

References

1. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoistva [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. Moscow, Infa-M Press, 2014. 506 p. (in Rus.)
2. Kutkov G.M. Traktory vtorogo pokoleniya [Tractors of the second generation]. Moscow, FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina". 2013. 104 p. (in Rus.)
3. GOST 27021-86. Agricultural and forestry tractors. Traction classes. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1986. (in Rus.)
4. GOST 4.40-84. System of product quality indicators. Agricultural tractors. Nomenclature of indicators. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2003. (in Rus.)
5. Chukhchin N.F., Musin A.R. Tekhnologicheskiye i agrotekhnicheskiye osnovy razvitiya MES kak traktora vtorogo pokoleniya tyagovo-energeticheskoy kontseptsii [Technological and agronomic basis for the development of a MES tractor as a second-generation tractor of a traction-energy concept]. Moscow, GONTI-NPO NATI. 1983. Pp. 3-12 (in Rus.)
6. The CLAAS online catalogue. URL: www.claas.ru
7. The FENDT online catalogue. URL: www.fendt.ru
8. The NEWHOLLAND online catalogue. URL: www.newholland.ru
9. The JOHN DEERE online catalogue. URL: www.johndeere.ru
10. The CASE online catalogue. URL: www.case.ru
11. The CHALLENGER online catalogue. URL: www.challenger.ru

The paper was received on July 6, 2017

УДК 629.017

DOI 10.26897/1728-7936-2017-5-22-28

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

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ШИН НА ПОПЕРЕЧНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Проведены теоретические и экспериментальные исследования деформации шин зерноуборочного комбайна «Вектор-410», укомплектованного шинами 28LR26 Бел-83М. Теоретически рассмотрено влияние величины деформации шин на смещение центра масс машины при ее боковом крене. Для комбайна «Вектор-410» рассчитан угол поперечной статической устойчивости без учета деформации шин, который составил примерно 30 градусов. Определено, что при таком угле крена на ведущее колесо, находящееся ниже по склону, будет действовать нормальная сила порядка 55 кН, что вызовет нормальный прогиб шины около 102 мм при давлении в ней 0,16 МПа. При этом нагрузка на противоположную шину и ее прогиб будет стремиться к нулю, в результате чего возникает дополнительный крен машины приблизительно на 2 градуса, а центр масс сместится примерно на 58 мм в сторону уклона и приподнимется на 8 мм. Это приведет к уменьшению расчетного значения угла статической устойчивости до 28,3 градуса, что меньше угла, рассчитанного без учета деформации шин, на 6,3%. Если в результате боковой деформации шин машина сместится вдоль склона на 50 мм, то расчетное значение угла поперечной статической устойчивости уменьшится до 27,4 градуса, что меньше угла, рассчитанного без учета деформации шин, на 9,3%. Эмпирически подтвердили, что деформация шин может сильно сказаться на безопасности эксплуатации зерноуборочного комбайна.

Ключевые слова: поперечная устойчивость, деформация шины, центр масс, балансирный мост управляемых колес, зерноуборочный комбайн.

Введение. На безопасность работы зерноуборочных комбайнов при выполнении как технологического, так и транспортного процессов влияют его конструктивные параметры и распределение

веса по колесам, от которых зависит характеристика машины, называемая углом поперечной статической устойчивости. Нахождение величины этого угла предписано государственным стандартом [1] при определении параметров безопасности машины.

У зерноуборочных комбайнов возможность копирования рельефа поля, а также снижение скручивающих нагрузок на рамы (корпуса) обеспечивается за счет применения моста управляемых колес балансирующего типа и упругих свойств шин.

