

Пластик голубых ПЭТ-бутылок один из самых жестких, однако в расплавленном виде является наиболее текучим из всех.

Анализируя данные, полученные в ходе проведения эксперимента, следует отметить, что наибольшей прочностью обладают образцы размером 150 x 10 мм со средней нагрузкой при разрыве, равной  $4,15 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ . Следом за ними по прочностным характеристикам расположились образцы размером 150 x 3 мм (жгут из трех лент, размером 150 x 3 мм), со средней нагрузкой при разрыве, равной  $1,50 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ . Самой низкой прочностью характеризуются образцы наименьшего размера 150 x 3 мм, чья средняя нагрузка при разрыве составляет всего  $0,89 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ .

Таким образом, при непосредственном производстве филамента, включающем этапы роспуска на ленты и нагревания материала до температуры стеклования, прочность может значительно увеличиться в виду изменения структуры и плотности исходного материала. Аддитивное производство при переработке полимеров может протекать с одновременным улучшением тепловых, механических и трибологических свойств материалов путем формирования композитов, представляющих собой полимерную матрицу, армированную волокном, керамикой и другими типами усилителей.

#### Литература

1. Нить 3D-печати как вторая жизнь отходов пластмасс-обзор. / К. Микула [и др.]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>. – Дата доступа: 20.04.2022.
2. Experimental determination of the tensile strength of fused deposition modeling parts / K. Savvakis [et al.] // Conference : American Society of Mechanical Engineers-International Mechanical Engineering Congress & Exposition, At Montreal. – 2014. – P. 1–6.
3. The Latest Flashforge Software, Firmware, and User Manual Downloa. – Режим доступа: <http://www.flashforge.com.hk/downloads.html>. – Дата доступа: 20.04.2022.
4. Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D-desktop printer / Garrett W [et al.] // Rapid Prototyping Journal. – 2015. – Vol. 21, № 5.
5. Effect of Layer Thickness and Printing Orientation on Mechanical Properties and Dimensional Accuracy of 3D-Printed Porous Samples for Bone Tissue Engineering / A. Farzadi [et al.] // PLOS. – 2014. – № 9.

## **ИННОВАЦИИ В РАСЧЕТЕ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА**

**Г. Г. Кудренко**

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

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. В. Б. Попов

Подъемно-навесное устройство (механизм навески – МН) служит для присоединения к универсальному энергетическому средству (УЭС) навесных, полунавесных сельскохозяйственных машин, для регулировки рабочего положения, подъема в транспортное и опускание в рабочее положение навесных и полунавесных машин при помощи трехточечной системы механизма навески.

Данный вид навески имеет широкое применение среди сельскохозяйственных тракторов, а также УЭС для агрегатирования с большинством почвообрабатывающих машин сплошной обработки почвы, с посевными, посадочными, некоторыми уборочными машинами.

Расчеты подъемно-навесного устройства (ПНУ) и МН ведутся графо-аналитическим методом [1], [2].

Целью работы является анализ расчета усилий подъемно-навесного устройства. Плоские модели МН ПНУ Беларус-2022, 2522, 3022 (рис. 1), УЭС-350 (рис. 2).

При расчете ПНУ УЭС-350 с навесным комбайном КНК-500 весом 48 кН и центром тяжести 1,25 м, в базовой системе координат, связанной с УЭС, определяются координаты подвижных шарниров МН и характерных точек замкнутой кинематической цепи [3]. В частности, координаты оси подвеса МН –  $\Pi_{56}$  определяются по выражениям:

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

где  $X_{05}, Y_{05}$  – координаты неподвижного шарнира  $\Pi_{05}$  на раме трактора;  $\varphi_i$  – угол, образуемый соответствующим звеном, в правой декартовой системе координат.

