

12. Il'in I.V., Ignatkin I.YU., Kuryachiy M.G., Bondarev A.M. Rekuperatsiya teploty v svinovodstve [Heat recovery in pig breeding]. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2015. No. 9 (118). Pp. 40-41. (in Rus).

13. Ignatkin I.Yu. Analiz effektivnosti primeneniya rekuperatorov teploty UT-6000S, UT-3000 v sisteme mikroklimata sektsii otkorma na 300 golov svinokom-

pleksa "Firma Mortadel" [Analysis of the efficiency of heat recuperators UT-6000S, UT-3000 in the microclimate system of the fattening section for 300 heads of the "Mortadel Firm" pig breeding enterprise]. *Vestnik VNIIMZH*. 2015. No. 1 (17). Pp. 107-111. (in Rus).

Received on March 6, 2017

УДК 629.017

### **ЩИГОЛЕВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

E-mail: sergeysch127@mail.ru

### **ЛОМАКИН СЕРГЕЙ ГЕРАСИМОВИЧ, канд. техн. наук, профессор**

E-mail: irina17-12-69@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА КОЛЕСА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА, НАХОДЯЩЕГОСЯ НА ПОПЕРЕЧНОМ СКЛОНЕ**

Способность сохранять свое устойчивое положение в различных условиях эксплуатации влияет на безопасность работы самоходных сельскохозяйственных машин. Одной из характеристик, определяющих указанное свойство, является угол поперечной статической устойчивости. На величину угла поперечной статической устойчивости машины в определенной степени влияет деформация шин, которая, в свою очередь, зависит от приходящихся на них нагрузок. Для определения нагрузок, действующих на колеса комбайна, разработали расчетную схему, в соответствии с которой вывели аналитические зависимости для определения действующих сил. Полученные расчетные данные показывают, что нагрузки, действующие на колеса ведущего и управляемого мостов, при боковом крене изменяются непропорционально. Это обусловлено применением в качестве элемента подвески, отвечающего за приспособляемость машины к условиям рельефа, моста управляемых колес балансирующего типа. В результате под действием составляющей веса задней части комбайна, действующей вдоль склона, создается момент сил, приводящий к перераспределению нагрузок между колесами ведущего моста. Сделан вывод о влиянии балансирующей подвески моста управляемых колес на особенности перераспределения нагрузки между колесами машины и безопасность ее эксплуатации.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, трактор, поперечная устойчивость, балансирующий мост управляемых колес, центр масс, деформация шины, нагрузка на колеса.

**Введение.** Способность сохранять свое устойчивое положение в различных условиях эксплуатации влияет на безопасность работы самоходных сельскохозяйственных машин. Одной из характеристик, определяющих указанное свойство, является угол поперечной статической устойчивости [1].

Ходовая часть значительного количества сельскохозяйственных машин (таких как кормо- и зерноуборочные комбайны, тракторы) не имеет подпрессоренных элементов. Снижение нагрузки на раму у таких машин, а также обеспечение возможности копирования рельефа поля при движении достига-

ется установкой моста управляемых колес балансирующего типа.

Как известно [2], значение угла поперечной статической устойчивости для машин с балансирующим мостом управляемых колес зависит от высоты ( $h_0$ ) расположения шарнира подвеса моста управляемых колес над опорной поверхностью, вертикальной ( $h_c$ ) и горизонтальной ( $c$ ) координат центра масс машины, величин колеи ( $b$ ) ведущих колес и продольной базы ( $l$ ) ходовой части.

Кроме рассмотренных параметров, на величину угла устойчивости влияет деформация шин, поскольку она может вызвать смещение центра

масс (ЦМ) машины, что изменит соотношение значений опрокидывающего и стабилизирующего моментов сил, участвующих в процессе потери устойчивости. На величину деформации шин значительное влияние оказывает нагрузка, приходящаяся на колесо.

**Цель исследования** – рассмотреть влияние балансирной подвески моста управляемых колес к раме комбайна на особенности перераспределения нагрузок между колесами мостов при поперечном крене самоходных сельскохозяйственных машин.

