

Дубинин Е.А.  
Харьковский национальный авто-  
мобильно-дорожный университет»

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ  
ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ КОЛЕСНОЙ  
МАШИНЫ ПРИ БОКОВОМ СТОЛКНОВЕНИИ С  
ПРЕПЯТСТВИЕМ

УДК 629.017

Проведена оценка устойчивости положения шарнирно-сочлененной колесной машины при боковом столкновении с препятствием вследствие заноса. Предложен критерий критической скорости, необходимой для опрокидывания, с учетом конструктивных особенностей шарнирно-сочлененных машин. Установлено, что изменение углов складывания секций и высота препятствия оказывают комплексное влияние на предложенный критерий устойчивости. На примере шарнирно-сочлененной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН установлено, что критическая скорость в реальных условиях эксплуатации может изменяться до 15%. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации шарнирно-сочлененных колесных машин.

**Ключевые слова:** колесная машины, критическая скорость, устойчивость, эксплуатация, проектирование.

**Постановка проблемы.** На устойчивость положения колесных машин влияет большое количество факторов. При этом шарнирно-сочлененные машины, при использовании в качестве технологического транспорта в условиях реальной эксплуатации, в том числе и в лесном хозяйстве, могут попадать в аварийные ситуации, связанные с явлением заноса. Причем занос может, при неблагоприятном стечении обстоятельств, привести к боковому опрокидыванию машины. К таким обстоятельствам может быть отнесено наличие элементов опорной поверхности, в которые в процессе заноса машина будет упираться боковыми поверхностями колес. В настоящее время оценке устойчивости шарнирно-сочлененных колесных машин в такой ситуации, с учетом их конструктивных особенностей, уделено недостаточно внимания. Поэтому проведенное исследование является актуальным.

**Анализ последних исследований.** По данным экономической комиссии ООН, а также Всемирной Организации Здравоохранения ежегодно в мире происходит около 55 млн. дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1-3]. При этом данные, приведенные в источниках [4-6] говорят о том, что значительное количество пострадавших в ДТП связаны с эксплуатацией колесных тракторов. Наиболее травмоопасными являются аварии, связанные с опрокидыванием таких машин. В то же время в Глобальных технических правилах №8 “Электронные системы контроля устойчивости” 2008 года [7] отмечается, что: “... контроль за устойчивостью к опрокидыванию представляет собой новый метод, который все еще находится в стадии разработки”. При этом отмечено, что подавляющее большинство аварий с опрокидыванием происходит в том случае, когда транспортное средство съезжает с дороги и наезжает на такие препятствия, обладающие сдерживающим эффектом, как: мягкий грунт, насыпь, обочина или защитный барьер. По данным [8] более 70% ДТП с опрокидыванием происходит в сельской местности, причем одним из основных факторов, влияющих на опрокидывание (более 60% от общего количества) является скольжение по опорной поверхности.

**Формулирование целей статьи.** Целью работы является оценка устойчивости колесных шарнирно-сочлененных машин при боковом столкновении с препятствием

вследствие заноса с учетом взаимного складывания их секций. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать критерий оценки устойчивости при боковом столкновении с препятствием с учетом влияния конструктивных особенностей шарнирно-сочлененных машин;
- оценить устойчивость положения шарнирно-сочлененных машин на примере колесного трактора с номинальным тяговым усилием 30 кН.

**Основная часть.** В работе [9] получены аналитические выражения для коэффициента устойчивости шарнирно-сочлененного колесного трактора и тракторного поезда при повороте, которые позволяют оценивать их устойчивость против заноса при различном распределении крутящих моментов между мостами. Так, для устойчивого движения с одноосным прицепом обоснована необходимость распределения более 80% крутящего момента двигателя на переднюю ось, а для движения по грунтовой дороге и укатанному снегу с двухосным прицепом – балластирование задней секции трактора. При движении шарнирно-сочлененной машины без учета разработанных рекомендаций по грунтовой дороге или укатанному снегу возможны ситуации, связанные с недостаточной устойчивостью движения, которые могут приводить к заносу.

При контакте с препятствием в процессе заноса одного из колес борта трактора опасность для опрокидывания незначительная, так как машина в этом случае будет продолжать вращательное движение относительно нового центра вращения – точки контакта боковой поверхности колеса с препятствием. Гораздо опаснее ситуация с одновременным или последовательным упором колес одного борта в препятствие. В этом случае возникает опрокидывающий момент в вертикальной поперечной плоскости, стремящийся нарушить устойчивость положения машины.