Как известно [2], среднее значение угла поперечной статической устойчивости для машин с балансирующим мостом управляемых колес зависит от параметров ходовой части (колея ведущих колес (b) и продольная база (l)), вертикальной (h_n) и горизонтальной (c) координат центра масс (ЦМ) машины, высоты (h_0) расположения центра шарнира подвеса моста управляемых колес над опорной поверхностью и может быть определено по зависимости

$$\alpha_{\text{пред}} = \arctg \frac{(l - c) \cdot b}{2(h_n \cdot l - c \cdot h_0)}. \quad (1)$$

Данное выражение справедливо при известных координатах ЦМ машины. Возникающее при боковом крене машины перераспределение нагрузок на колеса вызывает изменение деформации шин, что ведет к смещению центра масс (ЦМ) в сторону уклона, изменяя соотношение значений опрокидывающего и стабилизирующего моментов сил, участвующих в процессе потери устойчивости.

На поперечную статическую устойчивость машины влияет нормальная и боковая деформация шин. В зависимости от нормальной деформации шины, характеризуемой величиной нормального прогиба (h_z) [3], происходит изменение вертикальной и горизонтальной координат центра масс машины. Боковая деформация шины (h_v) приводит к уменьшению эффективной составляющей колена и смещению оси опрокидывания ближе к продольной оси машины.

Цель исследования – рассмотреть характер изменения положения центра масс машины в результате деформации шин и его влияние на поперечную статическую устойчивость самоходных сельскохозяйственных машин с балансирующим мостом управляемых колес.

Материал и методы. Рассматриваются особенности деформирования шин, влияющие на изменение угла статической устойчивости зерноуборочного комбайна, находящегося на поперечном склоне.

Результаты и обсуждение. При поперечном крене машины на шины противоположных бортов действуют разные нагрузки, что приводит к неодинаковому изменению высоты их профиля и боковой (поперечной) деформации.

В работе [4] говорится о том, что общий прогиб шины складывается из двух составляющих:

1 – прогиб в результате сжатия протектора; 2 – прогиб в результате деформации каркаса. Первый зависит от толщины протектора, насыщенности его рисунка, упругости протекторной резины, второй – от геометрических параметров шины. Кроме этого, значительное влияние на деформацию шины оказывает давление воздуха в ней и приложенная нагрузка. Для аналитического определения нормальной деформации шин предлагались разные методики [3, 5], однако более точной считается зависимость, предложенная В.Л. Бидерманом [3]:

$$h_z = \frac{C_2 G_k}{2(p_w + p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 G_k}{2(p_w + p_0)}\right)^2 + C_1 G_k}, \quad (2)$$

где C_1 ($\text{м}^2/\text{кН}$) и C_2 (м^{-1}) – постоянные для рассматриваемой шины коэффициенты, определяемые опытным путем; G_k – вес, приходящийся на колесо, кН; p_w – давление воздуха в шине, кПа.

Значение коэффициента C_1 определяется количеством слоев каркаса шины (увеличение количества слоев снижает значение коэффициента), а также типом ее конструкции (для диагональных шин значения коэффициента несколько ниже, чем для радиальных) и практически не зависит от типоразмера шины.

Значения коэффициента C_2 определяются опытным путем. Его значения для некоторых типоразмеров тракторных шин приведены в литературных источниках [3] в виде таблиц. В случае рассмотрения шины, для которой нет данных по значению коэффициента C_2 , в источнике [4] предлагается его аналитическое определение методом пересчета по следующему выражению:

$$C_2 = C'_2 \sqrt{\frac{R'_k D'}{R_k D}},$$

где C'_2 , R'_k и D' – известные параметры шины, конструкция которой близка к исследуемой; R_k и D – соответственно радиус кривизны профиля и свободный диаметр исследуемой шины (для шин тракторов R_k приблизительно равен половине ширины профиля шины).

Параметром p_0 показывают жесткость каркаса шины, выражая ее в единицах измерения давления воздуха. Его вводят для учета влияния толщины каркаса на деформацию шины. Автором зависимости (2) говорится о том, что при определении деформации обычных автомобильных шин значение p_0 можно не учитывать ввиду ее малого значения, но при рассмотрении сельскохозяйственных шин величину p_0 следует принимать во внимание, на что указывается и в работах [5-7].

Значения коэффициентов C_1 , C_2 и p_0 , в рассмотренных источниках, предлагаются определять по различным методикам, но отмечается, что наилучшие результаты получаются при использовании опытных данных.

