

УДК 629.114.2

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АГРЕГАТИРОВАНИЯ КОМБАЙНА ПОЛУНАВЕСНОГО КОРМОУБОРОЧНОГО КПК-3000 С ИНТЕГРАЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ ТРАКТОРОМ «ХТЗ-16131-05»

В. Б. ПОПОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: колесный трактор, подъемно-навесное устройство, механизм навески, передаточное число, навесное оборудование, грузоподъемность.

Введение

Среди кормоуборочной техники, серийно выпускаемой ОАО «Гомсельмаш», имеется комбайн полунавесной кормоуборочный КПК-3000 (рис. 1), предназначенный для уборки сеяных и естественных трав, подбора подвяленных трав, уборки кукурузы на силос [1]. Он был разработан в Научно-техническом центре комбайностроения (НТЦК – бывшее РКУП «ГСКБ») для серийного производства комплексов К-Г-6 на базе универсального энергетического средства УЭС-2-250А (280А) «Полесье» [2].



Рис. 1. Комбайн полунавесной кормоуборочный КПК-3000, агрегируемый с универсальным энергетическим средством УЭС-2-250А (280А) «Полесье»

Использование в качестве энергоносителя других мобильных энергетических средств (МЭС) и, в частности, интегральных колесных тракторов «ХТЗ-16131-05» [3] позволит расширить область распространения КПК-3000, агрегируя его с тракторами, имеющимися как в отечественных, так и в зарубежных хозяйствах.

Целью работы является энергооценка возможности агрегатирования «ХТЗ-16131-05» и КПК-3000 в режиме его перевода из рабочего в транспортное положение по результатам вычислительного эксперимента.

Основная часть

Интегральный колесный трактор «ХТЗ-16131-05» относится к третьему тяговому классу и представляет собой универсальную сельскохозяйственную машину, обладающую широкими возможностями агрегатирования со всеми видами прицепной, полуприцепной и навесной агротехники [3]. Он предназначен для выполнения полного комплекса сельскохозяйственных работ общего назначения и в первую очередь – для возделывания полей и уборки пропашных культур.

«ХТЗ-16131-05» оборудован задним подъемно-навесным устройством (ПНУ) с грузоподъемностью на оси подвеса заднего ПНУ равной $G_m = 45$ кН [3], что больше эксплуатационного веса комбайна (29 кН). Несмотря на эту характеристику, энергетическая обеспеченность полного подъема КПК-3000 посредством ПНУ трактора «ХТЗ-16131-05» неочевидна, поскольку определяется как параметрами ПНУ, так и КПК-3000, в том числе расстоянием от оси подвеса до центра тяжести КПК-3000.

Таким образом, паспортной информации о грузоподъемности ПНУ трактора «ХТЗ-16131-05» на оси подвеса его заднего механизма навески (МН) для положительного заключения об энергетической обеспеченности режима перевода КПК-3000 из рабочего положения (рис. 2) в транспортное недостаточно.



Рис. 2. Машино-тракторный агрегат на базе «ХТЗ-16131-05» с работающим задним подъемно-навесным устройством

Необходимым и достаточным для агрегатирования МЭС и навесной машины (НМ) является выполнение совокупности условий:

- обеспечения расчетной грузоподъемности ПНУ трактора или другого МЭС, определенной для заданных веса и координат центра тяжести НМ, при этом минимальная грузоподъемность ПНУ МЭС должна превышать вес НМ;
- по обеспечению управляемости машинно-тракторного агрегата (МТА);
- по обзорности рабочих органов НМ с рабочего места оператора и выполнению компоновочных ограничений для транспортного положения НМ.

Анализ результатов вычислительного эксперимента

Для подтверждения энергетической обеспеченности подъема КПК-3000 из рабочего в транспортное положение были выполнены проверочные расчеты на базе разработанной функциональной математической модели (ФММ). Анализ выходных параметров нагруженного ПНУ, в том числе его основного компонента – механизма навески, выполнен с использованием его плоской геометрической модели (рис. 3) и метода замкнутых векторных контуров [4], [5].

