

УДК 629.114.2

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНЫХ  
УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
СРЕДСТВА МС-350**

**Д. Г. Кудренко**

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

Научный руководитель В. Б. Попов

*Сформирована функциональная математическая модель для оценки возможности агрегатирования энергосредства МС-350 с КНК-500 и проведен анализ по методу замкнутых векторных контуров построена функциональная математическая модель механизма навески. В результате выполнен расчет геометрических, кинематических и силовых параметров механизма навески подъемно-навесного устройства.*

**Ключевые слова:** функциональная математическая модель, геометрический анализ, кинематический анализ, силовой анализ, метод замкнутых векторных контуров.

**METHOD FOR FORMING A FUNCTIONAL MATHEMATICAL  
MODEL OF LIFTING DEVICES OF THE ENERGY MOBILE MS-350**

**D. G. Kudrenok**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor V. B. Popov

*An analysis was carried out and a functional mathematical model was formed to assess the possibility of aggregating the MS-350 power unit with the KНК-500. Using the method of closed vector contours, the functional mathematical model of the linkage mechanism was constructed. As a result, the calculation of the geometric, kinematic and power parameters of the lifting mechanism of the lifting device was carried out.*

**Keywords:** functional mathematical model, geometric analysis, kinematic analysis, force analysis, closed vector contour method.

При использовании ПНУ УЭС-290/450 для агрегатирования с КНК-500 (вес 48 кН) расположение центра тяжести (1,25 м от оси подвеса) имеет запас по грузоподъемности не более 5–7 %. Поэтому наиболее подходящим является новая модель мобильного энергосредства МС-350. Это средство оборудовано подъемно-навесным устройством (ПНУ) с грузоподъемностью на оси подвеса не менее 100 кН. Таким образом, использование его в качестве энергоносителей для КНК-500 может быть вполне осуществимо.

Звенья механизма навески, опирающиеся на раму энергосредства и связанные через шарниры присоединительного треугольника с навешиваемым комбайном, в продольной плоскости образуют замкнутую кинематическую цепь. Пространственная схема механизма навески приводится к плоскому аналогу на основании параллельности осей, проходящих через центры шарниров механизма навески. Предполагается также, что звенья механизма навески обладают абсолютной жесткостью. На плоскости механизм навески идентифицируется восьмизвенным шарнирно-рычажным механизмом (рис. 1).

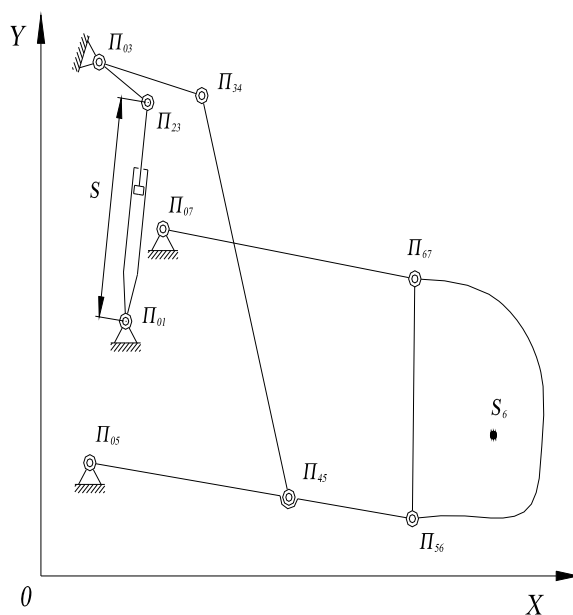


Рис. 1. Структурная схема механизма навески МС-350

Для определения степени свободы структурной схемы механизма навески запишем выражение для определения подвижности плоского механизма данной структуры (формула Чебышева):

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где  $W$  – степень свободы структурной схемы механизма;  $n$  – число подвижных звеньев механизма;  $p_5$ ,  $p_4$  – число кинематических пар, соответственно, 4-го и 5-го классов.

В результате имеем механизм с одной степенью свободы, положение выходного звена (характерная точка  $S_6$ ) которого однозначно связано с изменением обобщенной координаты  $S$ .

Однако агрегатирование возможно только при выполнении совокупности требований:

- расчетная минимальная грузоподъемность ПНУ, определенная при заданных координатах центра тяжести КНК-500, должна превышать вес комбайна;
- выполнение компоновочных ограничений для КНК-500, находящегося в транспортном положении;
- управляемость мобильного сельскохозяйственного агрегата должна соответствовать норме.

Для подтверждения возможности перевода КНК-500 из рабочего в транспортное положение был выполнен проверочный расчет на базе сформированной функциональной математической модели (ФММ) и проведен анализ геометрических, кинематических и силовых параметров механизма навески (МН), полученных в результате расчета и представленных ниже.