При подготовке данной работы были проведены опыты по исследованию деформации шин зер-

ноуборочного комбайна «Вектор-410». Машина была укомплектована шинами 28LR26 Бел-83М. В результате испытаний определены прогибы шин при различном внутреннем давлении воздуха при двух степенях нагрузки. По методике, описанной в [4], определены значения коэффициентов C_1 ,

C_2 и p_0 и выполнен проверочный расчет, который показал довольно близкие расчетные значения прогиба относительно полученных опытным путем. Используя полученные коэффициенты, выполнен расчет нормального прогиба шины при различной нагрузке (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Зависимость нормального прогиба шины 28LR26 от давления воздуха и нормальной нагрузки (расчетные данные)

Нагрузка, кН	Давление в шине, МПа				
	120	160	200	240	280
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	20,4	19,1	18,4	17,8	17,5
10	32,4	29,7	28,0	26,9	26,2
15	43,2	39,0	36,4	34,7	33,5
20	53,5	47,7	44,1	41,7	40,1
25	63,5	56,0	51,4	48,4	46,2
30	73,3	64,1	58,5	54,7	52,1
35	83,0	72,0	65,3	60,9	57,8
40	92,5	79,7	72,0	66,9	63,3
45	102,0	87,4	78,6	72,7	68,6
50	111,4	95,0	85,1	78,5	73,8
55	120,8	102,6	91,5	84,2	79,0
60	130,1	110,1	97,9	89,8	84,1

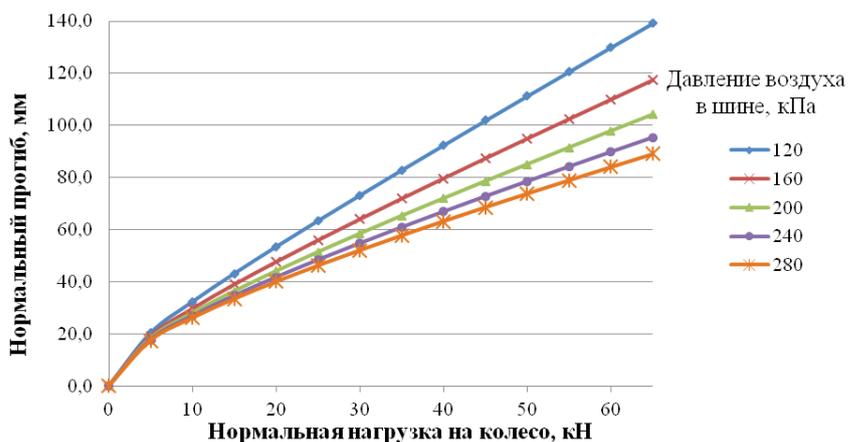


Рис. 1. Изменение нормального прогиба шины 28LR26 в зависимости от давления воздуха и нормальной нагрузки

Как следует из рисунка, интенсивность изменения нормального прогиба шины несколько меняется в зависимости от нагрузки во всем диапазоне рассмотренных значений давления воздуха. Это значит, что при боковом крене машины шины колес противоположных бортов будут менять значение своего радиуса с разной интенсивностью. Высота

профиля у разгружаемой шины (верхней по склону) будет увеличиваться быстрее, чем уменьшаться у нагружаемой (нижней по склону). В связи с этой неравномерностью изменения высоты шин смещение центра масс машины происходит не вокруг проекции ее продольной оси на опорную поверхность, а относительно оси, проведенной через шарнир

качания моста управляемых колес и вертикальную проекцию т. *O* (рис. 2) на опорную поверхность. Это приводит к смещению ЦМ в трех плоскостях: по вертикали к опорной поверхности – Δz , в поперечной плоскости в сторону уклона – Δy и в продольной плоскости в сторону моста управляемых колес – Δx .