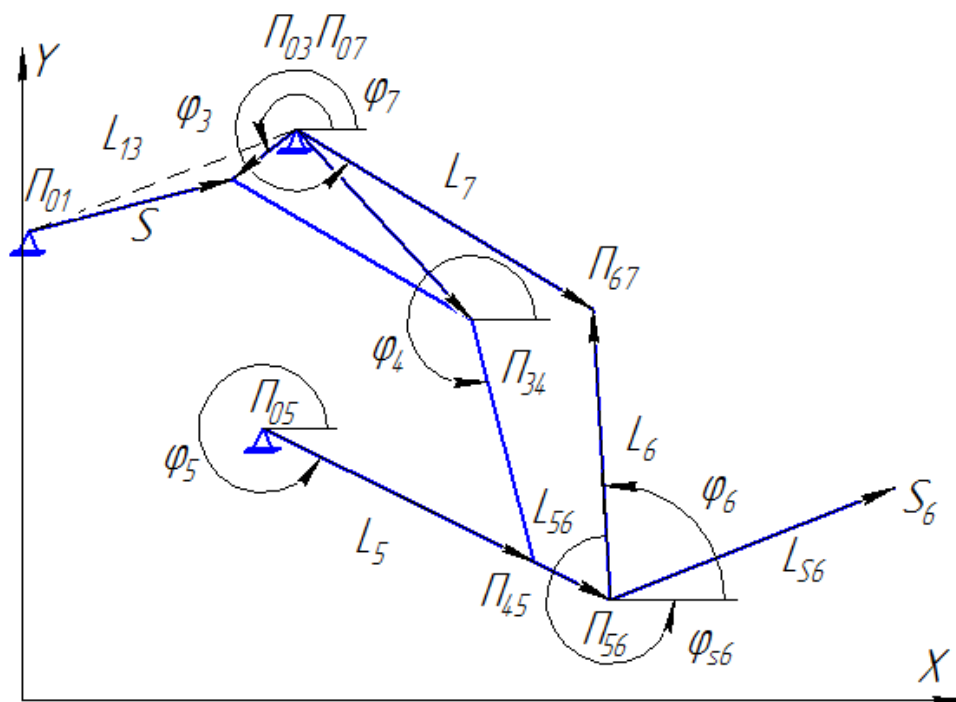


Рис. 3. Геометрическая интерпретация кинематической цепи, состоящей из плоского аналога механизма навески трактора «ХТЗ-16131-05» и аналога КПК-3000 – L_6

В результате геометрического анализа определяются координаты подвижных шарниров МН и характерных точек замкнутой кинематической цепи. В частности, координаты оси подвеса МН – Π_{56} определяются по выражениям:

$$X_{56}(S) = X_{05} + L_{56} \cdot \cos \varphi_5(S); \quad Y_{56}(S) = Y_{05} + L_{56} \cdot \sin \varphi_5(S), \quad (1)$$

где X_{05} , Y_{05} – координаты неподвижного шарнира Π_{05} на раме трактора; φ_i – угол, образуемый в правой декартовой системе координат.

Координаты характерной точки – центра тяжести КПК-3000 – определяются в соответствии с выражениями:

$$X_{S6}(S) = X_{56}(S) + L_{S6} \cdot \cos[\varphi_6(S) + \varphi_{S6}]; \quad (2)$$

$$Y_{S6}(S) = Y_{56}(S) + L_{S6} \cdot \sin[\varphi_6(S) + \varphi_{S6}], \quad (3)$$

где L_{S6} и φ_{S6} – характеристики вектора, проведенного от оси подвеса в центр тяжести полунавесного кормоуборочного комбайна.

Процедура кинематического анализа сформирована дифференцированием по независимой переменной (t) уравнений, описывающих замкнутые векторные контуры.

