное положение.

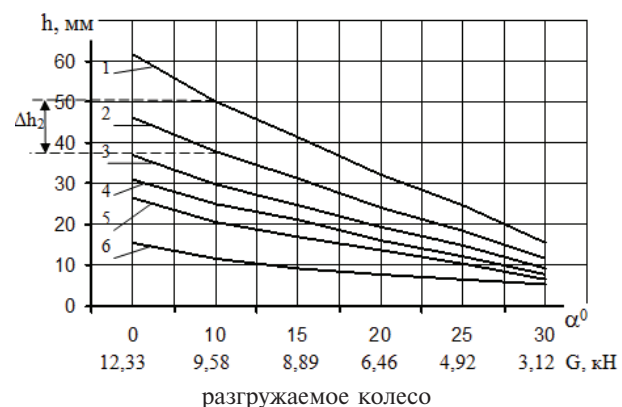
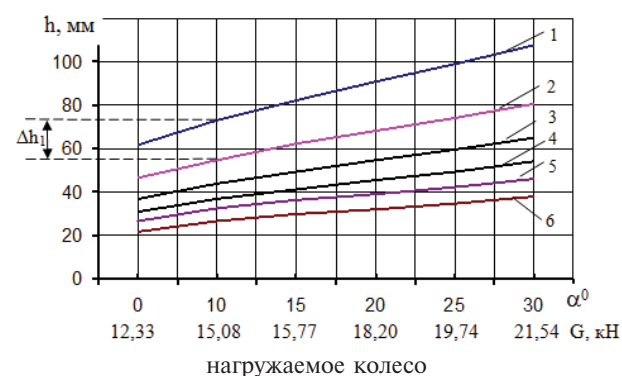


Рис. 3 – Графики изменения прогиба ( $h$ ) шин задних колёс трактора МТЗ-80 от угла склона ( $\alpha^0$ ) и нагрузки ( $G$ ) при различных давлениях в них: 1 – 0,06 МПа; 2 – 0,08 МПа; 3 – 0,1 МПа; 4 – 0,12 МПа; 5 – 0,14 МПа; 6 – 0,17 МПа

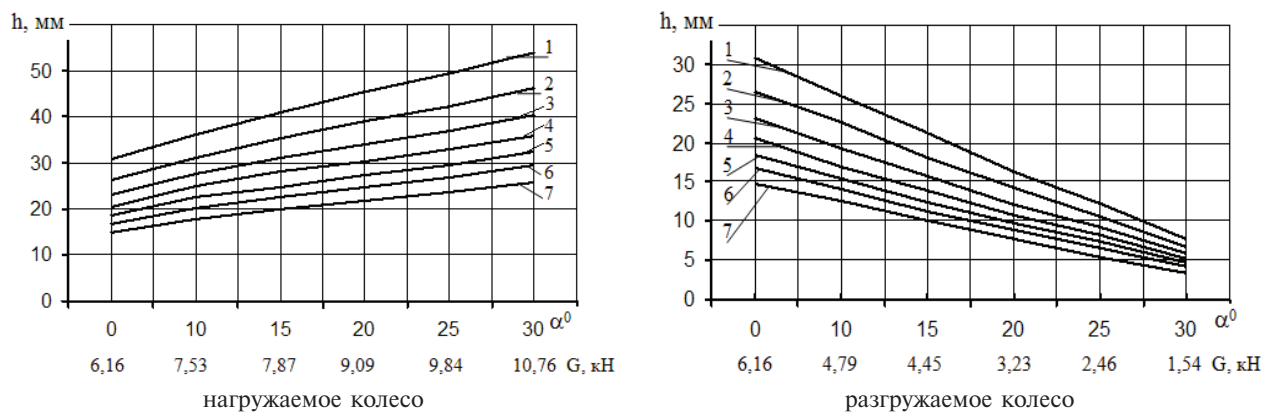


Рис. 4 – Графики изменения прогиба ( $h$ ) шин передних колёс трактора МТЗ-80 от угла склона ( $\alpha^0$ ) и нагрузки ( $G$ ) при различных давлениях в них:  
1 – 0,12 МПа; 2 – 0,14 МПа; 3 – 0,16 МПа; 4 – 0,18 МПа; 5 – 0,2 МПа; 6 – 0,22 МПа; 7 – 0,25 МПа

