

УДК 532.527

UDC 532.527

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
ДВИЖЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ
ГИДРОМАНИПУЛЯТОРА БЕЗ УЧЕТА
ПОДАТЛИВОСТИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ
И ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА**

**THEORETICAL DESCRIPTION OF THE
HYDRAULIC MANIPULATOR
UNITS MOTIONS WITHOUT PLIABILITY
OF THE WORKING LIQUID AND
HYDRAULIC COMPONENTS**

Хуако Заур Асланович
Maikop, Россия

Khuako Zaur Aslanovich
Maikop, Russia

Теоретически определена система уравнений, описывающая движения звеньев гидроманипулятора без учета сжимаемости жидкости, податливости звеньев и рассеивания энергии

In the article, we theoretically determined system of equations, describing the motion of hydro manipulator elements without compressibility, ductility and energy dissipation

Ключевые слова: СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ
ЛАГРАНЖА (ВТОРОГО РОДА),
ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Keywords: LAGRANZHA'S SYSTEM OF
EQUATIONS (OF THE SECOND KIND),
DYNAMIC LOADS

Технический уровень манипулятора во многом зависит от совершенства его кинематической схемы, обеспечивающей работу манипулятора в заданной зоне.

Высокий технический уровень обеспечивается внедрением методов оптимального проектирования, передовых технологических процессов, системы управления качеством продукции, в том числе:

- повышением надежности металлоконструкции манипулятора за счет совершенствования методов расчета, обеспечивающих их качество и предполагающих высокую достоверность определения действующих нагрузок;
- оптимизацией кинематических параметров механизмов с учетом инерционных сил
- выбора параметров, обеспечивающих наименьшие значения динамических нагрузок и постоянства давления в гидроцилиндрах.

В работах Бартенева И. М., Емтыль З. К., Татаренко А. П. и других авторов записаны как уравнения раздельного движения звеньев гидроманипулятора (поворот колонны, подъем стрелы, вращение рукояти) так и уравнения при совмещении движений двух звеньев.

Однако неисследованными остались вопросы снижения динамических нагрузок и повышения производительности при совмещении движений трех звеньев.

На рис.1 представлена кинематическая схема гидравлического манипулятора при совмещении движений трех звеньев: колонны, стрелы и рукояти. Рассмотрим рукоять с удлинителем как одно звено с одной степенью свободы так как

инерционные силы, возникающие при установившемся движении удлинителя, незначительны.

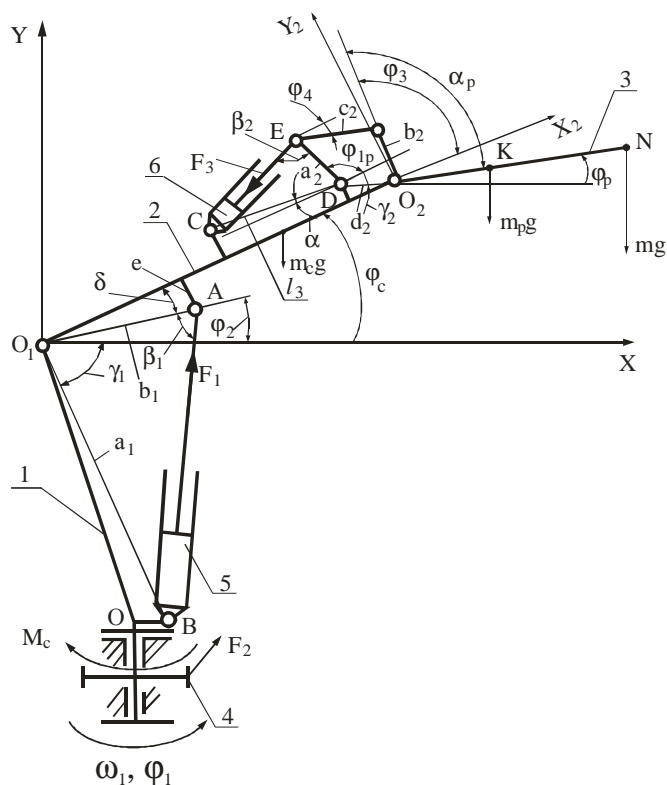


Рис. 1. Кинематическая схема гидравлического манипулятора:

- 1 – колонна, 2 – стрела, 3 – рукоять с удлинителем,
- 4 – вал-шестерня, 5 – гидроцилиндр подъема стрелы,
- 6 – гидроцилиндр привода рукояти.

