

УДК 631.303

© Г.А. Хайлис, д.т.н., Н.Н. Толстушко, к.т.н., В.Л. Мартынюк, к.т.н.,
Н.А. Толстушко

Луцкий национальный технический университет

© М.В. Шевчук

Национальный научный центр «Институт механизации и
электрификации сельского хозяйства»

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПРИЦЕПНОЙ ДВУХКОЛЁСНОЙ МАШИНЫ НА СКЛОНАХ ПОЛЕЙ

В статье рассмотрены особенности работы прицепной двухколесной машины на склонах полей и пути улучшения устойчивости этой машины.

МАШИНА, СКЛОН, ПОЛЕ, ОПОРА, КОЛЕСО, ОСЬ, ПОВОРОТ.

Постановка проблемы. Работа сельскохозяйственных машин в полевых условиях во многом зависит от размеров полей и их склонов. Зависит эта работа и от конструктивных особенностей машин, их габаритов и нагрузок, преодолеваемых их рабочими органами при выполнении технологических процессов. Подобные машины используются и в лесном хозяйстве. Все эти вопросы подлежат исследованию.

Анализ последних исследований и публикаций. По работе машин на склонах полей проведен ряд исследований [1-8], однако устойчивость работы этих машин исследована недостаточно. Так, недостаточно исследовано влияние конструктивных параметров машин и особенностей расположения полей на устойчивость работы этих машин. В похожих условиях часто работают лесные машины.

Цель исследования – проанализировать возможное положение прицепной двухколесной машины и её рабочих органов на склонах полей без учета сопротивлений при обработке почвы и материалов и определить пути улучшения работы этой машины и недопущения её возможного опрокидывания при работе.

Результаты исследования. Одной из сравнительно простых машин является прицепная двухколесная машина, содержащая раму, колеса, рабочие органы, ёмкости, механизм привода рабочих органов и прицепное устройство для присоединения к трактору. Такой машиной является, например, сеялка. Рассмотрим на примере этой машины, как влияет наклон поля на её положение в поле и возможности выполнения её технологического процесса.

Рассмотрим сначала силы, действующие на машину, находящуюся на горизонтальном поле. Схема такой машины представлена на рис.1, на котором дан вид сзади на нее на горизонтальном поле. Машина эта состоит из рабочего органа 1, схематически изображенного в виде прямоугольника $ABDE$, осей 2 и 3 и колес 4 и 5. Центр тяжести машины находится в средней ее точке C ; в этой точке приложена сила G тяжести машины, направленная на горизонтальном поле вертикально вниз. Реакции колес N_1 и N_2 направлены в данном случае вертикально вверх, будем считать их приложенными в середине каждой нижней части ободьев колес, что справедливо при равномерном распределении давления почвы на эти ободья. Считаем, что $N_1 = N_2 = G/2$. Ширину машины вместе с колесами обозначим L , а ширину обода колеса обозначим b (она одинакова и для левого колеса, и для правого колеса).

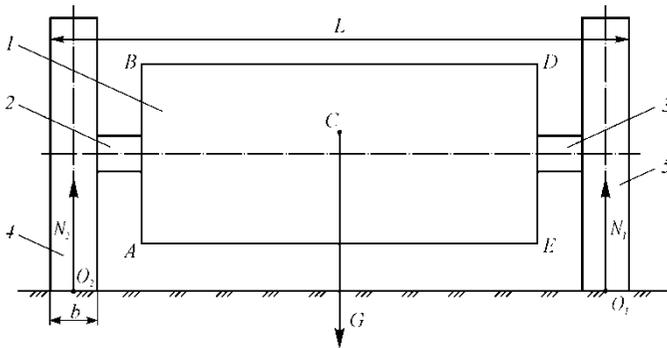


Рис. 1 – Схема машины на двух опорах на горизонтальном поле (вид сзади): 1 – схема рабочего органа; 2 и 3 – оси колес; 4 – левое колесо; 5 – правое колесо.

А теперь посмотрим, что произойдет с машиной, если она окажется на поле с уклоном в какую либо сторону. Пусть это будет уклон в правую сторону. Такая схема представлена на рис. 2. Поле здесь находится под углом α к горизонтали KL' .