**Материал и методы.** В статье рассмотрены особенности перераспределения нагрузок между колесами зерноуборочного комбайна при его поперечном крене.

**Результаты и обсуждение.** При поперечном крене машины шины противоположных бортов испытывают разную нагрузку, что приводит к неодинаковому изменению высоты их профиля и боковой (поперечной) деформации.

Обычно в литературе рассчитывают реакции опорной поверхности не на отдельные колеса, а определяют ее для колес одного борта [3, 4]. Иногда учитывают перераспределение нагрузки между колесами разных мостов [5]. В соответствии с этими методиками нагрузка на колеса мостов зависит от сил тяжести, приходящихся на ведущий ( $G_a$ ) и управляемый ( $G_y$ ) мосты, высоты приложения этих сил

( $h_b$  и  $h_y$ ) над опорной поверхностью и ширины колеи ведущих и управляемых колес ( $b_b$  и  $b_y$ ). Для определения нормальных реакций опорной поверхности на колеса ведущего моста ( $R_b$ ) и моста управляемых колес ( $R_y$ ) будут использоваться выражения (знак «+» – для колеса, находящегося ниже по склону; знак «-» – для колеса, находящегося выше по склону):

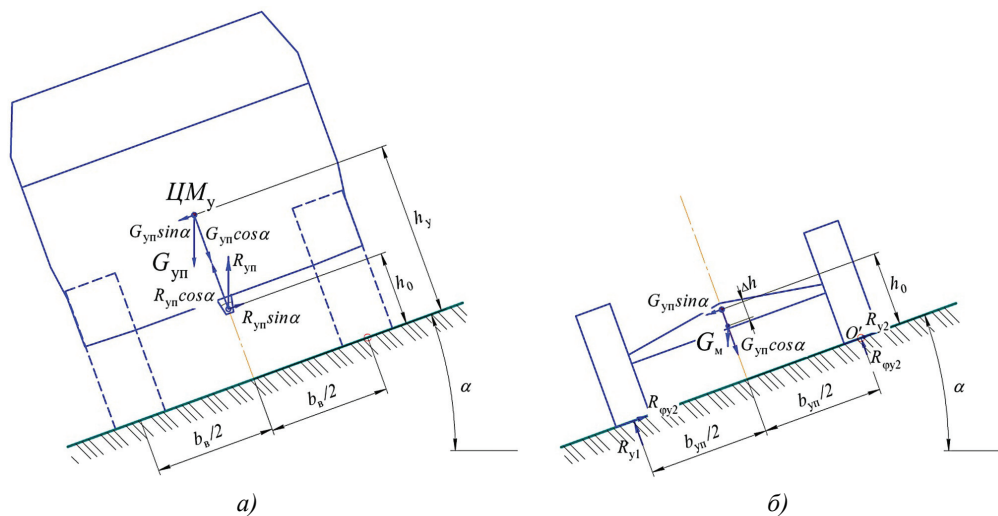
$$R_y = G_y \left( 0,5 \cos \alpha \pm \frac{h_y}{b_y} \sin \alpha \right), \quad (1)$$

$$R_b = G_b \left( 0,5 \cos \alpha \pm \frac{h_b}{b_b} \sin \alpha \right). \quad (2)$$

В этих формулах  $G_b$  и  $G_y$  – вес машины, приходящийся на ведущие и управляемые колеса;  $h_b$  и  $h_y$  – высота приложения сил  $G_b$  и  $G_y$ .

Как видно из представленных выражений, величина определяемых реакций зависит от веса машины, приходящегося на рассматриваемый мост, ширины колеи установки его колес и высоты приложения сил  $G_b$  и  $G_y$ .

Для определения сил, действующих на колеса зерноуборочного комбайна, стоящего на поперечном склоне, следует учесть наличие балансирной подвески моста управляемых колес. В таком случае для определения реакций  $R_b$  и  $R_y$  используем схемы, представленные на рисунках 1 и 2.



