

УДК 532.527

UDC 532.527

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОВМЕЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ ТРЕХ ЗВЕНЬЕВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА****ANALYSIS OF THE EFFECT OF COMBINING MOVEMENTS OF THE THREE PARTS OF THE DYNAMIC LOADING OF THE HYDRAULIC MANIPULATOR**

Хуако Заур Асланович  
*Маикоп, Россия*

Khuako Zaur Aslanovich  
*Maikop, Russia*

Теоретически обоснована и подтверждена испытаниями возможность снижения динамических нагрузок на движущие элементы гидроманипулятора при совмещении движений трех звеньев

The possibility of reducing dynamic loads on the driving elements of hydraulic manipulator with a combination of motions of the three links is theoretically justified and confirmed by tests

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

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

Динамические (инерционные) силы, возникающие вследствие неравномерного вращения стрелы, рукояти и колонны гидравлического манипулятора при установившемся движении штоков гидроцилиндров, оказывают весьма существенное влияние на расчетные нагрузки, преодолеваемые манипулятором в процессе работы. Эти силы, зависящие как от кинематических параметров манипулятора, так и от скоростей движений штоков гидроцилиндров, могут быть значительно снижены при совмещении движений звеньев и, следовательно, повышена надежность металлоконструкции и гидрооборудования манипулятора. Кроме того, совмещение операций может обеспечить значительное повышение производительности манипулятора.

Однако совмещение операций связано с усложнением гидравлической схемы манипулятора, поэтому целесообразность совмещения должна быть обоснована в каждом конкретном случае.

На рис. 1 представлена кинематическая схема гидравлического манипулятора при совмещении движений трех звеньев: вращения 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.

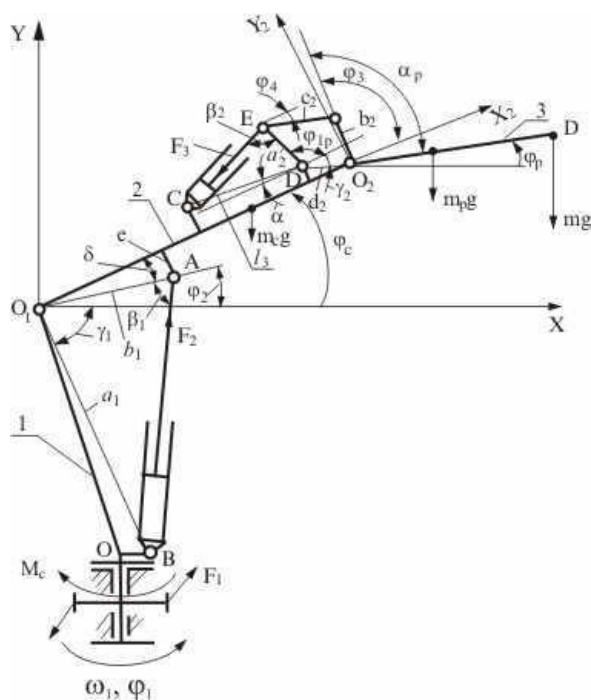


Рис. 1 Кинематическая схема гидроманипулятора:  
 1 - колонна; 2 - стрела; 3 - рукоять с удлинителем.

В работе /1/ обоснована эффективность совмещения движений двух звеньев стрелы и рукояти. Однако, задача решена без учета податливости рабочей жидкости и элементов гидропривода.

В работе /2/ учтено влияние податливости рабочей жидкости, элементов гидропривода и утечек на динамическую нагруженность гидроманипулятора при совмещении движений двух звеньев.

Одним из путей повышения производительности и снижения динамических нагрузок является совмещение движений трёх и более звеньев гидроманипулятора. Причём степень снижения динамических нагрузок и повышения производительности будет зависеть от конкретных схем обеспечения совмещения движений: с тремя насосами (трёхконтурная гидросхема), с двумя насосами и делителем потока (или расхода), с насосом переменной производительности, имеющим положительную обратную связь (гидравлическую) с гидрораспределителем. Для разработки реальных конструкций, обеспечивающих совместное движение трёх и более звеньев гидроманипулятора, необходимо провести теоретическое обоснование конкретной схемы совмещения.