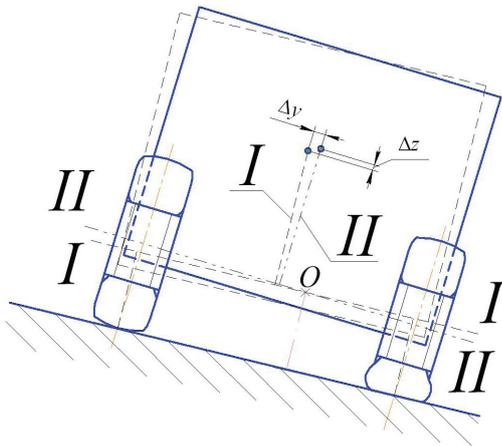


Рис. 2. Схема смещения ЦМ машины в вертикальной (Δz) и поперечной (Δy) плоскостях: I – положение ЦМ без учета деформации шин; II – положение ЦМ с учетом деформации шин

С учетом рассмотренной особенности выражение (1) запишется следующим образом:

$$\alpha'_{\text{пред}} = \text{arctg} \frac{0,5b \cdot (l - c - \Delta x) - \Delta y \cdot l}{(h_{\text{ц}} + \Delta z) \cdot l - (c + \Delta x) \cdot h_0} \quad (3)$$

Величина боковой деформации шины зависит от давления воздуха в ней, ее боковой жесткости и приложенного к колесу бокового усилия.

Для определения сопротивляемости шины боковой деформации в литературе предлагается использовать характеристику, называемую коэффициентом боковой жесткости шины C_y . Данный коэффициент представляет собой отношение приращения прикладываемого к колесу бокового усилия dP_y к приращению возникающей при этом деформации dh_y :

$$C_y = \frac{dP_y}{dh_y}$$

Как отмечается в источнике [4], боковая жесткость тракторной шины практически не зависит от приходящейся на нее нормальной нагрузки, но имеет зависимость от внутреннего давления воздуха. Так, с увеличением давления воздуха в шине коэффициент ее боковой жесткости возрастает.

Боковая деформация, так же как и нормальная, способствует смещению ЦМ машины в сторону оси

опрокидывания. Общее смещение машины в сторону уклона в результате деформирования шин колес представлено на рисунке 3, где показано изменение положения рамы машины относительно опорной поверхности в результате нормальной и боковой деформаций.

Максимальную нормальную деформацию шина нагружаемого ведущего колеса получит в момент начала опрокидывания, поскольку на нее в этом случае начнет действовать вся масса, приходящаяся на ведущие колеса машины. В связи с этим нормальную деформацию шины колеса, относительно которого будет происходить процесс опрокидывания, теоретически можно определить по выражению (2), подставив в него значение нормальной нагрузки на колесо, равное ее значению, приходящемуся на ведущие колеса машины.

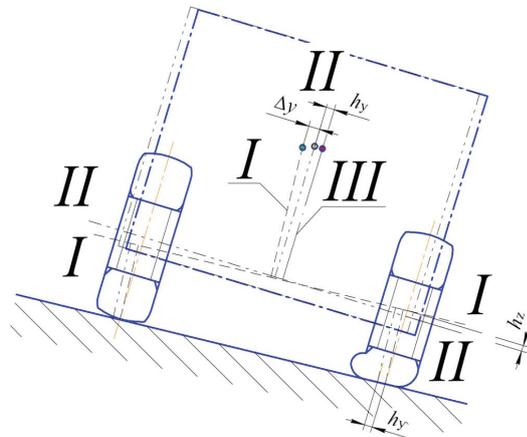


Рис. 3. Схема смещения ЦМ машины в поперечной плоскости при деформации шин от нормальной и боковой нагрузки

При боковом крене машины на колеса ведущего моста действует боковая сила, равная части силы тяжести (приходящаяся на ведущие колеса), направленной вдоль склона. Эта сила делится между колесами в некоторой пропорции до тех пор, пока оба они находятся на опорной поверхности. В момент начала опрокидывания реакция опорной поверхности на колесо, находящееся выше по склону, становится равной нулю, в результате чего весь вес, приходящийся на ведущий мост, переходит на второе колесо, деформация шины которого изменяет положение оси опрокидывания.

