

АГРЕГАТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ С КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКОЙ ХОЛДИНГА «ГОМСЕЛЬМАШ»

*Aggregation of Agricultural Tractors with Mounted Forage Implements
of the Holding "Gomselmash"*

Попов В.Б., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Сельскохозяйственные машины», popov5@list.ru
Popov V.B.

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»
Sukhoj State Technical University of Gomel

Реферат. Проблема агрегатирования мобильных энергетических средств с навесным оборудованием часто связана с достаточным уровнем энергии, необходимой для перевода навесного орудия из рабочего положения в транспортное. В статье анализируется энергетический аспект агрегатирования сельскохозяйственных тракторов и навесной кормоуборочной техники. Достаточный уровень энергии обеспечивается подъемно-навесным устройством трактора, характеризующийся грузоподъемностью на оси подвеса механизма навески. Для положительного заключения о возможности агрегатирования в энергетическом аспекте этой информации недостаточно. В процессе эксплуатации машинно-тракторного агрегата перевод навесной машины из рабочего положения в транспортное выполняется многократно и, как правило, с необоснованными энергетическими затратами. Это связано с тем, что агрегатирование энергетического средства и орудия ранее не предусматривалось, а также из-за отсутствия рекомендаций по настройке подъемно-навесного устройства. Приведены результаты расчетов, выполненных на функциональной математической модели, имитирующей перевод навесной машины из рабочего в транспортное положение подъемно-навесным устройством (ПНУ) трактора. Перевод навесной машины в транспортное положение энергетически обеспечивается только при достаточной грузоподъемности ПНУ колесного трактора. Инженерное решение этой проблемы состоит в снижении максимального значения основного передаточного числа механизма навески, обеспечиваемого соответствующим выбором параметров ПНУ. Рассмотрена модель перераспределения нагрузки на мосты трактора при подъеме навесной машины в транспортное положение и условия обеспечения управляемости трактора. Решение поставленных задач, с одной стороны, расширяет возможности агрегатирования для сельскохозяйственных колесных тракторов, а с другой способствует распространению отечественной кормоуборочной техники.

Abstract. *The problem of mobile power unit aggregation with mounted equipment is often associated with sufficient energy level, which is necessary for transferring the mounted implement from its working to transport position. The article analyzes the energy aspect of aggregation of agricultural tractors and mounted forage equipment. The sufficient level of energy is provided by a lift-and-mount device, characterizing by lifting capacity of linkage mechanism on its suspension axis. To make a positive conclusion on the aggregation possibility in the energy aspect, this information is not enough. During the operation of the machine-tractor unit, the transfer of the mounted implement from the working position to the transport is carried out repeatedly and, as a rule, with unreasonable energy costs. This is due to the fact that the aggregation of energy and tools was not previously envisaged, as well as, due to the lack of recommendations on setting up lift-and-mount devices. The results of calculations performed on a functional mathematical model simulating the transfer of a mounted implement from a worker to a transport position by a lift-and-mount device of a tractor are presented. The transfer of the mounted machine to the transport position is energetically provided only with a sufficient load capacity of the lift-and-mount device of a wheeled tractor. An engineering solution to this problem is to reduce the maximum value of the main gear ratio of the linkage mechanism, which is provided by the appropriate choice of linkage mechanism parameters. A model of the load transfer to the tractor axles when lifting the mounted implement in the transport position and the conditions for ensuring tractor controllability are considered. The solution for the set tasks, on the one hand, expands the aggrega-*

tion possibilities for agricultural wheeled tractors, and, on the other hand, promotes the spread of domestic forage harvesting equipment.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, универсальное энергетическое средство, подъемно-навесное устройство, механизм навески, грузоподъемность, навесная кормоуборочная техника.

Key words: agricultural tractor, multi-purpose power unit, lift-and-mount device, linkage mechanism, lifting capacity, mounted forage implements.

Введение. Среди кормоуборочной техники производства холдинга “Гомсельмаш” комбайны полу- и навесной кормоуборочные КНК-3000 и ПКК-3000, косилки-плющилки ротационная КПр-6 и навесная фронтальная КФН-6-Ф, как правило, агрегируемые с универсальными энергетическими средствами УЭС-2-250А (УЭС-2-280А).