Для моделирования поведения шарнирно-сочлененной машины в такой ситуации примем ряд допущений:

- расстояния от центров масс секций и центров мостов до соединительного шарнира одинаковые;
- углы поворота секций в горизонтальной плоскости равны;
- высота препятствия одинакова для всех рассматриваемых случаев;
- наличием свободы взаимного перемещения секций в вертикальной плоскости пренебрегаем (горизонтальный шарнир заблокирован);
- величиной подкатывания секций в продольном направлении пренебрегаем вследствие малых углов их складывания.

На рисунке 1 приведены схемы для оценки параметров шарнирно-сочлененной машины при опрокидывании.

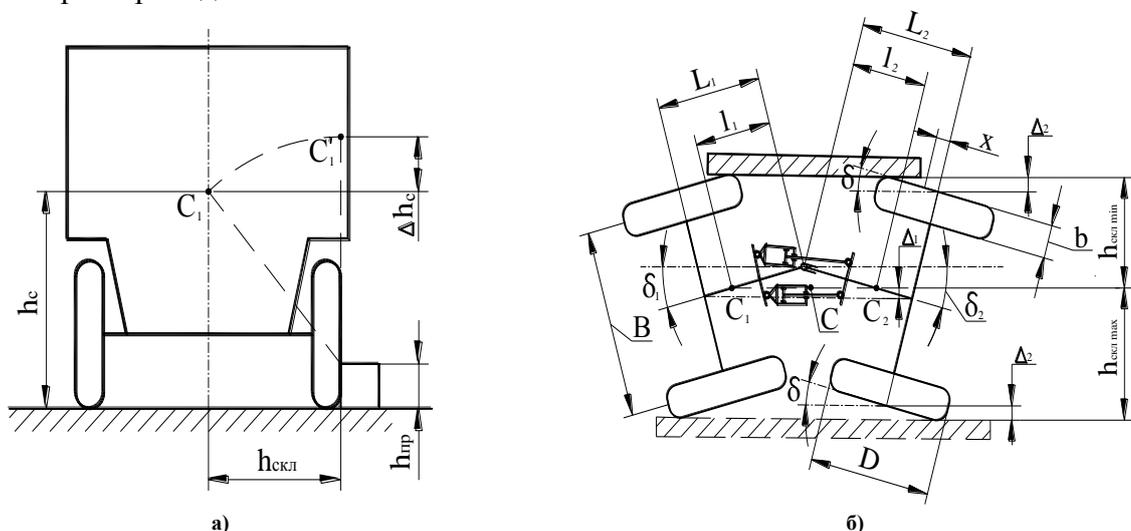


Рисунок 1 - Оценка параметров шарнирно-сочлененной машины при опрокидывании с боковым упором в препятствие

С использованием энергетического метода определения параметров процесса опрокидывания [8], в качестве критерия устойчивости положения при заносе с упором в препятствие возможно использование критической скорости  $V_y$ , при которой возможно боковое опрокидывание колесной машины. Опрокидывание возможно при превышении значения кинетической энергии  $W_k$ , приобретенной машиной в процессе движения, к потенциальной энергии  $W_n$ , обладаемой машиной, то есть

$$W_k \geq W_n. \quad (1)$$

Кинетическая энергия может быть определена как

$$W_k = \frac{m \cdot V_y^2}{2}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса машины;

$V_y$  – линейная скорость центра масс машины в боковом направлении, перпендикулярном оси опрокидывания.

Потенциальная энергия может быть определена как

$$W_n = m \cdot g \cdot \Delta h_c, \quad (3)$$

где  $\Delta h_c$  – высота подъема центра масс машины при столкновении с препятствием (с учетом высоты препятствия) (рис. 1а);

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,

$$\Delta h_c = \sqrt{(h_c - h_{np})^2 + h_{скл}^2} - h_c + h_{np}. \quad (4)$$

где  $h_c$  – высота центра масс машины;

$h_{np}$  – высота препятствия;

$h_{скл}$  – расстояние от проекции центра масс машины на опорную плоскость до ее оси опрокидывания (рис. 1б).