**Рис. 1. Схема нагружения управляемых колес комбайна, находящегося на поперечном склоне: а – нагружение шарнира моста; б – нагружение колес**

Нормальную нагрузку, приходящуюся на управляемые колеса комбайна, определим с учетом того, что мост управляемых колес нагружен силой  $G_y$ , включающей в себя следующие составляющие:  $G_{yn}$  – часть от силы тяжести машины  $G_{бм}$ , не учитывающей вес самого моста, и  $G_m$  – от силы тяжести моста, т.е.  $G_y = G_{yn} + G_m$ .

Нагрузка  $G_{yn}$  действует на мост управляемых колес через шарнир его подвеса, образуя реакцию  $R_{yn}$ ,

а также момент опрокидывания относительно центра шарнира  $M' = G_{yn} \sin \alpha \cdot (h_y - h_0)$ , способствующий перераспределению нагрузок на ведущие колеса комбайна.

Нагрузка  $G_m$  приложена в центре масс моста, который расположен в большинстве конструкций ниже шарнира подвеса моста к раме.

В таком случае нормальную нагрузку на колесо, находящееся ниже по склону, определяем из усло-

вия равенства моментов сил, действующих относительно точки  $O'$  (рис. 1б):

$$R_{y1}b_{yn} - G_{yn} \cos \alpha \cdot \frac{b_{yn}}{2} - G_m \cos \alpha \cdot \frac{b_{yn}}{2} - G_m \sin \alpha \cdot h_m - G_{yn} \sin \alpha \cdot h_0 = 0.$$

Отсюда выражение для определения нормальной реакции на колесо примет вид

$$R_{y1} = G_{yn} \left( 0,5 \cos \alpha + \frac{h_0}{b_{yn}} \sin \alpha \right) + G_m \left( 0,5 \cos \alpha + \frac{h_m}{b_{yn}} \sin \alpha \right). \quad (3)$$

Определяем значение нормальных реакций опорной поверхности на колесо, расположенное выше по склону:

$$R_{y2} = (G_{yn} + G_m) \cos \alpha - R_{y1},$$

$$R_{y2} = G_{yn} \left( 0,5 \cos \alpha - \frac{h_0}{b_{yn}} \sin \alpha \right) + G_m \left( 0,5 \cos \alpha - \frac{h_m}{b_{yn}} \sin \alpha \right). \quad (4)$$

Преобразуем полученные выражения:

$$R_{y1} = G_y \left( 0,5 \cos \alpha + \frac{h_0}{b_{yn}} \sin \alpha \right) - G_m \frac{h_0 - h_m}{b_{yn}} \sin \alpha,$$

$$R_{y2} = G_y \left( 0,5 \cos \alpha - \frac{h_0}{b_{yn}} \sin \alpha \right) + G_m \frac{h_0 - h_m}{b_{yn}} \sin \alpha.$$

Как видно из полученных зависимостей, составляющая силы тяжести от веса моста управляемых колес, вследствие ее приложения ниже оси шарнира качания моста, способствует некоторому догрузению колеса, расположенного выше по склону, и снижению нагрузки на нижнее по склону колесо в сравнении с нагрузкой, определенной по рассмотренным ранее методикам [3-5].

При определении нагрузок на ведущие колеса комбайна учтем наличие момента  $M'$ , возникающего в результате действия составляющей силы  $G_{yn}$ , действующей вдоль склона. Тогда нормальную реакцию опорной поверхности  $R_{b1}$  на колесо ведущего моста, находящееся ниже по склону, определяем из условия равенства моментов сил, действующих относительно точки  $O$  (рис. 2):

$$G_b \cos \alpha \cdot \frac{b_b}{2} + G_b \sin \alpha \cdot h_b + M' - R_{b1} b_b = 0,$$

$$R_{b1} = G_b \left( 0,5 \cos \alpha + \frac{h_b}{b_b} \sin \alpha \right) + \frac{G_{yn} \sin \alpha \cdot (h_{yn} - h_0)}{b_b}. \quad (5)$$

Для колеса, находящегося выше по склону:

$$R_{b2} = G_b \cos \alpha - R_{b1},$$

$$R_{b2} = G_b \left( 0,5 \cos \alpha - \frac{h_b}{b_b} \sin \alpha \right) - \frac{G_{yn} \sin \alpha \cdot (h_{yn} - h_0)}{b_b}. \quad (6)$$

Как видно из полученных зависимостей, в результате действия момента, возникающего от со-

ставляющей силы  $G_{yn}$ , действующей вдоль склона, нагрузка на колеса ведущего моста перераспределяется между колесами, тем самым дополнительно догружая колесо, расположенное ниже по склону.