Агрегатирование навесного оборудования (косилок и комбайнов) только с УЭС, ограничивает область распространения кормоуборочной техники. Применение в качестве энергоносителей тракторов “БЕЛАРУС-2022”, “Т-150К”, “ХТЗ-16131-05”, имеющих в хозяйствах союзного государства, сократит сроки уборки трав, грубостебельных культур, и одновременно повысит годовую загрузку энергоносителей.

Для агрегатирования с сельскохозяйственной техникой упомянутые тракторы оборудуются подъемно-навесными устройствами (ПНУ) с известной грузоподъемностью на оси подвеса механизма навески [1], но, для положительного заключения о возможности агрегатирования с навесной машиной в энергетическом аспекте, этой информации недостаточно.

Цель работы: На основе расчетов, опирающихся на функциональную математическую модель процесса подъема навесной машины, обосновать энергообеспеченность агрегатирования с/х тракторов с навесной кормоуборочной техникой.

Постановка задачи. Сельскохозяйственный трактор агрегируется с навесной техникой посредством своего подъемно-навесного устройства. В состав ПНУ трактора входят гидропривод и механизм навески (МН), причем МН его основной структурный компонент, определяющий характер взаимодействия рамы с/х трактора с навесной машиной.

Механизм навески представляет собой пространственный шарнирно-рычажный механизм (рисунок 1). Звенья МН, опирающиеся на раму трактора, принимаемую за неподвижное звено – стойку (2), через присоединительный треугольник (7) связаны с навесной машиной, принимаемой за подвижное звено - L_6 , образуют вместе замкнутую кинематическую цепь.

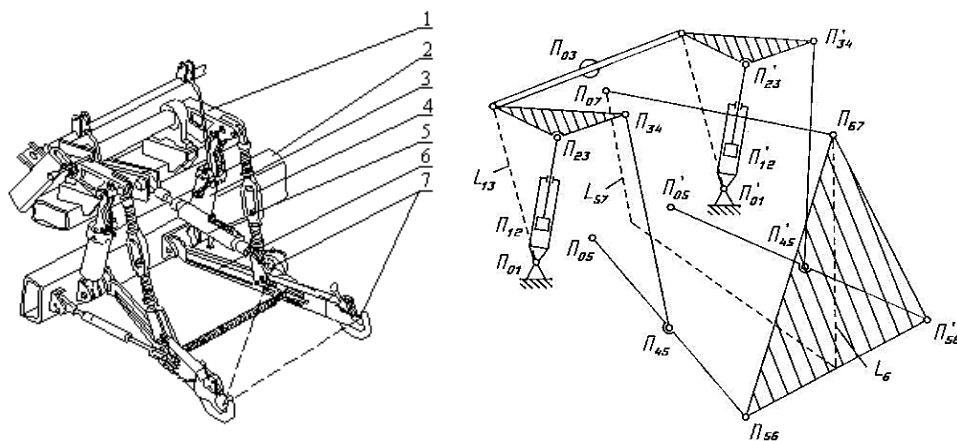


Рисунок 1 – Конструкция механизм навески и его пространственная структурная схема
 1 – поворотный рычаг; 2 – рама трактора; 3 – гидроцилиндр; 4 – раскос; 5 – верхняя (центральная) тяга;
 6 – нижняя тяга; 7 – шарниры присоединительного треугольника

Данная структурная схема МН характерна для с/х тракторов как отечественного, так и зарубежного производства, но при этом конструктивное исполнение их звеньев характеризуется существенными отличиями.

В процессе эксплуатации машинно-тракторного агрегата (МТА) перевод навесной машины из рабочего положения в транспортное выполняется многократно и с необоснованными энергозатратами. Основные причины такого положения следующие:

- отсутствие рекомендаций по настройке ПНУ конкретного трактора для энергоэкономичного перевода конкретной навесной машины в транспортное положение;
- навеска на трактор навесных машин и орудий, возможность агрегатирования с которыми ранее не предусматривалась.