Определение аналогов угловых скоростей звеньев МН ведется, начиная с подъемного рычага. Дифференцируя по обобщенной координате выражение для угла $\varphi_3(S)$ [4], получим аналог угловой скорости подъемного рычага:

$$\varphi_3'(S) = \frac{d\varphi_3}{dS} = \frac{2S}{\sqrt{4L_{13}^2L_3^2 - [S^2 - (L_{13}^2 + L_3^2)]^2}}. \quad (4)$$

Передаточные отношения $U_{53}(S)$ и $U_{65}(S)$, связывающие между собой угловые скорости звеньев L_{56} и L_3 , а также L_{56} и L_6 , определяются в результате последовательного кинематического анализа замкнутых контуров $\Pi_{03}\Pi_{34}\Pi_{45}\Pi_{05}$ и $\Pi_{07}\Pi_{67}\Pi_{56}\Pi_{05}$ (рис. 3):

$$U_{53}(S) = \frac{\omega_5}{\omega_3} = \frac{L_{34} \cdot \sin[\varphi_{34}(S) - \varphi_4(S)]}{L_5 \cdot \sin[\varphi_5(S) - \varphi_4(S)]}, \quad (5)$$

$$U_{65}(S) = \frac{\omega_6}{\omega_5} = \frac{L_{56} \cdot \sin[\varphi_5(S) - \varphi_7(S)]}{L_6 \cdot \sin[\varphi_7(S) - \varphi_6(S)]}. \quad (6)$$

Для приведенной структурной схемы МН справедливы соотношения:

$$\varphi_5'(S) = \varphi_3'(S)U_{53}(S); \quad U_{63}(S) = U_{53}(S)U_{65}(S); \quad \varphi_6'(S) = \varphi_3'(S)U_{63}(S), \quad (7)$$

где $\varphi_5'(S)$, $\varphi_6'(S)$ – аналоги угловых скоростей звеньев L_{56} , L_6 ; $U_{63}(S)$ – передаточное отношение, связывающее угловые скорости подъемного рычага и выходного звена кинематической цепи – КПК-3000.

Передаточное число МН представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести КПК-3000 [4], зависящий от внутренних параметров МН:

$$I_{S6}(S) = \varphi_3'U_{53}[L_{56} \cdot \cos \varphi_5 + U_{65}L_{S6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S6})]. \quad (8)$$

На практике установлены два выходных кинематических параметра МН – передаточные числа на оси подвеса – $I_m(S)$ и в центре тяжести КПК-3000 – $I_{S6}(S)$. Передаточное число МН на оси подвеса определяется в предположении, что там находится центр тяжести навесной машины и оно равно первому слагаемому в выражении (8).

Результаты расчета основных геометрических, кинематических и силовых параметров ПНУ трактора «ХТЗ-16131-05» в процессе перевода КПК-3000 в транспортное положение представлены в табл. 1 и на рис. 4 и 5.

Таблица 1

Основные выходные параметры подъемно-навесного устройства трактора «ХТЗ-16131-05» при агрегатировании с КПК-3000 ($P_6 = 29$ кН)

S	Y_{56}	φ_6	φ_3'	U_{63}	I_m	I_{S6}	F	$P_{гн}$
[м]	[м]	[град]	[1/м]	[-]**	[-]	[-]	[кН]	[МПа]
0,560	*	–	–	–	–	–	–	–
0,585	0,425	90,037	6,918	0,019	4,727	4,868	136,32	14,241
0,610	0,539	90,288	6,051	0,035	4,420	4,644	130,02	13,584
0,635	0,647	90,646	5,608	0,051	4,226	4,527	126,76	13,242
0,660	0,751	91,114	5,375	0,069	4,081	4,468	125,09	13,069