Критерий критической скорости при заносе с упором в препятствие в этом случае будет находиться по зависимости

$$V_y \geq \sqrt{2 \cdot g \cdot \left( \sqrt{(h_c - h_{np})^2 + h_{скл}^2} - h_c + h_{np} \right)}. \quad (5)$$

От особенностей конструкции колесного трактора (колеи  $B$ , динамического радиуса колеса  $R_0$ , ширины шины  $b$ , расстояния от центра моста до соединительного шарнира  $L = L_1 = L_2$ , расстояния от центра масс секции до соединительного шарнира  $l = l_1 = l_2$ ) зависит расположение оси опрокидывания при упоре в препятствие. Высота

препятствия также влияет на расположение точки контакта колеса с ним, при этом продольное смещение  $x$  такой точки относительно центра колеса можно определить с использованием известной зависимости для нахождения координат точек, лежащих на окружности. Получим зависимость

$$x = R_{\delta} - \sqrt{R_{\delta}^2 - h_{np}^2} . \quad (6)$$

Предельным состоянием при опрокидывании является подъем центра масс машины, при котором его проекция на опорную плоскость будет лежать на ее оси опрокидывания. Дальнейший выход проекции за ось опрокидывания будет означать опрокидывание машины в поперечной плоскости. Расположение проекции центра масс и оси опрокидывания может изменяться в зависимости от положения секций шарнирно-сочлененной машины при повороте на углы  $\delta = \delta_1 = \delta_2$ , при этом расстояние между ними  $h_{скл}$  будет различным ( $h_{скл \min}$  при складывании в сторону препятствия и  $h_{скл \max}$  при складывании в сторону, противоположную препятствию) и определяться по зависимостям

$$h_{скл \min} = \frac{(B + b)}{2} - \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{(B + b)}{2} - (L - l) \cdot \sin \delta + x \cdot \sin \delta ; \quad (7)$$

$$h_{скл \max} = \frac{(B + b)}{2} + \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{(B + b)}{2} + (L - l) \cdot \sin \delta + x \cdot \sin \delta . \quad (8)$$

Для определения  $h_{скл}$  был рассмотрен процесс складывания шарнирно-сочлененной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН с выбранными характеристиками ( $L = 1,38$  м,  $l = 1,25$  м,  $B = 1,86$  м,  $R_{\delta} = 0,7$  м,  $b = 0,54$  м,  $\delta = 0..15^{\circ}$ ). Результаты представлены в виде таблицы.

Таблица 1.

**Изменение  $h_{скл}$  в зависимости от угла складывания двух секций  $2\delta$**

$2\delta$ , град	0	6	12	18	24	30
$h_{скл \min}$ , м	1,200	1,195	1,189	1,184	1,179	1,174
$h_{скл \max}$ , м	1,200	1,208	1,217	1,225	1,233	1,241

Результаты расчетов критерия устойчивости положения при заносе с упором в препятствие высотой  $h_{np} = 0,2$  м представлены на рисунке 2. Установлено, что при складывании секций шарнирно-сочлененной машины в сторону препятствия параметр устойчивости уменьшается. При складывании в сторону, противоположную препятствию – увеличивается. При этом абсолютное изменение критерия критической скорости имеет одинаковую тенденцию (рис. 3).

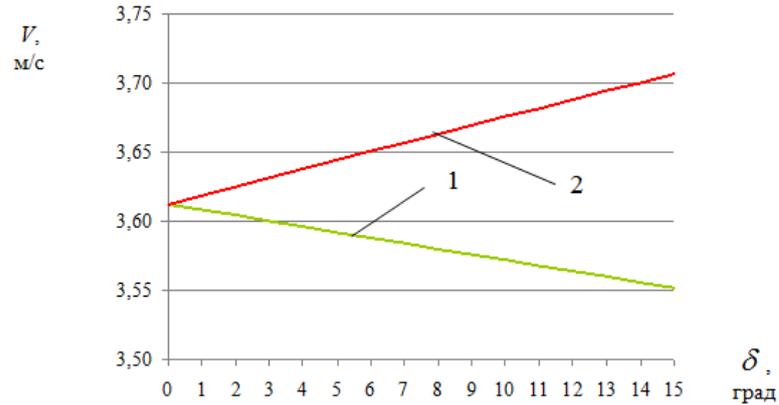


Рисунок 2 - Зависимость скорости, необходимой для опрокидывания, от углов складывания секций: 1 - при складывании в сторону препятствия, 2 - при складывании в сторону, противоположную препятствию