Необходимым и достаточным условиями агрегатирования трактора и навесной машины (НМ) является выполнение совокупности требований:

- по расчетной минимальной грузоподъемности ПНУ трактора, определенной для заданных веса и координат центра тяжести НМ, при этом грузоподъемность ПНУ должна превышать вес НМ;
- по выполнению компоновочных ограничений для транспортного положения НМ [2];
- по обеспечению управляемости машинно-тракторного агрегата [3];
- по обзорности рабочих органов НМ с рабочего места оператора.

Расчет выходных параметров МН проводится на базе его плоского аналога, полученного из 3D геометрической модели проецированием центров шарниров механизма - Π_{ij} на его продольную плоскость симметрии (рис. 2). В результате структурного анализа кинематической цепи имеем одно-подвижный восьмизвенный механизм [4], изменение обобщенной координаты которого (ΔS) однозначно связано с положением его выходного звена (L_6).

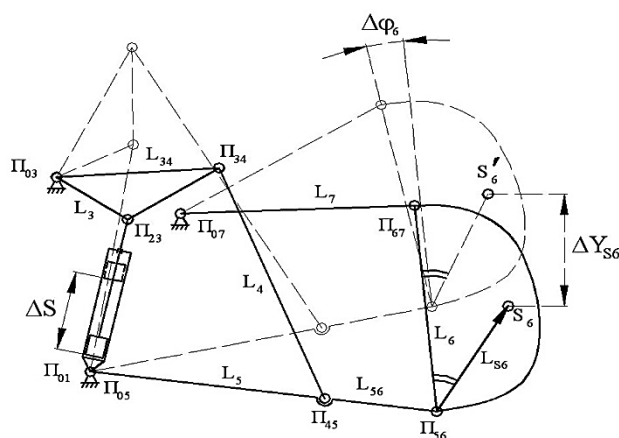


Рисунок 2 – Кинематическая цепь, состоящая из плоского аналога механизма навески ПНУ трактора “Беларус-2022” и аналога навесной машины КРН-6-Ф - L_6

Геометрический анализ замкнутой кинематической цепи выполнен по методу замкнутых векторных контуров и подробно рассмотрен в [4]. В результате геометрического анализа определяются координаты подвижных шарниров МН и характерных точек замкнутой кинематической цепи. 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 соответствующим звеном, в правой декартовой системе координат.

Координаты характерной точки - центра тяжести 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 НМ;

Кинематическая схема МН ПНУ тракторов “ХТЗ-16131-05” и “Т-150К” представлена ниже.

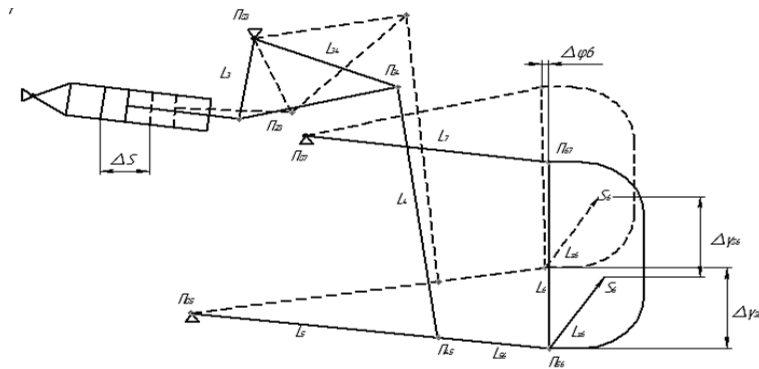


Рисунок 3 – Кинематическая цепь, состоящая из плоского аналога механизма навески ПНУ трактора “ХТЗ-16131-05” (“Т-150К”) и аналога навесной машины КПН-6-Ф - L_6

Передаточное число МН представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести НМ [5], зависящий только от внутренних параметров МН и НО:

$$I_S = \varphi_3' \cdot U_{53} \cdot [L_{56} \cdot \cos \varphi_5 + U_{65} \cdot L_{S6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S6})], \quad (4)$$

где φ_3' - аналог угловой скорости звена L_3 ; U_{53} , U_{65} - передаточные отношения, характеризующие соотношения между угловыми скоростями соответствующих звеньев; L_{S6} и φ_{S6} - характеристики вектора, проведенного от оси подвеса в центр тяжести НМ.