Пренебрегая сжимаемостью жидкости, податливостью звеньев манипулятора и рассеиванием энергии запишем в общем виде систему уравнений Лагранжа (второго рода), описывающих совместное движение трёх звеньев.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{j}_1} - \frac{\partial T}{\partial j_1} &= q_1 \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{j}_2} - \frac{\partial T}{\partial j_2} &= q_2 \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{j}_3} - \frac{\partial T}{\partial j_3} &= q_3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Принимая за обобщенные координаты углы поворота звеньев j_1, j_2, j_3 запишем в развернутом виде систему дифференциальных уравнений расходов рабочей жидкости в напорных и сливных полостях гидроцилиндров колонны, стрелы, рукояти и уравнения совместных движений колонны, стрелы и рукояти манипулятора (кинематическая схема представлена на рис.1):

$$\begin{aligned}
 & I_{\text{к}} \ddot{j}_1 + (I_c + m_p l_2^2 + m l_2^2) (\ddot{j}_2 \cos^2(j_2 + d) - \dot{j}_2 \dot{j}_2 \sin 2(j_2 + d)) + \\
 & + (I_{pk} + 0,25 m_p l_3^2 + m l_3^2) (\ddot{j}_3 \cos^2(j_3 + j_2 + d - a_p) - \\
 & - (\dot{j}_3 + \dot{j}_2) \dot{j}_3 \sin 2(j_3 + j_2 + d - a_p)) + \\
 & + (m_p + 2m) l_2 l_3 [\cos(j_3 + j_2 + d - a_p) \cos(j_2 + d) \ddot{j}_1 - \\
 & - (\sin(j_3 + j_2 + d - a_p) \cos(j_2 + d) (\dot{j}_3 + \dot{j}_2) + \\
 & + \dot{j}_2 \cos(j_3 + j_2 + d - a_p) \sin(j_2 + d) \dot{j}_1] = \frac{pd^2 d}{8} (P_{n_1} - P_{u_1}) - M_c \\
 & (I_c + m_p l_2^2 + m l_2^2) (\ddot{j}_2 + 0,5 \dot{j}_2^2 \sin 2(j_2 + d)) + (I_{pk} + 0,25 m_p l_3^2 + m l_3^2) (\ddot{j}_3 + \dot{j}_3^2 + \\
 & + 0,5 \dot{j}_3^2 \sin 2(j_3 + j_2 + d - a_p)) + (0,5 m_p + m) l_2 l_3 ((\dot{j}_3 + 2 \dot{j}_2) \cos(a_p - j_3) + \\
 & + (\dot{j}_3 + 2 \dot{j}_2) \dot{j}_3 \sin(a_p - j_3) + \dot{j}_1^2 \sin 2(j_3 + j_2 + d - a_p)) = \\
 & = \frac{pd^2}{4} P_{n_2} b_1 \sin b_1 - 0,5 m_c g l_2 \cos(j_2 + d) - \\
 & - m_p g (l_2 \cos(j_2 + d) + 0,5 l_3 \cos(j_3 + j_2 + d - a_p)) - \\
 & - K_{H_2} m g (l_2 \cos(j_2 + d) + l_3 \cos(j_3 + j_2 + d - a_p)), \\
 & (I_{pk} + 0,25 m_p l_3^2 + m l_3^2) (\ddot{j}_3 + \dot{j}_3^2 + 0,5 \dot{j}_3^2 \sin 2(j_3 + j_2 + d - a_p)) + \\
 & + (0,5 m_p + m) l_2 l_3 (\dot{j}_2 \cos(a_p - j_3) - \dot{j}_2^2 \sin(a_p - j_3) + \\
 & + \dot{j}_2^2 \sin(j_3 + j_2 + d - a_p) \cos(j_2 + d)) = \\
 & = [(d_{n_3}^2 - d_{u_3}^2) P_{u_3} - d_{n_3}^2 P_{n_3}] \frac{P}{4} b_2 \sin b_2 \frac{\sin(j_3 - j_4)}{\sin(j_{1p} - j_4)} - \\
 & - K_{H_3} g l_3 (m + 0,5 m_p) \cos(j_3 + j_2 + d - a_p)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Данная система дифференциальных уравнений является системой уравнений движения звеньев манипулятора в общем виде. Ее правильность проверяется выводом дифференциальных уравнений движений механизмов стрелы, рукояти и колонны в отдельности или при совмещении двух движений и сравнении с ранее проведенными исследованиями /2/.