Окончание табл. 1

S	Y_{56}	φ_6	φ_3'	U_{63}	I_m	I_{S6}	F	$p_{гц}$
[м]	[м]	[град]	[1/м]	[-]**	[-]	[-]	[кН]	[МПа]
0,685	0,851	91,713	5,275	0,089	3,956	4,447	124,52	13,009
0,710	0,948	92,476	5,274	0,114	3,836	4,461	124,92	13,050
0,735	1,043	93,460	5,363	0,146	3,706	4,516	126,46	13,211
0,760	1,134	94,736	5,546	0,189	3,544	4,632	129,68	13,548
0,785	1,220	96,525	5,845	0,249	3,365	4,849	135,77	14,181
0,810	1,301	99,048	6,307	0,338	3,112	5,253	147,08	15,356

*Подсоединение КПК-3000 выполняется, когда высота оси подвеса МН – (Y_{56}) составляет 0,40 м.

**Безразмерная величина.

Здесь: S – обобщенная координата, отражающая ход поршня гидроцилиндра; Y_{56} – вертикальная координата оси подвеса (Π_{56}); φ_6 – угол наклона звена L_6 ; φ_3' – аналог угловой скорости поворотного рычага (L_3, L_{34}); I_m, I_{S6} – передаточные числа МН на оси подвеса и в центре тяжести НМ; U_{63} – передаточное отношение угловых скоростей звеньев (L_6, L_3); F – приведенная к гидроцилиндру полезная нагрузка; $p_{гц}$ – давление в рабочем гидроцилиндре.

Из графиков, представленных на рис. 4 и 5, хорошо видно, что грузоподъемность ПНУ обратно пропорциональна соответствующему передаточному числу.

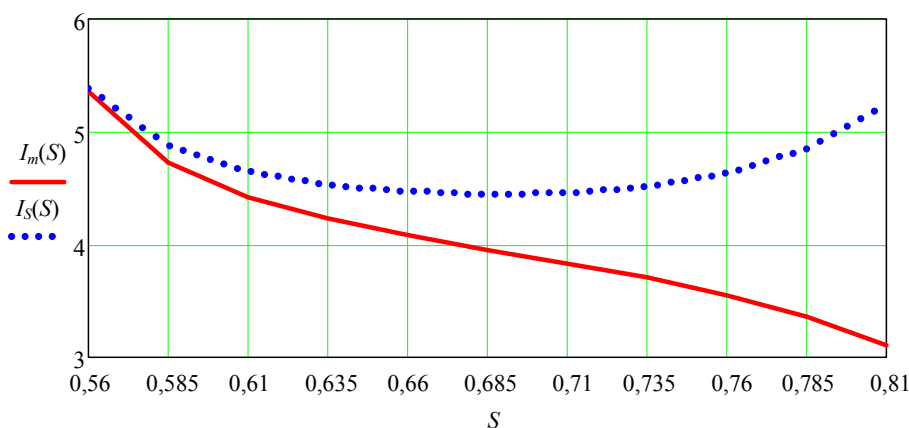


Рис. 4. Передаточные числа механизма навески «ХТЗ-16131-05» на оси подвеса и в центре тяжести КПК-3000