Для сравнения ПНУ используют два выходных кинематических параметра МН – передаточные числа на оси подвеса - I_m и на расстоянии 610 мм от оси подвеса - I_{610} [6]. Передаточное число МН на оси подвеса определяется первым слагаемым в выражении (4).

По мере подъема НМ I_{S6} увеличивается и его максимальное значение ограничивает вес НМ, который можно перевести при помощи ПНУ в транспортное положение.

Полезная нагрузка на рабочем гидроцилиндре (ГЦ) пропорциональна основному передаточному числу механизма навески - I_{S6} :

$$F = P_6 \cdot I_{S6} . \quad (5)$$

Максимальная движущая сила, развиваемая на штоке гидроцилиндра (ГЦ) для преодоления приведенной к ГЦ нагрузки, определяется по выражению:

$$F_{um}^{\max} = p_{гц}^{\max} \cdot F_c, \quad (6)$$

где F_c - площадь поршня ГЦ со стороны напорной гидромагистрالی; $p_{гц}^{\max}$ - максимальное давление в ГЦ, ограниченное настройкой предохранительного клапана (20 МПа) и потерями давления в гидромагистрالی.

Аналитические выражения для грузоподъемности ПНУ на оси подвеса и в центре тяжести НМ имеют вид [6]:

$$G_m = \frac{p_{um}^{\max} \cdot F_c \cdot \eta}{I_m^{\max}} \quad G_S = \frac{p_{um}^{\max} \cdot F_c \cdot \eta}{I_S^{\max}}, \quad (7)$$

где η - коэффициент полезного действия МН.

Результаты и их обсуждение. Для подтверждения энергетической обеспеченности перевода навесных кормоуборочных машин из рабочего в транспортное положение были выполнены соответ-

ствующие расчеты выходных параметров ПНУ тракторов на основе разработанной функциональной математической модели (ФММ) [7].

Результаты выполненных расчетов приведены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Основные выходные параметры ПНУ трактора “Беларус-2022” при подъеме КПН-6-Ф ($P_6 = 33\text{кН}$)

S	Y_{56}	\square_6	$\square_3\square$	U_{63}	G_{S6}	I_m	I_{S6}	F	$P_{гц}$
[м]	[м]	[град]	[1/м]	[-] $\square\square$	[кН]	[-]	[-]	[кН]	[МПа]
0,440	*	-	-	-	-	-	-	-	-
0,465	0,578	90,039	4,526	0,039	66,506	2,750	2,944	97,16	9,239
0,490	0,646	90,381	4,403	0,068	64,985	2,682	3,013	99,44	9,455
0,515	0,712	90,908	4,352	0,101	63,121	2,622	3,102	102,43	9,735
0,540	0,777	91,642	4,357	0,136	60,978	2,564	3,211	106,01	10,077
0,565	0,840	92,613	4,410	0,174	58,581	2,503	3,343	110,32	10,489
0,590	0,902	93,862	4,511	0,217	55,944	2,434	3,500	115,50	10,984
0,615	0,962	95,443	4,665	0,265	53,091	2,354	3,688	121,73	11,574
0,640	1,019	97,423	4,882	0,315	50,079	2,261	3,910	129,01	12,270
0,665	1,075	99,883	5,183	0,368	47,021	2,150	4,164	137,42	13,068
0,690	1,127	102,909	5,606	0,416	44,117	2,018	4,439	146,51	13,928

\square - ПОДСОЕДИНЕНИЕ КПН-6-Ф ВЫПОЛНЯЕТСЯ, КОГДА ВЫСОТА ОСИ ПОДВЕСА МН - (Y_{56}) СОСТАВЛЯЕТ 0.55М; $\square\square$ - БЕЗРАЗМЕРНАЯ ВЕЛИЧИНА.

Здесь: S – обобщенная координата, отражающая ход поршня гидроцилиндра ($\square S$); Y_{56} – вертикальная координата оси подвеса (Y_{56}); \square_6 – угол наклона звена L_6 ; $\square_3\square$ – 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 гидроцилиндре.