Таким образом, с учетом нормальной и боковой деформации шин, выражение (1) запишется следующим образом:

$$\alpha''_{\text{пред}} = \text{arctg} \frac{(0,5b - h_y) \cdot (l - c - \Delta x) - \Delta y \cdot l}{(h_{\text{ц}} + \Delta z) \cdot l - (c + \Delta x) \cdot h_0} \quad (4)$$

где h_y – поперечное смещение машины в результате боковой деформации шин.

Для наглядности рассмотрим влияние деформации шины на теоретическое значение угла поперечной статической устойчивости зерноуборочного комбайна «Вектор-410» (без жатки и с пустым бункером – транспортное положение). В соответствии с рекомендациями завода-изготовителя [6] при работе на перегоне давление в шинах ведущих колес должно составлять $0,16 \pm 0,02$ МПа. Рассмотрим размерные характеристики предложенной машины: $l = 3778$ мм; $b = 2845$ мм; $h_0 = 730$ мм; $c = 1630$ мм; $h_{ц} = 1700$ мм.

Поскольку вес управляемого моста с колесами (около 5 кН) участвует в формировании нагрузок на колеса, но не участвует в процессе опрокидыва-

ния (на его начальном этапе) [8], координаты ЦМ машины, используемые в расчетах, несколько изменятся и равны $c' = 1530$ мм, $h'_{ц} = 1750$ мм.

Рассчитав, с использованием зависимости (1), угол поперечной статической устойчивости, получили среднее значение (без учета смещения ЦМ относительно продольной геометрической оси комбайна), равное $30,2^\circ$. Данная цифра не учитывает деформирование шин.

В соответствии с методикой, изложенной в [9], расчетная нагрузка на колеса рассматриваемого комбайна будет равна значениям, указанным в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные величины веса (G_i), нормальных ($R_{нi}$) и боковых ($R_{бi}$) реакций опорной поверхности, действующих на колеса комбайна при разных углах его поперечного крена, кН

Угол крена, град.	Расположение колеса на комбайне											
	управляемое						ведущее					
	ниже по склону			выше по склону			ниже по склону			выше по склону		
	G	$R_{н}$	$R_{б}$	G	$R_{н}$	$R_{б}$	G	$R_{н}$	$R_{б}$	G	$R_{н}$	$R_{б}$
0,0	24,1	24,1	0,0	24,1	24,1	0,0	31,8	31,8	0,0	31,8	31,8	0,0
10,0	26,5	26,1	4,6	21,7	21,4	3,8	41,3	40,7	7,2	22,1	21,8	3,8
20,0	28,9	27,2	9,9	19,3	18,1	6,6	51,6	48,5	17,7	11,9	11,2	4,1
30,0	31,9	27,6	15,9	16,4	14,2	8,2	63,2	54,7	31,6	0,3	0,3	0,2

Полученные данные показывают, что при угле крена, близком к критическому значению, определенному по зависимости (1), на ведущее колесо, находящееся ниже по склону, будет действовать нормальная сила $G \approx 55$ кН. В соответствии с данными таблицы 1 такая нагрузка вызовет нормальный прогиб шины, равный $h_z \approx 102$ мм. Нормальная сила, действующая на колесо, находящееся выше по склону, а соответственно и величина нормального прогиба шины будут в рассмотренных условиях стремиться к нулю. Такое изменение нормального прогиба вызовет дополнительный крен машины в сторону уклона на угол около 2° , в результате чего ЦМ сместится приблизительно на 58 мм в сторону уклона, примерно на 4 мм в сторону моста управляемых колес и приподнимется на величину около 8 мм.

Рассчитав среднее значение угла поперечной статической устойчивости, с учетом такого изменения координат ЦМ, по зависимости (3), получили $\alpha' = 28,3^\circ$, что дает разницу с ранее полученным значением около 6,3%.

При увеличении угла поперечного крена рассматриваемого комбайна на его колеса действует и боковое усилие от горизонтальной составляющей силы тяжести машины. При изменении угла крена от 10 до 28° его значение для колес ведущего моста увеличивается с 7 до 30 кН.