Так как в механизме одна степень свободы, мы можем построить математическую модель методом замкнутых векторных контуров (метод Зинovieва). В результате определим все углы, образованные звеньями механизма. Далее определим координаты всех подвижных звеньев:

$$x_{23} = x_{01} + S \sin \varphi_{12}.$$

Проверить расчеты сможем с помощью следующих формул:

$$x_{23} = x_{03} + l_3 \cos \varphi_3;$$

$$y_{23} = y_{03} + l_3 \sin \varphi_3.$$

Следующим шагом проведем кинематический анализ для определения передаточных отношений и угловых скоростей звеньев:

$$\varphi_3' = \frac{2S}{\sqrt{4L_{13}^2 L_3^2 - [S^2 L_{13}^2 L_3^2]^2}};$$

$$U_{43} = \frac{l_{34} \sin(\varphi_5 - \varphi_{34})}{l_4 \sin(\varphi_4 - \varphi_5)}.$$

Далее определяем передаточные числа:

$$I_{56} = \varphi_3' U_{53} L_{56} \cos \varphi_5;$$

$$I_S(S) = I_m(S) + \varphi_6'(S) L_{S6} \cos(\varphi_{S6} + \varphi_6(S)).$$

Последовательность проведения силового анализа МН соответствует обратному порядку его структурной формулы, начинается с последней группы 2-го класса, 2-го порядка 1-го вида:

$$R_{56}^x = P_6 \frac{G(x_{56} - x_{S6})}{2A};$$

$$R_{56}^y = P_6 \frac{(x_{S6} - x_{67})F_6 - GD}{2A}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице.

**Геометрические, кинематические и силовые параметры механизма навески**

$S, \text{ м}^*$	$Y_{56}, \text{ м}^*$	$\Psi_6, \text{ град. }^*$	$I_s, -^*$	$G_s, \text{ кН}^*$	$F_g, \text{ кН}^*$	$P_g, \text{ МП}^*$
0,420	0,284	87,28	5,229	84,356	101,179	19,726
0,445	0,382	89,181	4,919	83,746	92,881	18,109
0,470	0,472	91,276	4,812	82,695	89,665	17,482
0,495	0,557	93,622	4,800	81,479	88,788	17,310
0,520	0,639	96,273	4,845	80,176	89,263	17,403
0,545	0,718	99,289	4,924	78,815	90,616	17,667
0,570	0,793	102,737	5,023	77,404	92,520	18,038
0,595	0,866	106,687	5,122	75,942	94,636	18,451
0,620	0,936	111,21	5,193	74,425	96,662	18,846

$S, \text{ м}^*$	$Y_{56}, \text{ м}^*$	$\Psi_6, \text{ град. }^*$	$I_s, -^*$	$G_s, \text{ кН}^*$	$F_g, \text{ кН}^*$	$P_g, \text{ МПа}^*$
0,645	1,001	116,363	5,196	72,843	98,009	19,108
0,670	1,063	122,164	5,075	71,189	97,439	18,997

\* $S$  – перемещение поршня гидроцилиндра (обобщенная координата);  $Y_{56}$  – вертикальная координата оси подвеса;  $\Psi_6$  – угол наклона присоединительного треугольника;  $I_s$  – основной коэффициент кинематической передачи;  $G_s$  – грузоподъемность в центре тяжести навесной машины;  $F_g$  – нагрузка приведенная к гидроцилиндру;  $P_g$  – давление в гидроцилиндре.

Из результатов расчета видно, что грузоподъемность ПНУ энергосредства, определенная в центре тяжести комбайна, превышает вес измельчителя и адаптера примерно на 30 %. Таким образом, процесс подъема и перевод КНК-500 в транспортное положение в энергетическом аспекте осуществим.

Угол наклона КНК-500 по отношению к МС-350 во время подъема изменяется незначительно и обеспечивает удовлетворение компоновочных ограничений.

Поскольку на управляемые колеса сельскохозяйственного агрегата с КНК-500 в транспортном положении приходится более 21 % его общего веса, постольку необходимая управляемость сельскохозяйственного агрегата обеспечивается.

#### Литература

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Машиностроение, 1988. – 640 с.
2. Зиновьев, В. А. Курс теории механизмов и машин / В. А. Зиновьев. – М. : Наука, 1975. – 384 с.

УДК 621.771.252

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ АРМАТУРНОГО ПРОФИЛЯ № 6 А500С ПО ГОСТ 34028–2016

А. А. Кучков, Г. А. Слепнев

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

Научный руководитель И. В. Астапенко

*Проведены исследования по разработке технологического процесса производства бунтовой арматурной катанки № 6 на стане 370/150. Разработаны и оптимизированы химический состав и калибровка. Определена величина концевой обреза. Разработан режим двухстадийного охлаждения, позволяющий получить требуемые механические свойства и микроструктуру проката.*

**Ключевые слова:** горячая прокатка, бунтовая арматура, двухстадийное охлаждение, химический состав, катанка.

### DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ROLLING REINFORCING PROFILE № 6 A500S ACCORDING TO GOST 34028–2016

A. A. Kuchkov, G. A. Slepnev

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor I. V. Astapenko