Вычисление выходных параметров ПНУ тракторов выполняем, начиная с навесной машины более других нагружающей МН, для чего сравним моменты нагрузки создаваемые кормоуборочными машинами относительно оси подвеса МН.

$$M_{нагр} = P_6 \cdot X_6$$

где X_6 – расстояние по горизонтали от оси подвеса до центра тяжести НМ.

Косилка-плющилка навесная КПН-6-Ф - $M_{нагр} = 33 \text{ кН} \cdot 1,1 \text{ м} = 33,6 \text{ кНм}$

Косилка-плющилка ротационная КРР-6 - $M_{нагр} = 25 \text{ кН} \cdot 0,81 \text{ м} = 20,25 \text{ кНм}$

Комбайн навесной кормоуборочный КНК- 3000 – $M_{нагр} = 28 \text{ кН} \cdot 1,05 \text{ м} = 29,4 \text{ кНм}$

Комбайн полунавесной кормоуборочный ПКК- 3000 - $M_{нагр} = 29 \text{ кН} \cdot 1,07 \text{ м} = 31,03 \text{ кНм}$

Таблица 2 - Основные выходные параметры ПНУ трактора “ХТЗ-16131-05” при подъеме КПН-6-Ф ($P_6 = 33 \text{ кН}$)

S	Y_{56}	\square_6	$\square_3\square$	U_{63}	G_{S6}	I_m	I_{S6}	F	$P_{гц}$
[м]	[м]	[град]	[1/м]	[-] $\square\square$	[кН]	[-]	[-]	[кН]	[МПа]
0,560	*	-	-	-	-	-	-	-	-
0,585	0,549	90,103	5,494	-0,016	48,369	4,074	3,984	131,482	12,963
0,610	0,651	90,036	5,320	0,001	47,929	4,03	4,021	132,69	13,082
0,635	0,751	90,078	5,263	0,013	47,427	3,992	4,063	134,095	13,22
0,660	0,85	90,234	5,302	0,029	46,861	3,952	4,113	135,715	13,38
0,685	0,948	90,527	5,426	0,048	46,195	3,899	4,172	137,669	13,573
0,710	1,045	90,998	5,652	0,072	45,341	3,826	4,25	140,263	13,829
0,735	1,139	91,724	6,003	0,104	44,105	3,718	4,37	144,194	14,216
0,760	1,231	92,852	6,545	0,15	42,091	3,558	4,579	151,093	14,896
0,785	1,317	94,678	7,421	0,221	38,529	3,312	5,002	165,061	16,273
0,810	1,395	97,883	9,034	0,334	32,208	2,927	5,983	197,455	19,467

Таблица 3 - Основные выходные параметры ПНУ трактора “Т-150К” при подъеме КПН-6-Ф ($P_6 = 33 \text{ кН}$)

S	Y_{S6}	\square_6	\square_3	U_{63}	G_{S6}	I_m	I_{S6}	F	$p_{гн}$
[м]	[м]	[град]	[1/м]	[-] \square	[кН]	[-]	[-]	[кН]	[МПа]
0,560	*	-	-	-	-	-	-	-	-
0,585	0,555	89,996	5,740	0,006	47,948	4,164	4,125	136,127	13,421
0,610	0,658	89,999	5,441	0,010	48,210	4,059	4,103	135,389	13,348
0,635	0,758	90,111	5,298	0,022	48,253	3,970	4,099	135,267	13,336
0,660	0,857	90,341	5,264	0,039	48,104	3,883	4,112	135,687	13,377
0,685	0,953	90,718	5,321	0,061	47,726	3,789	4,144	136,760	13,483
0,710	1,046	91,291	5,468	0,089	46,999	3,676	4,208	138,877	13,692
0,735	1,136	92,150	5,719	0,128	45,655	3,532	4,332	142,964	14,095
0,760	1,222	93,469	6,109	0,188	43,176	3,336	4,581	151,172	14,904
0,785	1,302	95,599	6,716	0,285	38,692	3,055	5,112	168,691	16,631
0,810	1,374	99,329	7,719	0,452	31,415	2,618	6,296	207,771	20,484