В этом случае из-за поворота машины по часовой стрелке вокруг точки K на угол α отклонения линии поля L_1K от горизонтали L'_1K машина оказывается наклоненной вправо и вниз на указанный угол α ; при этом соответственно повернется и сила G на угол α . Считаем, что при таком изменении положения машины

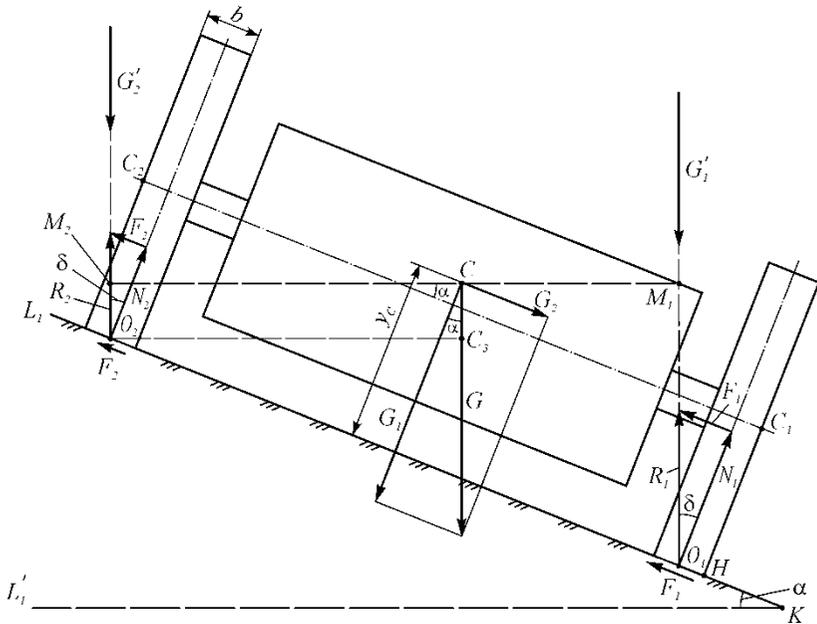


Рис. 2 – Схема машины, приведенной на рис. 1, после её поворота на угол α , под которым оказалась поверхность поля, и действие сил на машину и её колёса

положение её центра тяжести C не меняется, т.е. считаем, что перемещения материалов и деталей внутри машины во время её поворота не происходят, а расстояния от центра тяжести машины до её опорной плоскости и колес не меняется. При таком повороте силы G машина будет действовать на поверхность поля перпендикулярно этой поверхности с силой G_1 и параллельно поверхности поля с силой G_2 , т.е. силу G можно теперь показать разложенной на две составляющие G_1 и G_2 , равные:

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= G \cos \alpha; \\ G_2 &= G \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Под действием составляющей G_1 машина прижимается к поверхности почвы, а под действием составляющей G_2 машина стремится сдвинуться вправо, преодолевая сопротивление трению, которое создается почвой в зонах ее соприкосновения с нижними

частями колес, где расположены точки O_1 и O_2 . Всю силу трения почвы о нижние части колес обозначим F , эта сила состоит из двух составляющих F_1 и F_2 ; из них составляющая F_1 действует в зоне нахождения точки O_1 , а составляющая F_2 действует в зоне нахождения точки O_2 . Составляющая F_1 равна $f_{\Pi}N_1$, а составляющая F_2 равна $f_{\Pi}N_2$, где f_{Π} – коэффициент трения покоя, а N_1 и N_2 – это нормальные силы реакций почвы в зоне нахождения точек O_1 и O_2 . Тогда условие нескольжения колес по почве выразится следующим образом:

$$F_{1max} + F_{2max} > G_2 \quad (2)$$

или

$$f_{\Pi max}(N_1 + N_2) > G_2, \quad (2')$$

где F_{1max} , F_{2max} и $f_{\Pi max}$ – максимальные значения сил F_1 и F_2 , и коэффициента f_{Π} .

Силу G в положении на рис. 2 можно разложить на две параллельные ей силы G_1' , действующую по линии через точку O_1 , и G_2' , действующую по линии через точку O_2 . Для этого проведем на рис. 2 через точку C линию, перпендикулярную силе G , и отметим на этой линии в правой части точку M_1 , а в левой части линии отметим точку M_2 . По линии M_2O_2 действует составляющая сила G_2' , а по линии M_1O_1 действует составляющая сила G_1' . Линии M_1O_1 и M_2O_2 параллельны линии действия силы G . Точки O_1 и O_2 , как видно из рис. 1, являются точками приложения сил реакции почвы N_1 и N_2 , действующих со стороны почвы на ободья правого и левого колес. На рис. 2 сила G отклонена на угол α от вертикали, т.е. от того положения, которое есть на рис. 1, соответственно и силы реакции почвы на ободья колес на рис. 2, обозначенные R_1 и R_2 , должны быть повернуты на угол α от вертикалей, по которым действуют силы реакций N_1 и N_2 на рис. 1.