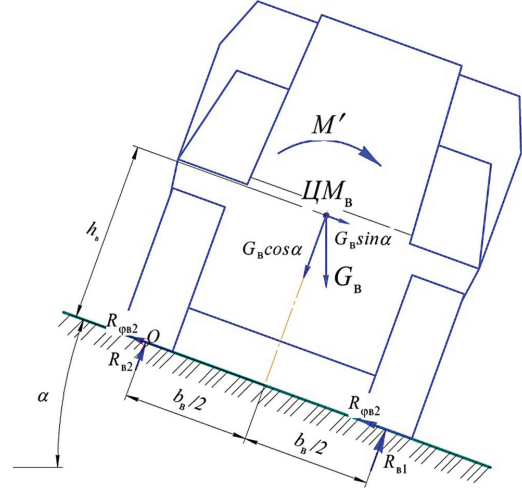


Рис. 2. Схема сил, действующих на ведущие колеса комбайна, находящегося на поперечном склоне

Поскольку точки приложения сил  $G_b$  и  $G_{yn}$  лежат на прямой линии (рис. 3), проходящей через ЦМ машины, не учитывая вес моста управляемых колес, то можем определить взаимозависимость отклонений  $\Delta h_b$  и  $\Delta h_{yn}$ . На рисунке 3 сила  $G_{бм}$  – это сила тяжести машины, не учитывающая силу тяжести моста управляемых колес (определяется как  $G_{бм} = G - G_m$ ).

Вертикальная  $h_{цбм}$  и горизонтальная  $c_{бм}$  координаты ЦМ машины, без учета моста управляемых колес, определяются по зависимостям

$$c_{бм} = \frac{G \cdot c - G_m \cdot c_m}{G - G_m}, \quad (7)$$

$$h_{цбм} = \frac{G \cdot h_{ц} - G_m \cdot h_{цм}}{G - G_m}, \quad (8)$$

где  $G$  – сила тяжести машины, Н;  $G_m$  – сила тяжести моста управляемых колес в сборе, Н;  $h_{ц}$  и  $h_{цм}$  – вертикальная координата центров масс машины и моста управляемых колес, мм;  $c$  и  $c_m$  – горизонтальная координата центров масс машины и моста управляемых колес относительно оси ведущего колеса, мм.

Из схемы, представленной на рисунке 3, можем получить следующие зависимости для определения сил  $G_b$  и  $G_{yn}$ , приходящихся на ведущие колеса и шарнир качания балки моста управляемых колес:

$$G_b = G_{бм} \frac{l - c_{бм}}{l}, \quad (9)$$

$$G_{yn} = G_{бм} \frac{c_{бм}}{l}. \quad (10)$$

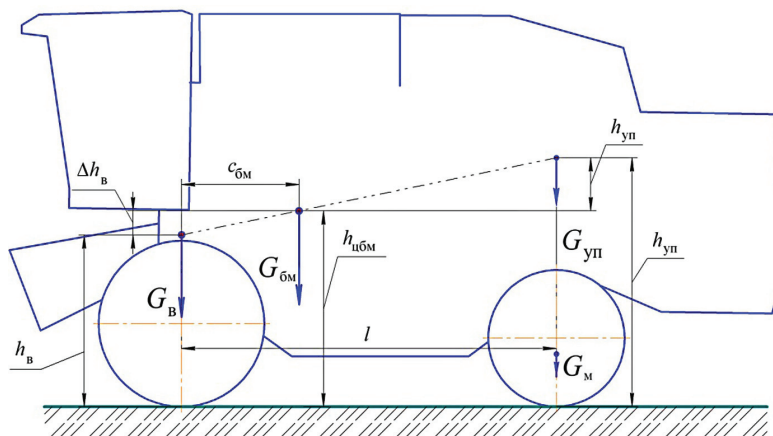


Рис. 3. Схема распределения веса по осям комбайна

Высоты приложения сил  $G_B$  и  $G_{уп}$  зависят от веса узлов и агрегатов машины и их расположения, но зависимость между их величинами  $h_b$  и  $h_{уп}$  такова, что при постоянной координате  $h_{цм}$  изменение величины  $h_b$  на  $\Delta h_b$  неминуемо приводит к изменению  $h_{уп}$  на  $\Delta h_{уп}$ . Из рисунка 3 взаимозависимость смещений  $\Delta h_b$  и  $\Delta h_{уп}$  выглядит следующим образом:

$$\frac{\Delta h_{уп}}{\Delta h_b} = \frac{l - c_{бм}}{c_{бм}}, \text{ т.е. } \Delta h_{уп} = \Delta h_b \cdot \frac{l - c_{бм}}{c_{бм}}. \quad (11)$$

С учетом зависимостей 9-11 выражения для определения нормальных реакций на ведущие колеса примут вид

$$R_{в1} = G_{бм} \left( 0,5 \cos \alpha + \frac{h_{цбм}}{b_b} \sin \alpha \right) - G_{бм} \frac{c_{бм}}{l} \left( 0,5 \cos \alpha + \frac{h_0}{b_b} \sin \alpha \right), \quad (12)$$

$$R_{в2} = G_{бм} \left( 0,5 \cos \alpha - \frac{h_{цбм}}{b_b} \sin \alpha \right) - G_{бм} \frac{c_{бм}}{l} \left( 0,5 \cos \alpha - \frac{h_0}{b_b} \sin \alpha \right). \quad (13)$$

Из полученных зависимостей следует, что нормальные реакции опорной поверхности на колеса ведущего моста комбайна зависят от положения его центра масс (без учета массы моста управляемых колес), параметров ходовой части (база, колея), высоты расположения шарнира качания моста управляемых колес и угла поперечного крена машины и не зависят от высоты приложения сил  $G_B$  и  $G_{уп}$ .

На колеса машины, находящейся на поперечном склоне, будут действовать не только нормальные, но и боковые составляющие нагрузок, которые будут деформировать шины колес вдоль осей их вращения. Этими нагрузками будут составляющие силы тяжести машины  $G_y \sin \alpha$  и  $G_x \sin \alpha$ , которые вызывают реакции в местах контакта боковой поверхности шины и почвы. Указанные силы провоцируют скольжение колес вдоль склона в случае, если они превосходят силы сцепления колес с почвой.

Сила сцепления колес с почвой зависит от коэффициента сцепления  $\varphi$  в поперечном направлении и нормальной реакции опорной поверхности на ко-

лесо. Ее значение определяется по общеизвестной зависимости:

$$R_{\varphi} = \varphi \cdot G \cos \alpha.$$

Значение коэффициента сцепления зависит как от свойств опорной поверхности, так и от свойств материала и конструктивных особенностей шин. Поскольку по осям машины устанавливают шины одинакового типоразмера, сила сцепления колес с опорной поверхностью будет в основном зависеть от нормальной нагрузки, приходящейся на конкретное колесо, и от состояния самой опорной поверхности.

Для численной оценки влияния балансирной подвески моста управляемых колес зерноуборочного комбайна на перераспределение нагрузок на колеса при его поперечном крене рассчитаем нормальные реакции опорной поверхности на колеса комбайна «Вектор-410» по зависимостям 1, 2 и 3, 4, 12, 13 и сравним полученные результаты.

Рассматриваемая машина имеет следующие конструктивные параметры: вес  $G = 111,7$  кН; вес моста управляемых колес  $G_M = 5$  кН; база комбайна  $l = 3778$  мм; колея ведущих колес  $b_b = 2860$  мм; колея управляемых колес  $b_{уп} = 2860$  мм; горизонтальная координата центра масс комбайна относительно оси ведущего моста  $c = 1630$  мм; вертикальная координата центра масс относительно опорной поверхности  $h_{ц} = 1700$  мм; вертикальная координата центра масс моста управляемых колес  $h_{цм} \approx 670$  мм; высота шарнира качания моста управляемых колес  $h_0 = 730$  мм.