Поскольку наибольшую нагрузку создает косилка-плющилка навесная КПН-6-Ф, имеет смысл рассчитать выходные параметры ПНУ для неё, определить грузоподъемность, обеспечиваемую ПНУ соответствующего трактора при её подъеме. Грузоподъемность (G_{S6}), как это следует из результатов расчета (табл. 1,2,3) величина переменная, определяемая по её минимальному значению. Таким образом, при подъеме КПН-6-Ф посредством ПНУ тракторов “Беларус-2022”, “ХТЗ-16131-05”, “Т-150К” грузоподъемность соответственно равна: 44,117 кН, 32,208 кН и 31,415 кН. В последнем варианте она на 4,8% ниже требуемой, что возможно откорректировать регулировкой расположения неподвижного шарнира верхней тяги и высоты присоединительного треугольника. Поскольку нагрузка со стороны остальных НМ меньше чем в случае с КПН-6-Ф, можно утверждать, что требования по грузоподъемности будут удовлетворены.

Компоновочные ограничения для транспортного положения навесных машин удовлетворяются, так как изменение угла наклона стойки ($\Delta \square_6$) в транспортном положении не превышает 15° [2]. Для ПНУ трактора “Беларус-2022” $\Delta \square_6 = 102,909^\circ - 90^\circ = 12,909^\circ$; Для ПНУ трактора “ХТЗ-16131-05” $\Delta \square_6 = 97,883^\circ - 90^\circ = 7,883^\circ$; “Т-150К” $\Delta \square_6 = 99,329^\circ - 90^\circ = 9,329^\circ$.

Для устойчивого управления движением МТА во время транспортного переезда часть его веса, приходящаяся на мост управляемых колес трактора должна составлять не менее 20% от общего веса МТА [3].

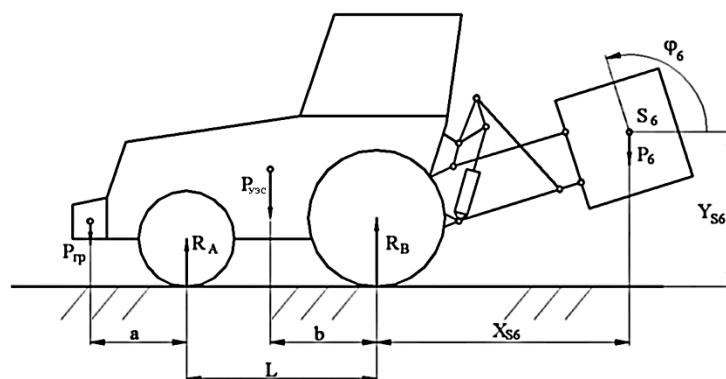


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на МТА с навесной машиной в транспортном положении

Для расчёта управляемости МТА (рисунок 4) было составлено уравнение равновесия моментов сил, действующих на компоненты МТА относительно точки опоры ведущих колес:

$$\sum M_B = P_{ep} \cdot (a + L) + P_{mp} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} - R_A \cdot L = 0$$

где: P_{ep} - вес балласта, a и b - расстояние от вертикальной проекции центра тяжести трактора до вертикальных проекций центра тяжести балласта и оси моста ведущих колес соответственно,

L - база трактора, P_{mp} - вес трактора, P_6 - вес НМ, R_A - нагрузка, приходящаяся на мост управляемых колёс, X_{S6} - горизонтальная координата центра тяжести НМ в транспортном положении.

Выражение для реакции на управляемом колесе - R_A имеет следующий вид:

$$R_A = \frac{P_{ep} \cdot (a + L) + P_{mp} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}$$

Результаты расчетов по распределению веса тракторов и МТА представлены в таблице 4.

Во всех вариантах на управляемые колеса трактора с НМ в транспортном положении приходится более 20% от его общего веса (табл. 4), поэтому требования по управляемости трактора с НМ в транспортном положении удовлетворяются.