Пренебрегая 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):

Совместное решение систем уравнений расходов рабочей жидкости (2) и уравнений совместного движения колонны, стрелы и рукояти (3) позволяет получить теоретическое решение задачи, как при повороте колонны, подъёме стрелы и вращении рукояти с удлинителем, так и при торможении движущихся звеньев. Торможение звеньев манипулятора производится путем прекращения подачи и слива рабочей жидкости, подаваемой к гидроцилиндрам поворота колонны, вращения рукояти и подъёма стрелы,

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{pd_{n_1}^2}{8} \dot{j}_1 \pm a_{y_1} P_{n_1} \pm K_{p_1} \frac{dP_{n_1}}{dt}; \\ Q_2 &= \frac{pd_{n_1}^2}{8} \dot{j}_1 \mathbf{m} a_{y_1} P_{u_1} \mathbf{m} K_{p_1} \frac{dP_{u_1}}{dt}; \\ Q_3 &= \frac{pd_{n_2}^2}{4} b_1 \sin b_1 \dot{j}_2 \pm a_{y_2} (P_{n_2} - P_{u_2}) \pm K_{p_2} \frac{dP_{n_2}}{dt}; \\ Q_4 &= \frac{p(d_{n_2}^2 - d_{u_2}^2)}{4} b_1 \sin b_1 \dot{j}_2 \mathbf{m} a_{y_2} (P_{n_2} - P_{u_2}) \mathbf{m} K_{u_2} \frac{dP_{u_2}}{dt}; \\ Q_5 &= \frac{pd_{n_3}^2}{4} b_2 \sin b_2 \frac{\sin(j_3 - j_4)}{\sin(j_{1p} - j_4)} \dot{j}_3 \mathbf{m} a_{y_3} (P_{u_3} - P_{n_3}) \mathbf{m} K_{p_3} \frac{dP_{n_3}}{dt}; \\ Q_6 &= \frac{p(d_{n_3}^2 - d_{u_3}^2)}{4} b_2 \sin b_2 \frac{\sin(j_3 - j_4)}{\sin(j_{1p} - j_4)} \dot{j}_3 \pm a_{y_3} (P_{u_3} - P_{n_3}) \pm K_{u_3} \frac{dP_{u_3}}{dt}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

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

С практической точки зрения интерес представляют процессы одновременного и раздельного движения всех звеньев.

Осциллограммы записанные при проведении практических испытаний подтвердили эффективность совмещения движений трех звеньев гидроманипулятора.

Ниже приведен пример нагруженности гидроцилиндра подъема стрелы.

Теоретическое решение системы дифференциальных уравнений, описывающих совместное движение трех звеньев манипулятора с учетом

податливости рабочей жидкости, производится методом Эйлера. Проверка проводится методом Рунге-Кутты.

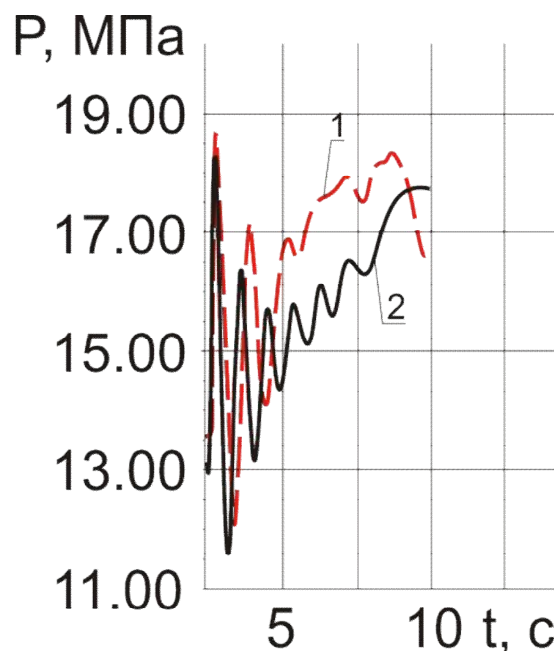


Рис. 2. Осциллограмма давления при подъеме стрелы с грузом 1000 кг.  
 1 – при раздельном движении стреловой группы  
 2 – при совмещении движений стрелы, рукоятки и колонны

Выводы:

1. Совмещение движений наиболее эффективно снижает динамические нагрузки при установившемся движении звена.
2. При совмещении движений, усилие гидроцилиндра подъема стрелы снижается на 8-10%

#### 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., 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.