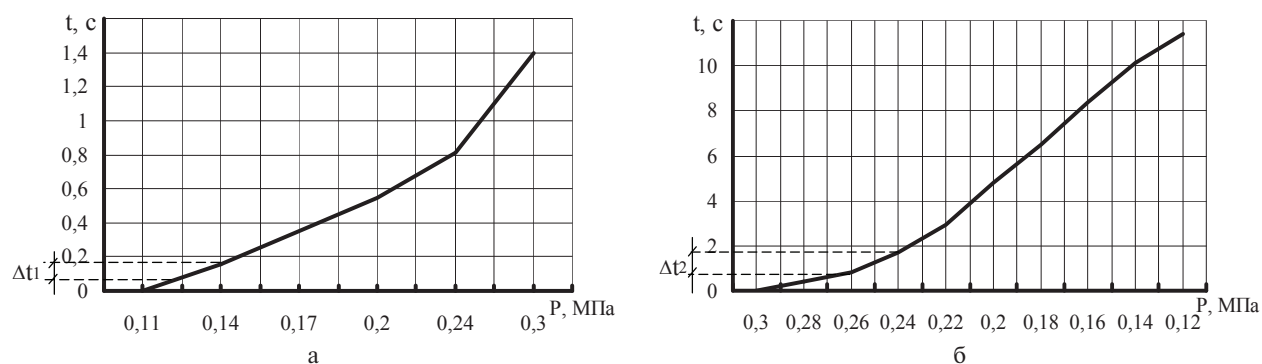


Рис. 5 – Зависимости времени истечения воздуха (газа)  $t$  от давления  $P$  для переднего колеса:  
а – из баллона высокого давления в шину; б – из шины в атмосферу

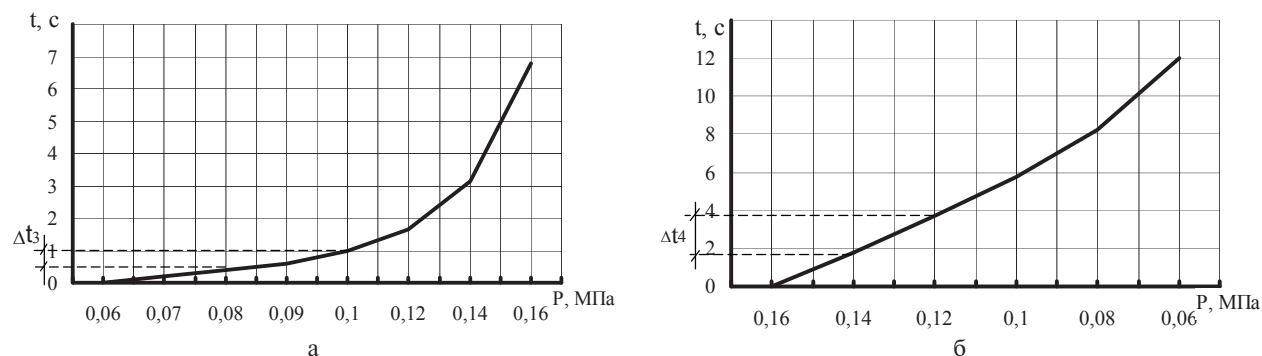


Рис. 6 – Зависимости времени истечения воздуха (газа)  $t$  от давления  $P$  для заднего колеса:  
а – из баллона высокого давления в шину; б – из шины в атмосферу

На рисунках 5 и 6 представлены графики истечения воздуха (газа) из баллона высокого давления в шину и из шины в атмосферу (для переднего и заднего колёс), рассчитанные по зависимости (1).

**Выводы.** Анализ графиков показывает, что время, необходимое для повышения давления, например на 0,02 МПа, для переднего и заднего колёс (например, правого борта) составляет менее 1 с (рис. 5а, 6а –  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_3$ ). Время, затрачиваемое на снижение давления в шинах (левого борта) на 0,02 МПа, составляет от 1 до 2 с (рис. 5б, 6б –  $\Delta t_2$  и  $\Delta t_4$ ). Т.е. включение в работу следящей системы

(повышение и снижение давления воздуха в шинах) при перепаде давлений (например, на  $\pm 0,02$  МПа) составляет не более 2 с, а разность в изменении радиусов колёс в этом случае находится в диапазоне около 20–24 мм. Это позволяет сместить направление вектора центра тяжести (рис. 1) в наиболее устойчивое положение машины (трактора).

Представленный материал статьи можно использовать для дальнейшего направления исследований в вопросе повышения устойчивости колёсных машин при движении их по поверхностям, имеющим уклон.

### 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. Шкрабак В.С. Противоопрокидывающее устройство для мобильных машин // Охрана труда в сельском хозяйстве: научные труды Ленинградского сельскохозяйственного института. Т. 402. Л. – Пушкин, 1980.
3. Реймер В.В. Обоснование методики повышения эффективности эксплуатации колёсных тракторов класса 1,4 при работе на наклонной поверхности: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2012. 21 с.
4. ГОСТ 12.2.019-2005 ССБТ. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности.
5. 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.
6. Абакумов Г.В. Корректирование давления воздуха в шинах при эксплуатации автомобилей зимой: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Тюмень, 1999. 17 с.
7. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: учебник для вузов. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1974. 448 с.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов. 4-е изд. Л.: Энергоиздат, 1982. 672 с.
9. Бидерман В.Л. и др. Автомобильные шины (конструкция, расчёт, испытание, эксплуатация) М.: Госхимиздат, 1963. 384 с.
10. Ульянов Ф.Г. Повышение проходимости и тяговых свойств колёсных тракторов на пневматических шинах. М.: Машиностроение, 1964. 135 с.