Таблица 4 – Развесовка тракторов и МТА по управляемому и ведущему мостам, в [%]

МТА	КПН-6-Ф в транспортном положении				ПКК-3000 в транспортном положении			
	трактор		трактор+ КПН-6-Ф		трактор		трактор +ПКК-3000	
Реакции	R_A	R_B	R'_A	R'_B	R_A	R_B	R'_A	R'_B
Т-150К	50,2	49,8	21,89	78,11	50,2	49,8	24,21	75,79
ХТЗ-16131-05	47,55	52,45	22,05	77,95	47,55	52,45	25,65	74,35
БЕЛАРУС-2022	47,94	52,06	20,09	79,91	47,94	52,06	21,14	78,84

Выводы. Шлейф, навешиваемых на сельскохозяйственный трактор навесных машин и орудий, имеет тенденцию к росту. Поэтому анализ энергообеспеченности агрегатирования сельскохозяйственных тракторов с навесной техникой может способствовать формированию новых, экономичных МТА.

В энергетическом аспекте агрегатирование тракторов “ХТЗ-16131-05”, “БЕЛАРУС-2022”, “Т-150К” с комбайнами КНК-3000, ПКК-3000 и косилками КПр-6, КПН-5-Ф посредством их ПНУ осуществимо.

Существующие требования по управляемости и выполнению компоновочных ограничений для транспортного положения навесных машин в новообразованных МТА удовлетворяются.

Заключение об обзорности рабочих органов навесной техники с рабочего места (сиденья) тракториста можно будет сделать после дополнительных исследований.

Приведенные результаты расчетов, связанные с оценкой грузоподъемности ПНУ вышеупомянутых тракторов будут полезны для рационального подбора машин, входящих в состав других МТА [8].

Библиографический список

1. Рунов А.В. Трактора «БЕЛАРУС-2522В/2522ДВ/2822ДЦ/3022В/3022ДВ» и их модификации: руководство по эксплуатации. Мн., 2008. 399 с.
2. ГОСТ 10677. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6-8. Типы, основные параметры и размеры (Межгосударственный стандарт). Мн., 2002.
3. ГОСТ 12.2.111-85. Система стандартов безопасности труда. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности (Межгосударственный стандарт). Мн., 2006. 10 с.
4. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Машиностроение, 1988. 640 с.
5. Попов В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2000. № 2. С. 25-29.
6. Гуськов В.В. Тракторы. Ч. III. Конструирование и расчет. Мн.: Вышэйш. Шк., 1981. 383 с.
7. Попов В.Б. Функциональная математическая модель анализа подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств – Механика: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике / редкол.: М.С. Высоцкий и др. Мн., 2011. Т.°1. С. 169-176.
8. Василенко В.В. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин: учеб. пособие. Воронеж: Истоки, 2004. 194 с.

References

1. Runov A.V. *Traktora «BELARUS-2522V/2522DV/2822DTs/3022V/3022DV» i ih modifikatsii: rukovodstvo po ekspluatatsii*. Mn., 2008. 399 s.
2. GOST 10677. *Ustroystvo navesnoe zadnee selskohozyaystvennykh traktorov klassov 0,6-8. Tipy, osnovnye parametry i razmery (Mezhgosudarstvennyy standart)*. Mn., 2002.
3. GOST 12.2.111-85. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Mashiny selskohozyaystvennyye navesnye i pritsepnye. Obschie trebovaniya bezopasnosti (Mezhgosudarstvennyy standart)*. Mn., 2006. 10 s.
4. Artobolevskiy I.I. *Teoriya mehanizmov i mashin*. M.: Mashinostroenie, 1988. 640°s.
5. Popov V.B. *Analiticheskie vyrazheniya kinematicheskikh peredatochnykh funktsiy mehanizmov naveski energonositeley // Vestnik GGTU im. P.O. Suhogo*. 2000. № 2. S. 25-29.
6. Guskov V.V. *Traktory. Ch. III. Konstruirovaniye i raschet*. Mn.: Vysheysh. Shk., 1981. 383°s.
7. Popov V.B. *Funktsionalnaya matematicheskaya model analiza pod'emno-navesnykh ustroystv mobilnykh energeticheskikh sredstv – Mehanika: sb. nauch. tr. V Belorusskogo kongressa po teoreticheskoy i prikladnoy mehanike / redkol.: M.S. Vysotskiy i dr.* Mn., 2011. T.°1. S. 169-176.
8. Vasilenko V.V. *Raschet rabochnih organov pochvoobrabatyvayuschih i posevnykh mashin: ucheb. posobie*. Voronezh: Istoki, 2004. 194 s.