

УДК 621.869.4: 658

**О ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ В ЗАДАЧЕ  
МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПЕРЕВОД  
НАВЕСНОЙ МАШИНЫ В ТРАНСПОРТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ**

ON FUNCTIONAL RESTRICTIONS IN THE PROBLEM  
OF MINIMIZING ENERGY CONSUMPTION FOR LIFTING  
OF THE MOUNTED MACHINE INTO UPPER POSITION

**В. Б. Попов**, канд. техн. наук, доц.,

V. Popov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

Гомельский государственный технический университет

им. П.О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

*Представлена методика выбора функциональных ограничений в задаче параметрической оптимизации трехточечного механизма навески мобильного энергетического средства (в том числе сельскохозяйственного трактора). Выбор функциональных ограничений имеет целью минимизацию затрат энергии в процессе подъема навесной машины.*

*The technique of selection of functional restrictions in the problem of parametric optimization of the mechanism for mounting a mobile power tool (agricultural tractor) is presented. The choice of functional restrictions is aimed at minimizing energy consumption in the process of lifting the mounted machine.*

Ключевые слова: *мобильное энергетическое средство, трехточечный механизм навески, параметрическая оптимизация, функциональные ограничения, передаточное число, навесная машина.*

Keywords: *mobile power tool, three-point linkage mechanism, parametric optimization, functional restrictions, gear ratio, mounted machine.*

## ВВЕДЕНИЕ

В задачах параметрической оптимизации навесных и подъемных механизмов необходимым компонентом их математических моделей (ММ) являются функциональные ограничения, отсекающие не-

приемлемые варианты решений [1]. Они ограничивают направление поиска выходных параметров технического объекта или режима его работы, обеспечивая, таким образом, ускорение выбора рациональных внутренних параметров механизмов навески.

Цель работы – формирование функциональных ограничений в составе ММ параметрической оптимизации механизма навески (МН) мобильного энергетического средства (МЭС).

## ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА НАВЕСКИ МЭС

Установлено, что общим функциональным ограничением для большинства синтезируемых механизмов навески (МН) является соблюдение правила существования «треугольников» (одна сторона треугольника всегда меньше двух других), образуемых из четырехзвенников замкнутой кинематической цепи (рисунок 1б).

Исходя из требований стандарта [2] к функциональным ограничениям относят: ход оси подвеса –  $\Delta Y_{56}(S)$  – (рисунок 1б), угол наклона высоты присоединительного треугольника –  $\Delta\varphi_6(S)$  и координату мгновенного полюса вращения (рисунок 2) навесной машины –  $X_P$ . Кроме того, учитывают время подъема НМ –  $t_{nod}$ .

$$\Delta Y_{56}(S) = Y_{56}(S_{max}) - Y_{56}(S_{pa\bar{o}}) \geq \Delta Y_{56}^{don}(S); \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_6(S) = \varphi_6(S_{max}) - \varphi_6(S_{pa\bar{o}}) \leq \varphi_6^{don}(S); \quad (2)$$

$$t_{nod} = \frac{(S_{max} - S_{pa\bar{o}}) \cdot F_C}{q \cdot n \cdot \eta_V} \leq t_{nod}^{don}; \quad (3)$$

$$X_P = \frac{(y_{56}(S) \cdot x_{05} - y_{05} \cdot x_{56}(S)) \cdot (x_{07} - x_{67}(S))}{(y_{07} - y_{67}(S)) \cdot (x_{05} - x_{56}(S)) - (x_{07} - x_{67}(S)) \cdot (y_{05} - y_{56}(S))} - \frac{(x_{05} - x_{56}(S)) \cdot (y_{67}(S) \cdot x_{07} - y_{07} \cdot x_{67}(S))}{(y_{07} - y_{67}(S)) \cdot (x_{05} - x_{56}(S)) - (x_{07} - x_{67}(S)) \cdot (y_{05} - y_{56}(S))} \leq X_P^{don},$$

где  $S_{pa\bar{o}}$ ,  $S_{max}$  – значение обобщенной координаты, соответствующее рабочему и транспортному положению оси подвеса МН;  $x_{0i}$ ,  $y_{0i}$  –

координаты центров неподвижных шарниров МН;  $x_{ij}(S)$ ,  $y_{ij}(S)$  – координаты центров подвижных шарниров МН.

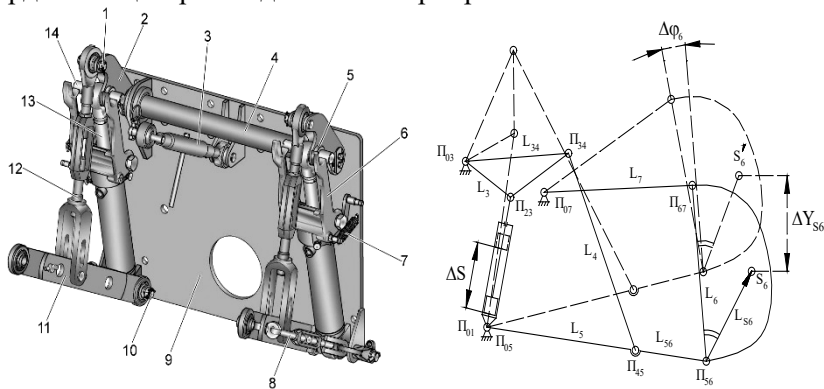


Рисунок 1 – Подъемно-навесное устройство (а) и плоский аналог его механизма навески (б) в рабочем и транспортном положениях

1, 14 – пальцы; 2 – рычаг поворотный; 3 – тяга верхняя; 4 – вал; 5 – подшипник; 6 – фиксатор; 7 – пружина; 8 – стяжка; 9 – рама МЭС; 10 – чека; 11 – тяга нижняя; 12 – раскос; 13 – гидроцилиндр.