Вес комбайна, приходящийся на ведущие колеса, определили через известное положение центра тяжести комбайна [6] по зависимости

$$G_B = G \cdot \frac{l - c}{l}.$$

В соответствии с представленными данными на ведущие колеса комбайна при снятой жатке и пустом топливном баке приходится нагрузка

$G_b = 63,5$  кН, соответственно на управляемые колеса приходится  $G_y = 48,2$  кН.

Рассмотрим влияние балансирной подвески моста управляемых колес на перераспределение нагрузки на колеса в двух случаях:

1) условно предполагая, что точки приложения сил  $G_b$  и  $G_{уп}$  ( $G_y$ ) находятся на уровне центра масс машины;

2) условно предполагая, что точки приложения сил  $G_b$  и  $G_{уп}$  ( $G_y$ ) смещены относительно плоскости расположения центра масс на величину, обеспечивающую постоянство координат центра масс на машине.

Второй вариант для комбайна более актуален, поскольку основные его тяжелые элементы, находящиеся в передней части машины, расположены внизу (ведущий мост, элементы молотильного устройства, рама), а для задней части – сверху (моторно-силовая установка, бак).

Зададимся смещением  $\Delta h_b = 200$  мм, тогда величина  $\Delta h_y$  при рассмотрении всей машины по зависимости 11 будет равна 264 мм. Это значит, что точки

приложения сил  $G_b$  и  $G_y$  при расчете сил по зависимостям 1 и 2 будут равны  $h_b = 1700 - 200 = 1500$  мм,  $h_y = 1700 + 264 = 1964$  мм.

При расчете сил по формулам 12, 13 следует учесть отсутствие влияния массы моста управляемых колес. В этом случае вес комбайна составит  $G_{бм} = 106,7$  кН, а центр масс сместится, и его координаты составят (по формулам 9, 10)  $h_{цбм} = 1748$  мм и  $c_{бм} = 1529$  мм. Поскольку точка приложения силы  $G_b$  останется на том же месте, определим координату  $h_y$ , которая не учитывает влияние моста управляемых колес. В этом случае смещение  $\Delta h_b$  относительно нового центра масс составит  $\Delta h_b = 1748 - 1500 = 248$  мм, тогда величина  $\Delta h_y = 365$  мм, а  $h_y = 1748 + 365 = 2113$  мм.

В соответствии с полученными данными выполнили расчет сил  $R_b$  и  $R_y$  (в расчете представлены средние данные (крен влево – крен вправо) и не учтено влияние деформации шин на смещение центра масс), а полученные данные представили в виде таблицы и графика (рис. 4).

Расчетные величины реакций опорной поверхности на колеса комбайна

Формула	Реакция	Вариант 1 ( $\Delta h = 0$ )				Вариант 2 ( $\Delta h \neq 0$ )			
		Угол поперечного крена комбайна, °							
		0	10	20	30	0	10	20	30
1	$R_{y1}$	24,1	29,4	33,7	37,1	24,1	30,1	35,1	39,1
	$R_{y2}$	24,1	18,1	11,6	4,7	24,1	17,4	10,2	2,7
2	$R_{b1}$	31,8	38,0	43,2	47,0	31,8	37,1	41,3	44,2
	$R_{b2}$	31,8	24,5	16,5	8,0	31,8	25,5	18,4	10,8
3	$R_{y1}$	24,1	26,1	27,2	27,6	24,1	26,1	27,2	27,6
4	$R_{y2}$	24,1	21,4	18,1	14,2	24,1	21,4	18,1	14,2
12	$R_{b1}$	31,8	40,7	48,5	54,7	31,8	40,7	48,5	54,7
13	$R_{b2}$	31,8	21,8	11,2	0,3	31,8	21,8	11,2	0,3