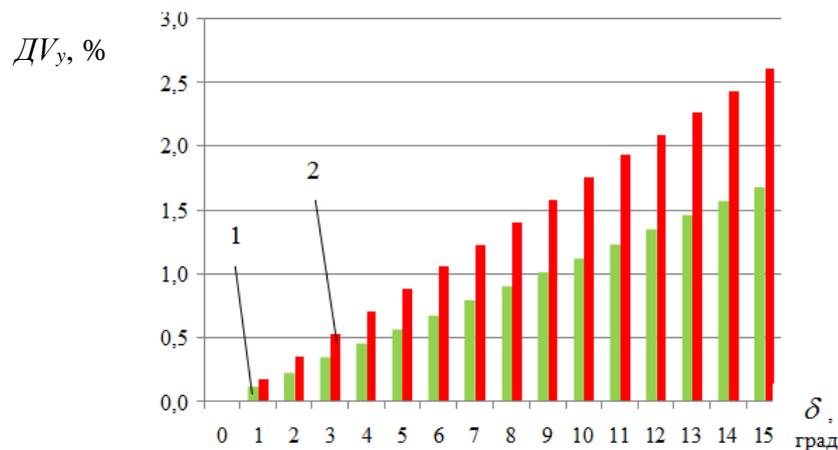


Рисунок 3 - Изменение скорости, необходимой для опрокидывания, от углов складывания секций: 1 - при складывании в сторону препятствия, 2 - при складывании в сторону, противоположную препятствию

Изменение высоты препятствия  $h_{np}$  и углов складывания секций  $\delta$  оказывают комплексное влияние на критерий критической скорости, необходимой для опрокидывания (рис. 4). Установлено, на примере наиболее опасной ситуации – складывания в сторону препятствия, что с увеличением углов складывания секций критическая скорость, необходимая для опрокидывания, уменьшается. При этом с увеличением высоты препятствия  $V_y$  увеличивается.

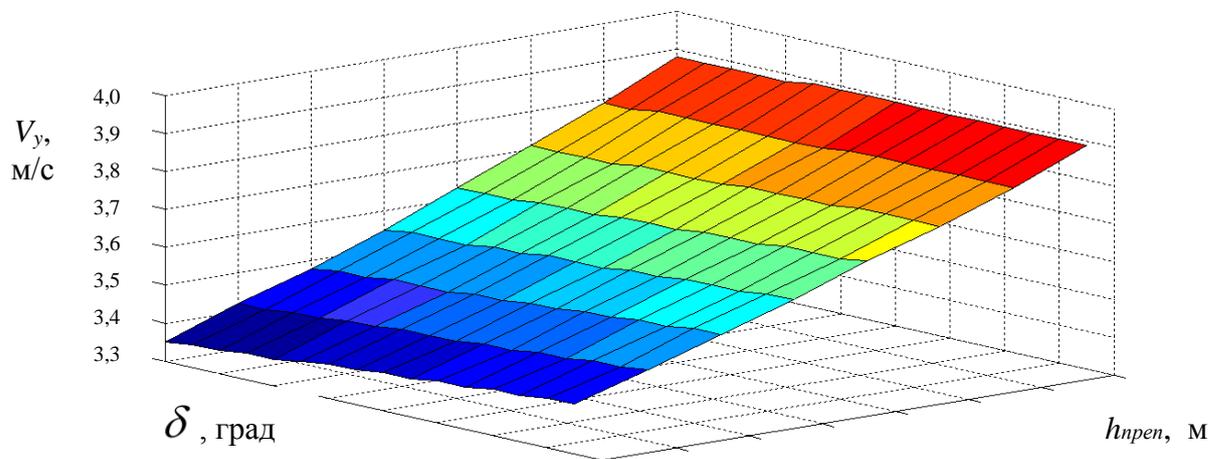


Рисунок 4 - Зависимость критической скорости опрокидывания от углов складывания секций и высоты препятствия

Выводы. Проведена оценка устойчивости положения шарнирно-сочлененной колесной машины при боковом столкновении с препятствием вследствие заноса. Предложен критерий критической скорости, необходимой для опрокидывания, с учетом конструктивных особенностей шарнирно-сочлененных машин. Установлено, что изменение углов складывания секций и высоты препятствия оказывают комплексное влияние на критерий критической скорости, необходимой для опрокидывания. На примере шарнирно-сочлененной колесной машины с номинальным тяговым усилием 30 кН в наиболее опасной ситуации (складывание в сторону препятствия) установлено, что с увеличением углов складывания секций до  $15^0$  и увеличением высоты препятствия до 0,4 м критическая скорость изменяется в пределах до 15%.

