

Из рис. 2, а следует, что использование кругового пучка приводит к более узкому отверстию в материале и при одинаковой мощности с кольцевым пучком – к более глубокому отверстию, что выгодно для резки материалов. Применение кольцевых пучков выгодно для равномерного нагрева и плавления (наплавки) материала.

Литература

1. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 663 с.
2. Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы / А. А. Углов, И. Ю. Смуров, А. М. Лашин, А. Г. Гуськов. – Москва : Наука, 1991. – 288 с.

УДК 631.3-52:631.3

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА НАВЕСКИ
ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА МОБИЛЬНОГО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА**

В. Б. Попов, И. А. Занкевич

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

Представлена последовательность формирования функциональной математической модели механизмов навески подъемно-навесного устройства мобильного энергетического средства. Рассмотрены варианты структуры и функциональное описание функциональной математической модели.

Ключевые слова: функциональная математическая модель, механизм навески, подъемно-навесное устройство, мобильное энергетическое средство.

**MATHEMATICAL MODELING OF THE ATTACHMENT
MECHANISM OF THE LIFTING-ATTACHED DEVICE
OF A MOBILE POWER VEHICLE**

V. B. Popov , I. A. Zankevich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The sequence of formation of a functional mathematical model of the attachment mechanisms of the lifting-attached device of a mobile power vehicle is presented. Variants of the structure and functional description of the functional mathematical model are considered.

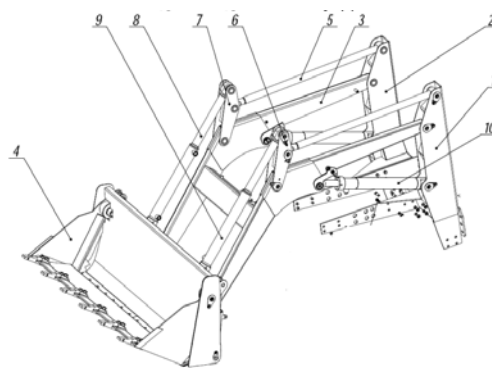
Keywords: functional mathematical model, attachment mechanisms, lifting-attached device, mobile power vehicle.

Мобильные сельскохозяйственные агрегаты (МСХА) формируются из мобильных энергетических средств (МЭС) и навесных машин (НМ). Подъемно-навесное устройство (ПНУ), состоящее из гидропривода (ГП) открытого типа и переднего или заднего механизмов навески (МН), расположено на МЭС. При этом МН – это основной структурный компонент ПНУ, определяющий характер взаимодействия МЭС с НМ.

Для обеспечения качественного взаимодействия МЭС и НМ рекомендуется рациональный выбор параметров МН, что обеспечивается посредством математического моделирования режимов работы МН [1]. Следует отметить, что к МЭС относятся универсальные энергетические средства (УЭС), сельскохозяйственные и лесотехнические тракторы, фронтальные погрузчики (ФП) (рис. 1), а также шасси погрузочные многофункциональные (ШПМ).



а)



б)

Рис. 1. Погрузчик фронтальный одноковшовый «АМКОДОР 332В» (а);
погрузочное оборудование «АМКОДОР 702 ЕМ-03» (б):

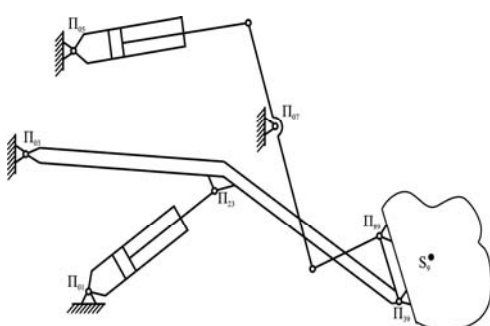
1, 2 – портал; 3 – стрела; 4 – ковш двухчелюстной;
5 – тяга; 6, 7 – рычаг; 8–10 – гидроцилиндры

Погрузчик фронтальный одноковшовый «АМКОДОР 332В» (рис. 1, а) предназначен для механизации погрузочно-разгрузочных работ, выполнения землеройно-транспортных работ на грунтах до III категории без предварительного рыхления и на грунтах IV категории после предварительного рыхления, строительно-монтажных и такелажных работ.