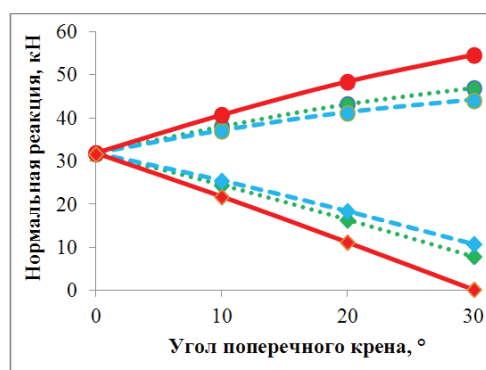
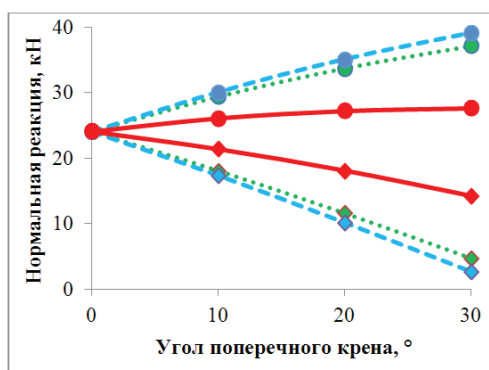


Рис. 4. Графики изменения реакций на колеса комбайна Вектор-410 при жестком (..... – вариант 1, -.-.-.- вариант 2) и балансирном (— — шарнир) креплении моста управляемых к раме: а – мост управляемых колес; б – ведущий мост; ● – колесо ниже по склону; ■ – колесо выше по склону

Полученные расчетные данные показывают, что использование балансирной подвески моста управляемых колес при крене комбайна влечет за собой дополнительное нагружение ведущего колеса, расположенного ниже по склону. Так, при крене комбайна «Вектор-410» на угол  $30^\circ$  нагрузка на ведущее колесо, расположенное ниже по склону, увеличивается более чем на 7 кН (около 22%) относительно нагрузки, которая могла бы действовать на то же колесо при жестком креплении моста управляемых колес к раме. Такая дополнительная нагрузка на колесо окажет влияние на деформирование шин, которое приведет к смещению центра масс машины относительно ее геометрической оси опорной поверхности, что приведет к уменьшению угла поперечной устойчивости машины. Кроме этого, из полученных данных видно, что машина с балансирной подвеской более склонна к потере устойчивости, так как нормальная реакция под ее ведущим колесом, расположенным выше по склону, уменьшается более интенсивно, чем при жестком креплении мостов к раме. При этом условие сохранения устойчивости для моста управляемых колес будет сохраняться на более значительных углах крена, чем для ведущего моста.

#### Выводы

При проектировании машин с балансирным подвесом моста управляемых колес (кормо- и зерноуборочные комбайны, тракторы) в обязательном порядке следует учитывать влияние такого типа подвески на перераспределение нагрузок между колесами мостов. Например, по полученным для комбайна «Вектор-410» расчетным данным, из-за наличия балансирной подвески при крене около  $30^\circ$  ведущее колесо, расположенное ниже по склону, догружается силой более чем на 20% большей, чем у аналогичной машины с полно-

стью жесткой подвеской. Одновременно с этим вероятно потеря устойчивости вторым колесом ведущего моста, нормальная реакция под которым стремится к нулю. Таким образом, использование балансирной подвески снижает потенциальную устойчивость машины, а учет этого факта на стадии проектирования позволит повысить степень ее безопасности при эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Ломакин С.Г. К аналитической оценке поперечной устойчивости колесных самоходных сельскохозяйственных машин / С.Г. Ломакин, С.В. ЩигOLEV // Основные направления развития техники и технологии в АПК: Материалы и доклады VII Всероссийской научно-практической конференции. Княгинино: НГИЭУ, 2016. С. 266-268.
2. Ломакин С.Г. К оценке поперечной устойчивости колесных самоходных сельскохозяйственных машин / С.Г. Ломакин, С.В. ЩигOLEV // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2016. № 4 (74). С. 28-33.
3. Богатырев А.В., Лехтер В.Р. Тракторы и автомобили / Под ред. А.В. Богатырева. М.: КолосС, 2008. 400 с.
4. Мирошниченко А.Н. Основы теории автомобиля и трактора: Учебное пособие. Томск: Изд-во Том. гос. архит. – строит. ун-та, 2014. 490 с.
5. Тарасова С.В. Методика исследования результатов взаимодействия протектора с наклонной опорной поверхностью в режиме варьирования углами увода пневматических шин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (52). С. 84-87.
6. Комбайн зерноуборочный самоходный РСМ-101 «ВЕКТОР». Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию.