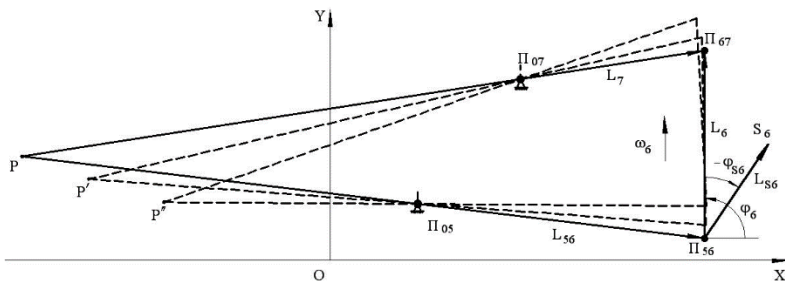


Рисунок 2 – Положения полюса мгновенного центра вращения навесной машины (P) при качающейся оси подвеса МН ( $\Pi_{56}$ )

Помимо этого, к функциональным ограничениям относится максимально допустимый вес НМ, влияющий на управляемость МТА с НМ, находящейся в транспортном положении (рисунок 3).

В этом случае для МТА расположенного горизонтально, условие управляемости [1], ограничивающее вес МН, имеет вид:



$$I(S) = \dot{\varphi}_3(S) \cdot U_{53}(S) \cdot [L_5 \cdot \cos \varphi_5(S) + U_{65}(S) \cdot L_{S6} \cdot \cos(\varphi_6(S) + \varphi_{S6})], \quad (5)$$

где  $\dot{\varphi}_3$  – аналог угловой скорости;  $U_{53}(S)$ ,  $U_{65}(S)$  – передаточные отношения;  $L_5$ ,  $L_{S6}$  – модули векторов (длины звеньев МН);  $\varphi_5(S)$ ,  $\varphi_6(S)$  – углы, образуемые звеньями МН в правой декартовой системе координат.

Полезная нагрузка  $F(S)$  на гидроцилиндре:

$$F(S) = P \cdot I(S), \quad (6)$$

Передаточное число также существенно влияет на грузоподъемность  $G_S$  ПНУ:

$$G_S = \frac{P_{ци}^{\max} \cdot F_c - [F_{ин}^{np}(S) + F_{тр}^{np}(S)]}{I(S)_{\max}}, \quad (7)$$

где  $P_{ци}^{\max}$  – максимальное давление в ГЦ;  $F_c$  – площадь поршня ГЦ;  $F_{ин}^{np}(S)$  – приведенная сила инерции и  $F_{тр}^{np}(S)$  – приведенная сила трения [1], определенные для значения обобщенной координаты, соответствующей максимальной величине передаточного числа.

Анализируя выражения (6) и (7) отметим, что чем меньше изменяется величина  $I(S)$  в диапазоне изменения обобщенной координаты и чем меньше при этом оказывается ее максимум, тем менее энергоемким становится перевод НМ в транспортное положение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика выбора ФО распространяется на автоматизированное проектирование других подъемных механизмов МТА, и, в частности, представляемых их четырехзвенными и шестизвенными аналогами. При соответствующей доработке методика может быть также использована при автоматизированном проектировании идентичных по структуре механизмов строительно-дорожных и землеройных машин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – 251с.: ил.

2. ГОСТ 10677-2001. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры (Межгосударственный стандарт) – Минск : 2002. – С. 8.

3. Курс теории механизмов и машин. Зиновьев В. А., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975 г. – 384 с.

Представлено 24.05.2021

УДК 623.437.42: 629.3.018

### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТРАНСМИССИЙ**

### **DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CONTROLLING THE TRANSMISSION TEST BENCH**

**Ч. И. Жданович**, канд. техн. наук, доц., **Н. А. Поздняков**,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь  
Ch. Zhdanovich, PhD in Engineering, Associate Professor,  
N. Pozdnyakov,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Разработан алгоритм управления стендом для испытаний трансмиссий сельскохозяйственного трактора в режиме имитации эксплуатационных нагрузок. Схема алгоритма разделена на два уровня: 1) уровень имитации нагрузок; 2) уровень управления приводным электромотором.*

*An algorithm for controlling a test bench for agricultural tractor transmissions in the mode of simulation of operational loads has been developed. The algorithm scheme is divided into two levels: 1) the level of load simulation; 2) the level of control of the drive electric motor.*