### Литература

1. Дзюба П.Я. Безопасность движения автомобилей и тракторов / П.Я. Дзюба, И.Г. Козлов. – Киев: Урожай, 1979. – 145 с.
2. Лукьянов В.В. Безопасность дорожного движения / Лукьянов В.В. – М.: Транспорт, 1982. – 262 с.
3. Пенежко Г.И. Безопасность движения на автомобильном транспорте / Пенежко Г.И. – М.: Транспорт, 1976. – 216 с.
4. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов / Коновалов В.Ф. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
5. Коновалов В.Ф. Результаты экспериментального изучения динамической устойчивости колесных тракторов / В.Ф. Коновалов // Повышение рабочих скоростей тракторов и сельскохозяйственных машин. – М.: ЦИНТИМАШ, 1963. – С. 147-152.
6. Маргелашвили О.В. Курсовая устойчивость трактора / Маргелашвили О.В. – Тбилиси: Мецниереба, 1984. – 84 с.
7. Электронные системы контроля устойчивости: ECE/TRANS/180/ Add.8 – [Введены в Глобальный регистр. 2008 – 06 – 26] – Женева: Глобальный регистр. Организация объединённых наций, 2008. – 116 с.
8. Джонс И.С. Влияние параметров автомобиля на дорожно-транспортные происшествия / Джонс И.С.; пер. с англ. С.Р. Майзельс; под ред. Р.В. Ротенберга. – М.: Машиностроение, 1979. – 207 с.
9. Забелышинский З.Э. Оценка устойчивости шарнирно-сочлененного колесного трактора и тракторного поезда в различных дорожных условиях / З.Э. Забелышинский, М.А. Подригало, Е.А. Дубинин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – № 8 (1117). – С. 3-10.

**Y. Dubinin Evaluation of the articulated wheeled vehicle position stability in a side collision with an obstacle**

The sustainability of articulated wheel vehicle in a side collision with an obstacle due to skidding is evaluated. The criterion of the critical speed required for overturning, taking into account the structural characteristics of articulated vehicles is proposed. Set that changing the angles of the folding sections and the height of the obstacle provide the comprehensive impact on the proposed stability criterion. On example of articulated vehicle with a nominal pulling force of 30 kN is established that the critical speed in real conditions of operation can vary up to 15%. The obtained results can be used at the design and operation of articulated wheeled vehicles.

**Keywords:** car wheel, the critical speed, stability, operation, design.

**References**

1. Dzyuba PY Safety car traffic and tractors / PY Dzyuba, IG Kozlov. - Kiev: Harvest, 1979. - 145 p.
2. VV Lukyanov Road safety / VV Lukyanov - M.: Transport, 1982. - 262 p.
3. Penezhko GI Traffic safety in road transport / Penezhko GI - M.:Transport, 1976. - 216p.
4. VF Konovalov Dynamic stability of tractor / VF Konovalov - M.: Engineering, 1981. - 144 p.
5. VF Konovalov The results of an experimental study of the dynamic stability of the wheel tractor / VF Konovalov // Increased operating speeds of tractors and agricultural machinery. - M.: TSINTIMASH, 1963. - P. 147-152.
6. Margelashvili OV tractor / Margelashvili O. Exchange rate stability - Tbilisi: Metsniereba, 1984. - 84 p.
7. Electronic Stability Control: ECE / TRANS / 180 / Add.8 - [Established in the Global Registry. 2008 - 06 - 26] - Geneva: Global Registry. United Nations, 2008. - 116 p.
8. JS Jones Influence of parameters of the car on road accidents / Jones IS.; per. from English. SR Mayzels; ed. RV Rothenberg. - M.: Engineering, 1979. - 207 p.
9. Zabelyshinsky ZE Assessment of the stability of the articulated wheeled tractor and tractor train in a variety of road conditions / ZE Zabelyshinsky, MA Podrigalo, EA Dubinin // News NTU "KhPI". Seriya: Avtomobile- that traktorobuduvannya. - H.: NTU "KhPI», 2015. - № 8 (1117). - S. 3-10.