Как видно из рис. 2, на правое колесо в точке O_1 со стороны почвы действуют нормальная сила реакции N_1 и касательная сила реакции F_1 . Сила F_1 представляет собой силу трения покоя почвы о поверхность обода колеса, ввиду чего можно записать что

$$F_1 = f_{II} N_1, \quad (3)$$

где f_{II} – коэффициент трения покоя почвы об обод колеса.

В этой формуле (3) фигурирует коэффициент трения покоя, а не коэффициент трения скольжения потому, что обод колеса не должен двигаться относительно почвы в направлении линии действия силы F_1 , а должен оставаться своей серединой на уровне точки O_1 . Ввиду этого угол δ между силами R_1 и N_1 есть угол трения покоя, а коэффициент f_{II} равен $tg\delta$. Так как силы R_1 и G_1' действуют по одной линии, а сила G_1' параллельна силе G , то угол δ равен углу α между силами G и G_1' , т.е. сила G_1' и сила R_1 параллельны силе G .

Из рис. 2 видно, что на левое колесо в точке O_2 действуют со стороны почвы нормальная сила реакции N_2 и касательная сила реакции F_2 , представляющая собой силу трения, о которой выше говорится применительно к правому колесу.

Равнодействующей сил N_2 и F_2 является сила R_2 , отклоненная от силы N_2 на угол трения δ , о котором выше говорится. Сила G_1' действует на правое колесо противоположно силе R_1 , а сила G_2' действует на левое колесо противоположно силе R_2 . При угле α , равном нулю, силы F_1 и F_2 равны нулю, а сила R_1 равна $G/2$, этому же значению $G/2$ равняется сила R_2 при $\alpha = 0$.

Так как силы G , R_1 и R_2 параллельны, а сила G противоположно направлена по отношению к силам R_1 и R_2 , то на основании закона теоретической механики по разложению силы на две ей параллельные можно записать, что

$$G = |R_1| + |R_2|, \quad (4)$$

где $|R_1|$ и $|R_2|$ – модули сил R_1 и R_2 .

С другой стороны, на основании того же закона теоретической механики о разложении силы на две, ей параллельные, мы можем записать, что

$$|R_1| M_1C = |R_2| M_2C, \quad (5)$$

где M_1C и M_2C – расстояния M_1C и M_2C на рис. 2.

Из равенств (4) и (5) следует, если учитывать только величину сил (без направления):

$$M_2 C = \frac{R_1}{G} M_1 M_2 ; \quad (6)$$

$$M_1 C = \frac{R_2}{G} M_1 M_2 . \quad (7)$$

Расстояние $M_1 M_2$ (рис. 2) меньше расстояния $O_1 O_2$, равного $L - 2 \frac{b}{2}$, и определяется по формуле:

$$M_1 M_2 = L - b \cdot \cos \alpha . \quad (8)$$

Подставляя значения $M_1 M_2$ по (8) в равенства (6) и (7), получим:

$$M_1 C = \frac{R_2}{G} \cdot L - b \cdot \cos \alpha ; \quad (9)$$

$$M_2 C = \frac{R_1}{G} \cdot L - b \cdot \cos \alpha . \quad (10)$$

Таковы основные зависимости между величинами, которые характеризуют движение рассматриваемой машины на склонах полей.

Как видно из рис. 2 и формул (1), (2), (6), (7), (8), (9) и (10) с ростом угла α возрастают составляющие силы G_2 и G'_1 , и уменьшаются составляющие силы G_1 и G'_2 . Это значит, что с ростом угла α линия действия силы G приближается к нижней части правого колеса, что опасно для машины, так как при таком приближении линии действия силы G к точке O_1 возможно опрокидывание машины вправо.