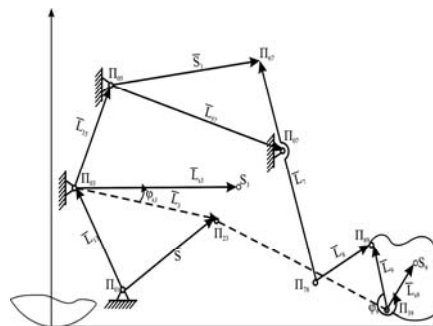
Подъемно-навесное устройство погрузчика состоит из симметрично расположенных гидроприводов, а также механизмов подъема стрелы и поворота траверсы, на которой крепится сменный рабочий орган.

Эффективность агрегатирования как погрузчика, так ШПМ с различными рабочими орудиями и машинами определяется, в первую очередь, грузоподъемностью его ПНУ. ПНУ – это необходимый комплект механизмов, предназначенных для связи мобильного энергоносителя (ШПМ) с рабочим орудием.

Состоит ПНУ ФП или ШПМ из объемного гидропривода, гидроцилиндры которого движут расположенные симметрично относительно продольной плоскости симметрии ШПМ механизмы подъема стрелы (МПС) и поворота траверсы (МПТ), где жестко крепится рабочий орган (РО). На рис. 2 представлен плоский аналог механизмов ПНУ шасси «АМКОДОР 332С» – структурная схема с РО в виде ковша.



а)



б)

Рис. 2. Схема механизмов ПНУ «АМКОДОР-332С» (а); векторная интерпретация механизмов подъема стрелы и поворота траверсы ПНУ (б)

Структурный анализ показывает, что в проекции на продольную плоскость симметрии ШПМ его МПС представляет собой одноподвижный четырехзвенник со средней поступательной парой [2], а МПТ идентифицируется одноподвижным шестизвенником (рис 2, а).

Координаты характерных точек вышеупомянутых механизмов определяются на основе метода замкнутых векторных контуров (рис 2, б) [2]:

$$X_{S3}(S) = X_{03} + L_{S3} \cos[\varphi_3(S) + \Delta\varphi]; \quad Y_{S3}(S) = Y_{03} + L_{S3} \sin[\varphi_3(S) + \Delta\varphi]; \quad (1)$$

$$X_{09}(S) = X_{03} + L_{39} \cos[\varphi_3(S) + \Delta\varphi_1]; \quad Y_{09}(S) = Y_{03} + L_{39} \sin[\varphi_3(S) + \Delta\varphi_1], \quad (2)$$

где X_{S3} , Y_{S3} – координаты центра тяжести стрелы; X_{09} , Y_{09} – координаты оси подвеса стрелы; φ_3 – угол характеризующий изменение расположения стрелы в правой декартовой системе координат; $\Delta\varphi$ – угол между L_3 и L_{S3} ; $\Delta\varphi_1$ – угол между векторами L_3 и L_{39} .

Также по результатам анализа МПТ были установлены координаты центра тяжести РО (S_9) в зависимости от обобщенных координат S , S_1 :

$$X_{S9}(S, S_1) = X_{09}(S) + L_{S9} \cos[\varphi_9(S_1) + \varphi_{S9}]; \quad (3)$$

$$Y_{S9}(S, S_1) = Y_{09}(S) + L_{S9} \sin[\varphi_9(S_1) + \varphi_{S9}], \quad (4)$$

где φ_9 – угол, образуемый вектором L_9 (геометрическая модель траверсы) в правой декартовой системе координат; φ_{S9} – угол между векторами L_9 и L_{S9} в момент начала движения закрепленного на траверсе РО.