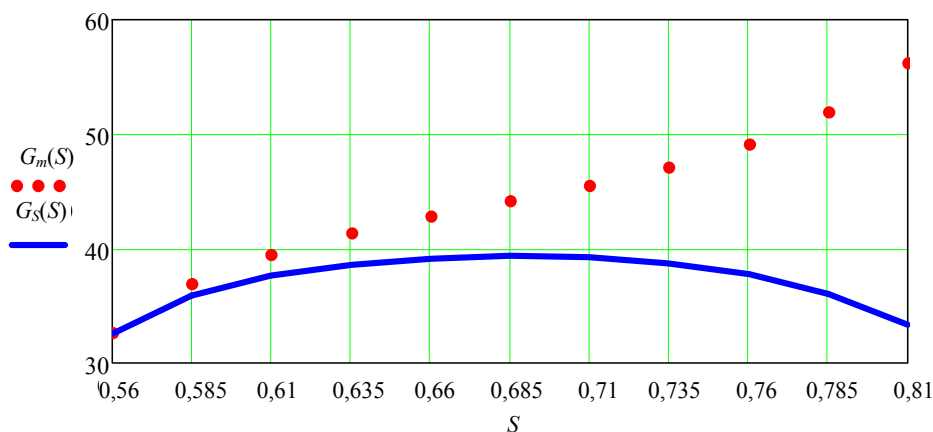


Рис. 5. Грузоподъемность ПНУ «ХТЗ-16131-05» на оси подвеса механизма навески и при агрегатировании с КПК-3000 ($G_m = 37,0$ кН, $G_S = 33,29$ кН, $\Delta G_S = 0,148P_6$)

Энергетический аспект возможности агрегатирования «ХТЗ-16131-05» с комбайном полунавесным кормоуборочным КПК-3000 рассчитан при помощи ФММ, имитирующей процесс перевода КПК-3000 из рабочего в транспортное положение. При этом запас грузоподъемности составил $\Delta G_S = 14,8 \%$ от веса комбайна (рис. 5), а максимум угла наклона стойки в транспортном положении $\Delta\phi_6 = 9,05$ град (табл. 1), что, с одной стороны, гарантирует его полный подъем, а с другой – удовлетворяет требованиям по стандарту [6]. Однако в связи с известной нестабильностью параметров ПНУ и, в частности, его КПД полученный запас грузоподъемности может оказаться недостаточен.

Вычислительный эксперимент, представленный многовариантным анализом свойств ПНУ, позволил определить сочетание геометрических параметров звеньев МН, наиболее влияющих на рост запаса грузоподъемности. В результате перенос шарнира $П_{45}$ (рис. 3) вдоль нижней тяги вправо на 25 мм позволит понизить максимум передаточного числа МН с $I_{S_6} = 5,253$ до $I_{S_6} = 4,754$, что, соответственно, увеличит грузоподъемность ПНУ, а запас грузоподъемности составит $\Delta G_S = 26,8 \%$. Одновременно уменьшится максимум угла наклона стойки в транспортном положении, так что он будет равен $\Delta\phi_6 = 7,8$ град.

Для устойчивого управления движением МТА во время транспортного переезда часть его веса, приходящаяся на мост управляемых колес МЭС в статике, должна составлять не менее 20 % от общего веса МТА [6].

Передние управляемые колеса и смещенный вперед центр тяжести обеспечивают курсовую устойчивость (прямолинейность хода) трактора «ХТЗ-16131-05» при возделывании пропашных культур и возможность стабильной работы с широкозахватными сельскохозяйственными орудиями [3].

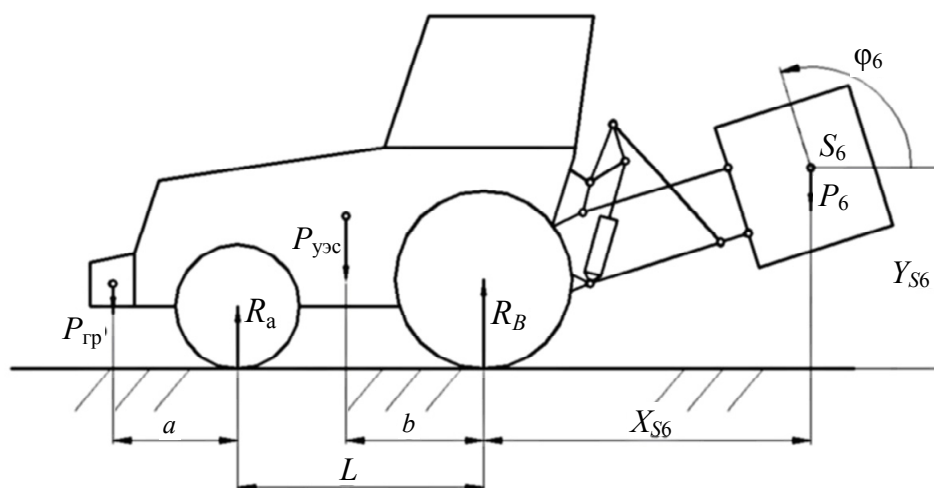


Рис. 6. Схема сил, действующих на машинно-тракторный агрегат с навесной машиной в транспортном положении