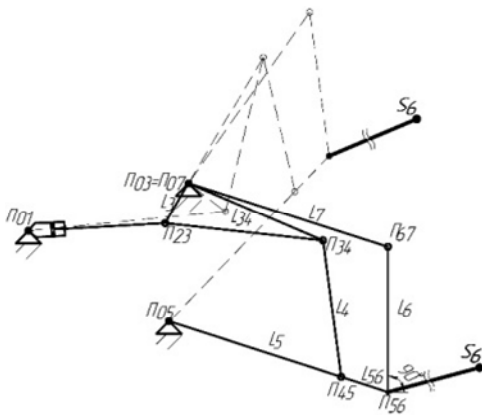


Рис. 1. Схема механизма навески трактора с указанием координат точек

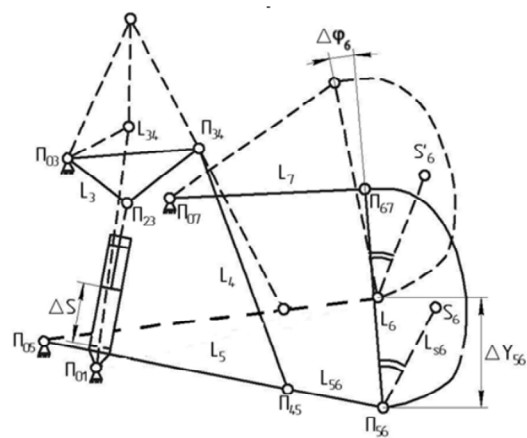


Рис. 2. Схема механизма навески УЭС-350 с указанием координат точек

Координаты характерных точек центра тяжести навесной машины (НМ) определяются в соответствии со следующими формулами:

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

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

где  $L_{S6}$  и  $\varphi_{S6}$  – характеристики вектора, проведенного от оси подвеса в центр тяжести НМ[4].

В результате кинематического анализа определяются аналитические выражения для передаточных чисел МН на оси подвеса –  $I_m(S)$ , для конкретной НМ –  $I_{S6}(S)$ , а также аналог ее угловой скорости –  $\varphi'_6(S)$ :

$$I_m(S) = \varphi'_3(S) U_{53}(S) L_{56} \cdot \cos(\varphi_6(S)),$$

где  $\varphi'_3(S)$  – аналог угловой скорости звена поворотного рычага;  $U_{53}(S)$  – передаточное отношение;  $L_{56}, \varphi_5(S)$  – длина нижней тяги и угол, образуемый ею в правой декартовой системе координат.

$$I_{S_6}(S) = \varphi'_3(S)U_{53}(S)(L_{56} \cdot \cos(\varphi_5(S)) + U_{65}(S) L_{S_6} \cdot \cos(\varphi_6(S) + \varphi_{S_6})),$$

где  $L_{S_6}$ ,  $\varphi_{S_6}$  – вектор, равный расстоянию от оси подвеса до центра тяжести НМ, и угол между ним и НМ, представленной звеном  $L_6$ .

$$\varphi'_6(S) = \varphi'_3(S)U_{63}(S) = \varphi'_3(S)U_{53}(S)U_{65}(S),$$

где  $U_{63}(S)$  – передаточное отношение, характеризующее соотношение угловых скоростей звеньев  $L_{56}$  и  $L_6$ .

Зная  $I_{S_6}(S)$ , можно, не выполняя силовой анализ МН, определить полезную нагрузку  $F(S)$ , приведенную к рабочим гидроцилиндрам МН:

$$F(S) = P_6 / I_{S_6}(S).$$

Результаты расчета выходных параметров ПНУ УЭС-350, агрегируемого с кормоуборочным комбайном КНК-500, выполненные при помощи функционально-математической модели (ФММ), представлены на рис. 3 и в табл. 1.

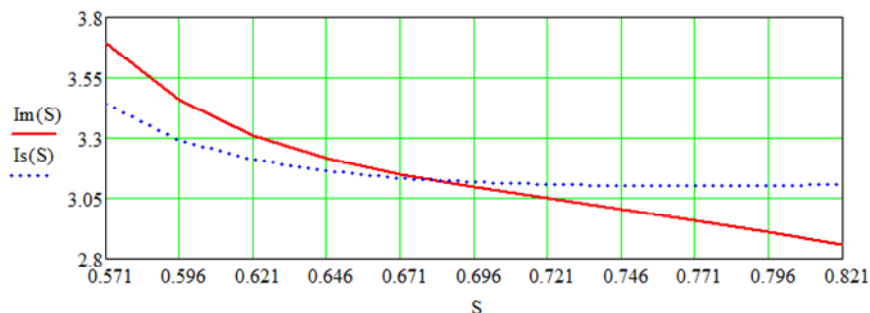


Рис. 3. Диаграммы изменения передаточных чисел УЭС-350

Грузоподъемность на оси подвеса МН и в центре тяжести НМ равна весу навесной машины, переводимой из рабочего в транспортное положение:

$$G_m(S) = \frac{p_{гц}^{\max} F_c - (F_{ин}^{np}(S) + F_{тр}^{np}(S))}{I_m(S)_{\max}}; \quad G_{S_6}(S) = \frac{p_{гц}^{\max} F_c - (F_{ин}^{np}(S) + F_{ин}^{np}(S))}{I_{S_6}(S)_{\max}},$$