Статья поступила 17.03.2017 г.

## DETERMINATION OF LOADS ACTING ON WHEELS OF GRAIN COMBINE-HARVESTERS OPERATING ON TRANSVERSE SLOPES

**SERGEY V. SHCHIGOLEV**

E-mail: sergeysch127@mail.ru

**SERGEY G. LOMAKIN, DSc (Eng), Professor**

E-mail: irina17-12-69@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The ability to maintain a stable position under various operating conditions affects the safety of self-propelled agricultural machinery. One of the characteristics that determine this property is the angle of transverse static stability. The specific angle of the machine transverse static stability is influenced to

a certain extent by the deformation of tires, which in turn depends on the loads applied to them. To determine the loads acting on the combine wheels, the authors have developed a calculation scheme, according to which they derived analytical dependencies to determine the acting forces. The calculated data show that the loads acting on the wheels of the driving and driven axles change disproportionately with a lateral roll. This is due to the use of the steerable wheel axle of a balancing type as a suspension element responsible for the machine adaptability to the terrain conditions. As a result, under the action of the weight factor of the combine rear part acting along the slope, a moment of force is generated that leads to a redistribution of loads between the driving axle wheels. The authors make a conclusion about the effect of the balanced suspension of the steerable wheel axle on the peculiarities of load redistribution between the machine wheels and the safety of its operation.

**Key words:** combine harvester, tractor, transverse stability, balancing axle of steerable wheels, center of mass, tire deformation, load on wheels.

### References

1. Lomakin S.G., Shchigolev S.V. K analiticheskoy otsenke poperechnoy ustoychivosti kolesnykh samokhodnykh sel'skokhozyaystvennykh mashin [On the analytical assessment of the lateral stability of wheeled self-propelled agricultural machines]. *Osnovnyye napravleniya razvitiya tekhniki i tekhnologii v APK: Materialy i doklady VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Knyaginino: NGIEU, 2016. Pp. 266-268. (in Rus).
2. Lomakin S.G., Shchigolev S.V. K otsenke poperechnoy ustoychivosti kolesnykh samokhodnykh sel'skokhozyaystvennykh mashin [On the assessment of the lateral stability of wheeled self-propelled agricultural machines]. *Vestnik FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina"*. 2016. No. 4 (74). Pp. 28-33. (in Rus).
3. Bogatyrev A.V., Lekhter V.R. Traktory i avtomobili [Tractors and automobiles]. M.: KolosS, 2008. 400 p. (in Rus).
4. Miroshnichenko A.N. Osnovy teorii avtomobilya i traktora: Uchebnoye posobiye [Fundamentals of the theory of automobiles and tractors: Textbook]. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arkhiv. – stroit. un-ta, 2014. 490 p. (in Rus).
5. Tarasova S.V. Metodika issledovaniya rezul'tatov vzaimodeystviya protektora s naklonnoy opornoй poverkhnost'yu v rezhime var'irovaniya uglami uvoda pnevmaticheskikh shin [Methods of analyzing the results of interaction of a tread with an inclined support surface in a mode of varying retraction angles of pneumatic tires]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. No. 2 (52). Pp. 84-87. (in Rus).
6. Kombayn zernouborochnyy samokhodnyy RSM-101 "VEKTOR". Instruksiya po ekspluatatsii i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu [Self-propelled grain combine harvester RSM-101 "VECTOR". Operation and maintenance manual]. (in Rus).

Received on March 17, 2017