Для расчета управляемости МЭС (рис. 6) было составлено уравнение равновесия моментов сил, действующих на компоненты МТА относительно точки опоры ведущих колес:

$$\sum M_B = P_{гр'}(a + L) + P_{уэс}b - P_6 X_{S_6} - R_A L = 0,$$

где $P_{гр}$ – вес балласта; $P_{МЭС}$ – вес МЭС; P_6 – вес НМ; R_A – нагрузка, приходящаяся на мост управляемых колес; X_{S6} – горизонтальная координата центра тяжести НМ в транспортном положении; L – база МЭС; a и b – расстояние от вертикальной проекции центра тяжести МЭС до вертикальных проекций центра тяжести балласта и оси моста ведущих колес, соответственно.

Разрешив уравнение моментов сил относительно реакции на управляемом колесе R_A , получим:

$$R_A = \frac{P_{гр}(a + L) + P_{МЭС}b - P_6X_{S6}}{L}.$$

Результаты расчетов по распределению веса МЭС и МТА на ведущие и управляемые колеса МЭС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Развесовка мобильного энергетического средства и машинно-тракторного агрегата по управляемому и ведущему мостам, %

МТА	КПК-3000			
	«ХТЗ-16131-05»		«ХТЗ-16131-05» + КПК-3000 в транспортном положении	
Реакции на колесах МЭС	R_A	R_B	R'_A	R'_B
«ХТЗ-16131-05»	58,0	42,0	21,81	78,19

Расчеты показали, что, даже при отсутствии балласта, на управляемые колеса «ХТЗ-16131-05» с КПК-3000 в транспортном положении приходится более 20 % от общего веса МТА (табл. 2), поэтому требования по управляемости МЭС («ХТЗ-16131-05») удовлетворяются.

Заключение

В энергетическом аспекте агрегатирование «ХТЗ-16131-05» с КПК-3000 посредством его ПНУ вполне осуществимо. Существующие требования по управляемости МТА с КПК-3000 в транспортном положении удовлетворяются.

Заключение об обзорности рабочих органов (режущего аппарата) с рабочего места тракториста и выполнении компоновочных ограничений можно будет сделать после дополнительных исследований.

В целом проведенная работа полезна для рационального выбора параметров механизма навески ПНУ «ХТЗ-16131-05», так как расширяет возможности агрегатирования как интегрального трактора, так и полунавесного кормоуборочного комбайна КПК-3000.

Литература

1. Комбайн кормоуборочный полунавесной КПК-3000 «ПАЛЕССЕ FH40». Инструкция по эксплуатации / Отпечатано в типографии «Победа», г. Молодечно. – Минск : Полымя, 1993. – 103 с.
2. Средство энергетическое универсальное УЭС-2-280А «ПАЛЕССЕ 2U280А» Инструкция по эксплуатации / Отпечатано в КПУП «Поликолор», г. п. Корма. – Минск : Полымя, 2012. – 127 с.

3. Инструкция по эксплуатации интегрального трактора «ХТЗ-16131-05». – Харьков : ХТЗ, 2012. – 89 с.
4. Попов, В. Б. Функциональная математическая модель анализа подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов // Механика–2011 : сб. науч. тр. V Белорус. конгр. по теорет. и приклад. механике / Объед. ин-т машиностроения НАН Белоруси ; редкол.: М. С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 169–176.
5. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский – М. : Машиностроение, 1988. – 687 с.
6. ГОСТ 10677–2001. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры (Межгос. стандарт). – Минск, 2002. – С. 8.

Получено 22.05.2019 г.