Для рассматриваемого типоразмера шины значение боковой жесткости в литературе не встре-

чается, но если предположить, что рассчитанное выше боковое усилие не приведет к проскальзыванию колес вниз по склону, то с учетом геометрических пропорций шин оно может вызвать довольно значительную их боковую деформацию. Особенно значительной она будет в момент начала процесса опрокидывания, когда весь вес, приходящийся на мост ведущих колес, будет восприниматься только одним колесом, расположенным ниже по склону. Если в результате боковой деформации шин машина сместится вдоль склона на 50 мм, то расчетное значение угла поперечной статической устойчивости, определенное по зависимости (4), уменьшится до $27,4^\circ$, что меньше угла, рассчитанного без учета деформации шин, на 9,3%.

Таким образом, с учетом того, что масса современных зерноуборочных комбайнов возрастает при неизменяемых, в силу ряда причин [10], размерах шин, их деформация может довольно значительно сказаться на безопасности эксплуатации.

Выводы

Рассмотрены особенности изменения угла поперечной статической устойчивости зерноуборочного комбайна в зависимости от нормальной и боковой деформации шин.

Предложены зависимости для аналитического определения угла поперечной статической устой-

чивости с учетом деформации шин под действием нагрузок на колеса, изменяющихся при боковом крене.

Определено, что для зерноуборочного комбайна «Вектор-410» нормальная и боковая деформации шин колес могут вызвать снижение угла устойчивости на поперечном склоне на величину около 9% от рассчитанной при неучтенной деформации шин. В процессе эксплуатации, вследствие увеличения нагрузок на колеса и изменения положения центра масс, обусловленных загрузкой бункера, заправкой топливом, применением балласта в верхней части молотилки, величины деформации шин вырастают, что отрицательно сказывается на безопасности эксплуатации машины.

Библиографический список

- ГОСТ 28301-2015 «Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний». Дата введения: 01.07.2017.
- Ломакин С.Г., ЩигOLEV С.В. К оценке поперечной устойчивости колесных самоходных сельскохозяйственных машин // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2016. № 4 (74). С. 28-33.
- Бойков В.П., Белковский В.Н. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: Агропромиздат, 1988.
- Бидерман Л.В., Гуслицер Р.Л., Захаров С.П. Автомобильные шины. М.: Госхимиздат, 1963. 384 с.
- Ксенеvич И.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 384 с.
- Шевцов В.Г., Лавров А.В., Годжаев З.А., Русанов А.В. Влияние внутреннего давления воздуха в шине на максимальное контактное давление на опорное основание // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-5. С. 213-220.
- Смильский В.В. Эффективность различных типоразмеров шин сельскохозяйственного назначения // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Междунар. науч. – техн. конф. (Минск, 16-17 окт. 2013 г.). В 3 т. Т. 3. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. С. 97-102.
- Рехлицкий О.В., Чупрынин Ю.В. Рациональное распределение массы по опорам самоходного кормоуборочного комбайна // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. 2013. № 4. С. 49-57.
- ЩигOLEV С.В., Ломакин С.Г. Определение нагрузок на колеса зерноуборочного комбайна, находящегося на поперечном склоне // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 3 (79). С. 24-31.
- Ломакин С.Г. Зерноуборочные комбайны: потребности покупателей, предложения производителей // Аграрное обозрение. 2010. № 5 (21). С. 8-16.