Влияние МПС и МПТ на изменение координат центра тяжести РО однозначно связано с изменением независимых друг от друга обобщенных координат S и S_1 . Причем первая изменяет положение оси подвеса стрелы (Π_{09}) относительно ШПМ, а вторая – положение траверсы (L_9) относительно оси подвеса.

Кинематический анализ механизмов выполняется на базе геометрического анализа путем дифференцирования проекций характерных точек по независимой переменной t . В результате определяются передаточные числа МПС и МПТ. Передаточное число представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести РО или кинематическую передаточную функцию 1-го порядка, зависящую только от внутренних параметров механизмов ПНУ ШПМ [3].

Понятие грузоподъемности ПНУ ФП и ШПМ введено по аналогии с грузоподъемностью ПНУ колесного трактора. Грузоподъемность ПНУ трактора вычисляется по массе поднимаемого груза (m) при максимальной величине усилия на штоке гидроцилиндра МН $F_{шт}^{max}$:

$$m = \frac{F_{шт}^{max} \eta_{МН}}{g I_s}, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения; I_s – передаточное число МН трактора; $\eta_{МН}$ – КПД МН.

Максимальная сила на штоке гидроцилиндра МПС определяется по выражению

$$F_{шт}^{\max} = p_{гц}^{\max} F_n, \quad (6)$$

где F_n – площадь поршня со стороны напорной магистрали.

В выражении (6) верхняя граница $p_{гц}^{\max}$ устанавливается по настройке предохранительного клапана гидропривода ПНУ.

С учетом принятых допущений используя выражение (5), получим уравнение установившегося движения двух нагруженных поршней силовых гидроцилиндров:

$$(m_{p.o} I_{S9} + m_{стр} I_{S3}) g = F_{шт}^{\max} - F_{гц}(S), \quad (7)$$

где I_{S9} , I_{S3} – аналоги вертикальной скорости характерных точек – центров тяжести рабочего орудия и стрелы:

$$I_{S3}(S) = \varphi'_3(S) L_{S3} \cos[\varphi_3(S) + \Delta\varphi_1]; \quad (8)$$

$$I_{09}(S) = \varphi'_3(S) L_{39} \cos(\varphi_{39}(S)); \quad (9)$$

$$I_{S9}(S, S_1) = I_{09}(S) + \varphi'_5(S_1) U_{97}(S_1) L_{S9} \cos(\varphi_9(S_1)), \quad (10)$$

где $\varphi'_3(S)$ и $\varphi'_5(S_1)$ – аналоги угловой скорости звеньев L_3 и L_5 ; $I_{09}(S)$ – аналог вертикальной скорости оси подвеса стрелы; $U_{97}(S_1)$ – передаточное отношение угловых скоростей звеньев L_9 и L_7 МПТ.

Так как аналоги вертикальных скоростей характерных точек изменяются в зависимости от текущего положения звеньев МПС и МПТ, то и грузоподъемность ПНУ – $G(S, S_1)$ в диапазоне изменения обобщенных координат (S, S_1) , как это следует из уравнения, будет величиной переменной:

$$G(S, S_1) = \frac{p_{гц}^{\max} F_n - F_{гц}(S)}{\left[I_{S9}(S, S_1) + I_{S3}(S) \frac{m_{стр}}{m_{p.o}} \right] g}. \quad (11)$$

Как правило, конструктора интересует минимальное значение грузоподъемности, поскольку РО с таким весом устойчиво перемещается ПНУ во всем диапазоне изменения (S, S_1) . В этом положении аналог вертикальной скорости центра тяжести РО – наиболее влиятельный выходной параметр МПС, становится максимальным. Грузоподъемность можно рассматривать как обобщенный показатель качества ПНУ, зависящий, с одной стороны, от параметров гидропривода – давления в гидроцилиндре и площади его поршня со стороны напорной магистрали, а с другой – от параметров механизмов ПНУ и рабочего органа – их масс, передаточных чисел и КПД.

Литература

1. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – 251 с. : ил.
2. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – Москва : Машиностроение, 1988. – 640 с.
3. Попов, В. Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей / В. Б. Попов // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 25–29.