где  $p_{гц}^{\max}$  – максимальное давление в гидроцилиндре;  $F_c$  – площадь поршня гидроцилиндра;  $F_{ин}^{np}(S)$ ,  $F_{тр}^{np}(S)$  – приведенная сила инерции и сила трения, определенные для значения обобщенной координаты  $S^*$ , соответствующей максимуму передаточных чисел –  $I_m(S)$ ,  $I_{S_6}(S)$ .

Грузоподъемность – это обобщенный критерий качества ПНУ, зависящий от параметров гидропривода, механизма навески и массово-геометрических характеристик НМ.

Практика проектирования УЭС показывает, что вес навесной техники и удаление ее центра тяжести от оси подвеса МН имеют тенденцию к росту, а заданная траектория подъема НМ может быть воспроизведена, если только обеспечена достаточная грузоподъемность ПНУ.

Как следует из таблицы, грузоподъемность ПНУ на оси подвеса для УЭС-350 выросла с 78,45 до 85,15 кН. Это объясняется ростом максимально возможного дав-

ления и диаметром поршня гидроцилиндра с одной стороны и уменьшением максимума  $I_m(S)$  с другой. Что касается грузоподъемности, связанной с подъемом КНК-500, то она на пределе: для КНК-500 весом в 48 кН она составляет 49,39 кН.

#### Выходные параметры ПНУ УЭС-350

Геометрические параметры				Кинематические параметры			Силовые параметры			
$S, \text{ м}$	$Y_{56}(S), \text{ м}$	$X_p(S), \text{ м}$	$\varphi_6(S), \text{ град}$	$\varphi'_3(S), \text{ 1/м}$	$U_{63}(S), \text{ -}^{**}$	$\varphi'_6(S), \text{ 1/м}$	$G_m(S), \text{ кН}$	$G_{S6}(S), \text{ кН}$	$F(S), \text{ кН}$	$P_2(S), \text{ МПа}$
0,571	–	–*	–	–	–	–	–	–	–	–
0,596	0,32	0,48	90,02	4,844	–0,027	–0,131	78,451	51,271	196,11	17,770
0,621	0,404	0,729	89,869	4,425	–0,018	–0,082	80,268	52,339	192,10	17,407
0,646	0,486	1,308	89,78	4,175	–0,01	–0,044	81,514	52,879	190,14	17,229
0,671	0,566	4,85	89,741	4,022	–0,003	–0,011	82,397	53,038	189,57	17,178
0,696	0,644	–2,916	89,746	3,935	0,005	0,018	83,047	52,907	190,04	17,220
0,721	0,72	–1,091	89,794	3,896	0,012	0,048	83,553	52,545	191,35	17,339
0,746	0,796	–0,645	89,884	3,896	0,02	0,079	83,978	51,992	193,38	17,523
0,771	0,87	–0,437	90,021	3,932	0,029	0,113	84,365	51,273	196,09	17,769
0,796	0,944	–0,314	90,209	4,003	0,038	0,152	84,747	50,403	199,48	18,076
0,821	1,016	–0,231	90,459	4,112	0,048	0,199	85,145	49,391	203,56	18,446

\*Подсоединение навесного кормоуборочного комбайна КНК-500 выполняется, когда высота оси подвеса ( $Y_{56}$ ) составляет 0,33 м.

\*\*Безразмерная величина.

Одним из способов обеспечения требуемого запаса грузоподъемности ПНУ является снижение потерь энергии на трение как в гидроприводе, так и в шарнирах МН, которое в среднем составляет 16–21 % от величины ее полезных затрат, а также приведенной силы инерции. Передаточное число МН УЭС, связанное с конкретной навесной машиной, изменяется по мере ее подъема, а его максимум ограничивает вес НМ.

#### Литература

1. Василенко, В. В. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин : учеб. пособие / В. В. Василенко. – Воронеж, 2004.
2. Гуськов, В. В. Тракторы : в 3 ч. Проектирование и расчет / В. В. Гуськов. – Минск : Выш. шк., 1977. – Ч. 3. Проектирование и расчет. – 384 с.
3. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 251 с.
4. Попов, В. Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 25–29.