Уравнение движения стреловой группы:

При $j_3 = a_p = const; \dot{j}_3 = 0; \ddot{j}_3 = 0; j_p = j_c; \dot{j}_p = 0; \ddot{j}_p = 0$, то есть ось рукояти параллельна оси стрелы, рукоять и колонна неподвижны.

Из второй части системы будем иметь дифференциальное уравнение движения стреловой группы в целом (стрелы, рукояти и удлинителя).

$$[I_c + I_{pk} + (l_2 + 0,5l_3)^2 m_p + (l_2 + l_3)^2 m] \ddot{j}_2 = F_2 b_1 \sin b_1 - g[0,5m_c l_2 + m_p (l_2 + 0,5l_3) + mg(l_2 + l_3)] \cos(j_2 + d)$$

Обозначим момент инерции стреловой группы:

$$I_{ce} = I_c + I_{pk} + (l_2 + 0,5l_3)^2 m_p$$

Длину стреловой группы:

$$l = l_2 + l_3$$

Центр масс стреловой группы:

$$l_u = \frac{0,5m_c l_2 + m_p (l_2 + 0,5l_3)}{m_c + m_p}$$

Окончательно получим дифференциальное уравнение движения стреловой группы при неподвижных рукояти и колонне:

$$(I_{ce} + ml^2) \ddot{j}_2 = F_2 b_1 \sin b_1 - g(m_c l_u + ml) \cos(j_2 + d)$$

Уравнение движения рукояти:

При

$$j_1 = const; \dot{j}_1 = 0; \ddot{j}_1 = 0; j_2 = const; \dot{j}_2 = 0; \ddot{j}_2 = 0; j_c = j_2 + d = const.$$

Из третьей части системы получим дифференциальное уравнение движения рукояти при фиксированных значениях $j_c = j_2 + d$.

$$(I_{pk} + 0,25m_p l_3^2 + ml_3^2) \ddot{j}_3 = F_3 b_2 \sin b_2 \frac{\sin(j_3 - j_4)}{\sin(j_{1p} - j_4)} - gl_3(m + 0,5m_p) \cos(j_3 + j_2 + d - a_p)$$

Обозначим момент инерции рукояти относительно оси ее вращения:

$$I_p = I_{pk} + m_p (0,5l_3)^2 = I_{pk} + 0,25m_p l_3^2$$

Учитывая окончательно получаем дифференциальное уравнение движения рукояти при неподвижной колонне и стреле:

$$(I_p + ml_3^2) \ddot{j}_3 = F_3 b_2 \sin b_2 \frac{\sin(j_3 - j_4)}{\sin(j_{1p} - j_4)} - gl_3(m + 0,5m_p) \cos(j_3 + j_2 + d - a_p) \quad (2.54)$$

Уравнение движения колонны:

При $j_2 = const$; $\dot{j}_2 = 0$; $\ddot{j}_2 = 0$; $j_3 = a_p = const$; $\dot{j}_3 = 0$; $\ddot{j}_3 = 0$; $j_c = j_p$, то ось рукоятки параллельна оси стрелы, стреловая группа неподвижна, из первой части системы будем иметь дифференциальное уравнение движения колонны.

$$I_k \ddot{j}_1 + [I_c + I_{pk} + (l_2 + 0,5l_3)^2 m_p + (l_2 + l_3)^2 m] \ddot{j}_1 \cos^2(j_2 + d) = F_1 \frac{d}{2} - M_c$$

Окончательно дифференциальное уравнение движения колонны при неподвижной стреловой группе примет вид:

$$I_k \ddot{j}_1 + (I_{cz} + ml^2) \ddot{j}_1 \cos^2(j_2 + d) = F_1 \frac{d}{2} - M_c$$

Библиографический список

1. Бартенев И.М. и др. Исследование динамической нагруженности гидравлического манипулятора и обоснование целесообразности совмещения операций подъёма стрелы и вращения рукоятки. /Бартенев И.М. Емтыль З.К.. Попиков П.И. // Труды «ФОРА» (Труды Физического Общества Республики Адыгея). Майкоп. Изд-во АГУ. 1997. №2. с. 96-114.
2. Емтыль З.К. Совершенствование кинематики, динамики и конструкции лесопромышленных гидроманипуляторов. Дис. доктора. техн. наук. Воронеж. 2002. 439 с.
3. Емтыль З.К., Татаренко А.П. О влиянии податливости рабочей жидкости и элементов гидропривода на динамическую нагруженность гидроманипулятора при совмещении движений звеньев. Труды ФОРА. Майкоп. Издательство АГУ. 2000 №5.с. 89-95.