Обозначим нижнюю правую точку правого колеса машины H (рис. 2). Тогда в случае, когда линия действия силы G будет проходить правее точки H , машина опрокинется вправо. Близкий к этому случай представлен на рис. 3. На этом рисунке машина настолько повернута вправо вокруг точки H , что линия CH стала почти вертикальной. Положение этой линии соответствует случаю, когда действующая сила тяжести G начинает опрокидывать машину вправо. Угол α между линией действия опрокидывающей силы G и перпендикуляром к линии, соединяющей нижние точки колес машины H и H_1 (рис. 3), обозначим α_0 . При таком угле поворота α_0 машина начнет опрокидываться, поэтому при работе во избежание

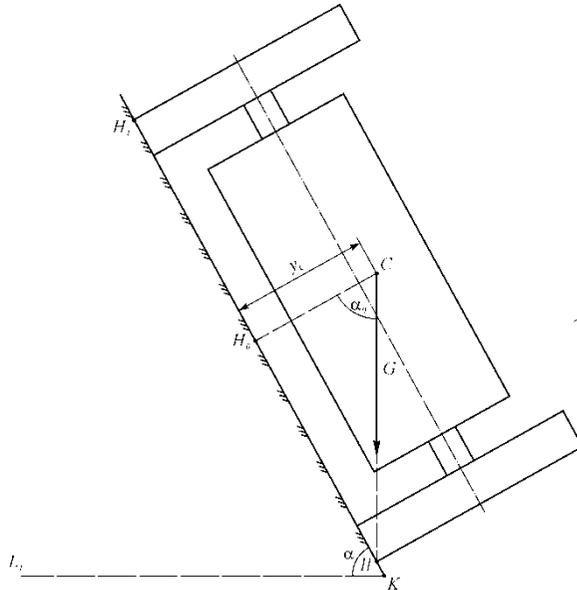


Рис. 3 – Положение машины, приведенной на рис. 1 и 2, перед началом её опрокидывания

опрокидывания машины нельзя допустить такого её поворота на такой большой угол α .

Тангенс угла α_0 равен отношению $\frac{HH_0}{CH_0}$, где HH_0

равняется половине расстояния L на рис. 1, а CH_0 равно расстоянию от центра тяжести машины C до поверхности поля на рис. 1 и 3. Обозначим это расстояние y_c . Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{L}{2 \cdot y_c}. \quad (11)$$

Чтобы опрокидывания машины не было, надо чтобы агрегат работал при таком угле α , который значительно меньше α_0 . Это достигается увеличением расстояния L (рис. 1), уменьшением высоты расположения центра тяжести машины C и уменьшением, по возможности, расстояния от рабочих органов машины до земли. Оптимальным значением угла α_0 следует считать угол, не превышающий значения 20° .

Выводы. В результате анализа сил, действующих на прицепную двухколесную машину при её работе на склонах полей, установлено условие, при котором машина может работать на этих склонах без опрокидывания. Это условие заключается в том, что угол отклонения линии склона от горизонтали должен быть значительно меньше угла α_0 , определяемого из формулы (11). С другой стороны, работать на такой машине нужно так, чтобы полностью выполнялся требуемый технологический процесс, и чтобы были обеспечены работоспособность, надежность и техника безопасности.

Литература

1. Павловський М.А. Теоретична механіка: підручник / Павловський М.А. – К.: Техніка, 2004. – 512 с.
2. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навчальний посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
3. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / [Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. и др.]; под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
4. Усенко М.В. Обґрунтування вдосконалення робочих органів малогабаритних машин для вирощування однорічних культур на схилах / М.В. Усенко // [Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті](#). – 2014. – № 1. – С. 121 – 128.
5. Хайліс Г.А. Теория льноуборочных машин / Хайліс Г.А. – М.: Росинформагротех, 2011. – 322 с.
6. Хайліс Г.А. Некоторые особенности копирования микрорельефа поля льнотеребилным агрегатом в поперечно-вертикальной плоскости / Г.А. Хайліс, И.Г. Усевич // [Труды Великолуцкого сельхозинститута](#). Вып. 30. – Елгава: Латв. СХА. – 1973. – С. 92 – 95.
7. Зима І.М. Механізація лісогосподарських робіт: підручник / І.М. Зима, Т.Т. Малюгін. – К.: ІНКОС, 2006. – 488 с.
8. Машини і обладнання для лісового господарства: посібник / за ред. В.І. Кравчука. – Дослідницьке: УкрНДПІВТ ім. Л. Погорілого, 2011. – 192 с.