Статья поступила 06.07.2017

EFFECT OF TIRE DEFORMATION ON TRANSVERSE STATIC STABILITY OF GRAIN COMBINE-HARVESTERS

SERGEY V. SCHIGOLEV

E-mail: sergeysch127@mail.ru

SERGEY G. LOMAKIN, PhD (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 authors have conducted theoretical and empirical studies of the tire deformation of the grain combine harvester Vector-410 equipped with 28LR26 Bel-83M tires; theoretically analyzed the influence of tire deformation on the displacement of the machine mass center at its lateral rolling; and calculated an angle of transverse static stability for the Vector-410 combine harvester without account of the tire deformation, which amounted to app. 30 degrees. It has been determined that at such an angle of rolling, a normal force of app. 55 kN will act on the driving wheel located down the slope, which will cause a normal deflection of a tire of app. 102 mm at its pressure of 0.16 MPa. In this case, the load on the opposite tire and its deflection will tend to approximate zero, resulting in an additional rolling of a machine by app. 2 degrees, and the mass center will shift for about 58 mm towards the slope and will rise by 8 mm. This will reduce the calculated value of a static stability angle to 28.3 degrees, which is 6.3% less than the angle calculated without account of the tire deformation. If a machine moves along the slope by 50 mm as a result of the lateral deformation of tires, the calculated value of the transverse static stability angle will decrease to 27.4 degrees, which is 9.3%

less than the angle calculated without account of the tire deformation. The authors have empirically proved that tire deformations may have an adverse effect on the operational safety of a combine harvester.

Key words: transverse stability, tire deformation, mass center, balanced axle of steerable wheels, combine harvester.

References

1. GOST 28301-2015 “Kombayny zernouborochnyye. Metody ispytaniy” [Combines for grain harvesting. Methods of testing]. Date of introduction: 01.07.2017. (in Rus.)
2. Lomakin S.G., Shchigolev S.V. K otsenke poperechnoy ustoychivosti kolesnykh samokhodnykh sel'skokhozyaystvennykh mashin [To the evaluation of the lateral stability of wheeled self-propelled agricultural machines]. *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2016. No. 4 (74). Pp. 28-33. (in Rus.)
3. Boykov V.P., Belkovskiy V.N. Shiny dlya traktorov i sel'skokhozyaystvennykh mashin [Tires for tractors and agricultural machinery]. Moscow, Agropromizdat, 1988. (in Rus.)
4. Biderman L.V., Guslitser R.L., Zakharov S.P. Avtomobil'nyye shiny [Automobile tires]. Moscow, Goskhimizdat, 1963. 384 p. (in Rus.)
5. Ksenevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. Khodovaya sistema – pochva – urozhay [Running system – soil – harvest]. Moscow, Agropromizdat, 1985. 384 p. (in Rus.)
6. Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Godzhayev Z.A., Rusanov A.V. Vliyaniye vnutrennego davleniya vozdukh v shine na maksimal'noye kontaktnoye davleniye na opornoye osnovaniye [Influence of internal air pressure in a tire on the maximum contact pressure exerted on a support base]. *Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk*. 2015. No. 10-5. Pp. 213-220. (in Rus.)
7. Smil'skiy V.V. Effektivnost' razlichnykh ti-porazmerov shin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Efficiency of various sizes of agricultural tires]. *Nauchno-tekhnicheskiy progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Materialy Mezhdunar. nauch. – tekhn. konf.* (Minsk, 16-17 Oct, 2013). In 3 vol. Vol. 3. Minsk, NPTS NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva, 2014. Pp. 97-102. (in Rus.)
8. Rekhliitskiy O.V., Chuprynin Yu.V. Ratsional'noye raspredeleniye massy po oporam samokhodnogo kormouborochnogo kombayna [Rational mass distribution along the supports of a self-propelled forage harvester]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P.O. Sukhogo*. 2013. No. 4. Pp. 49-57. (in Rus.)
9. Shchigolev S.V., Lomakin S.G. Opredeleniye nagruzok na kolesa zernouborochnogo kombayna, nakhodyashchegosya na poperechnom sklone [Determination of loads on the wheels of a combine harvester located on a transverse slope]. *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2017. No. 3 (79). Pp. 24-31. (in Rus.)
10. Lomakin S.G. Zernouborochnyye kombayny: potrebnosti pokupateley, predlozheniya proizvoditeley [Combine harvesters: requirements of buyers, offers of producers]. *Agrarnoye obozreniye*. 2010. No. 5 (21). Pp. 8-16. (in Rus.)

The paper was received on July 6, 2017.