

---

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ENGINEERING SCIENCE

УДК 532  
ББК 30.123  
Х 98

**Хуако З.А.**

Главный технолог ОАО «Майкопский машиностроительный завод», тел. (8772) 52-41-17, e-mail: [bjedyg@mail.ru](mailto:bjedyg@mail.ru)

### Теоретическое обоснование эффективности совмещения движений трех звеньев (Рецензирована)

#### *Аннотация*

Теоретически обоснована возможность снижения динамических нагрузок на движущие элементы гидроманипулятора при совмещении движений трех звеньев.

**Ключевые слова:** система уравнений Лагранжа (второго рода), динамические нагрузки.

**Khuako Z.A.**

Chief Technologist of OAO «Maikop Machine-Building Factory», ph. (8772) 52-41-17, e-mail: [bjedyg@mail.ru](mailto:bjedyg@mail.ru)

### Theoretical basis for the effectiveness of combining motions of three units

#### *Abstract*

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

**Key words** Lagrange system of second-order differential equations, dynamic loads.

Динамические нагрузки, преодолеваемые звеньями манипулятора в процессе работы, и технологическое время цикла погрузки-разгрузки зависят от совершенства кинематической и гидравлической схем, элементов гидроуправления, а также возможности совмещения движений звеньев и схемы совмещения.

В работе [1] обоснована эффективность совмещения движений двух звеньев стрелы и рукояти. 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 трех и более звеньев гидроманипулятора. При этом степень снижения динамических нагрузок и повышения производительности будет зависеть от конкретных схем обеспечения совмещения движений: с тремя насосами (трехконтурная гидросхема); с двумя насосами и делителем потока (или расхода); с

двумя насосами, один из которых является двухпоточным; с насосом переменной производительности, имеющим положительную обратную связь (гидравлическую) с гидрораспределителем. Для разработки реальных конструкций, обеспечивающих совместное движение трех 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 трех звеньев.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} &= q_1, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} &= q_2, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} &= q_3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

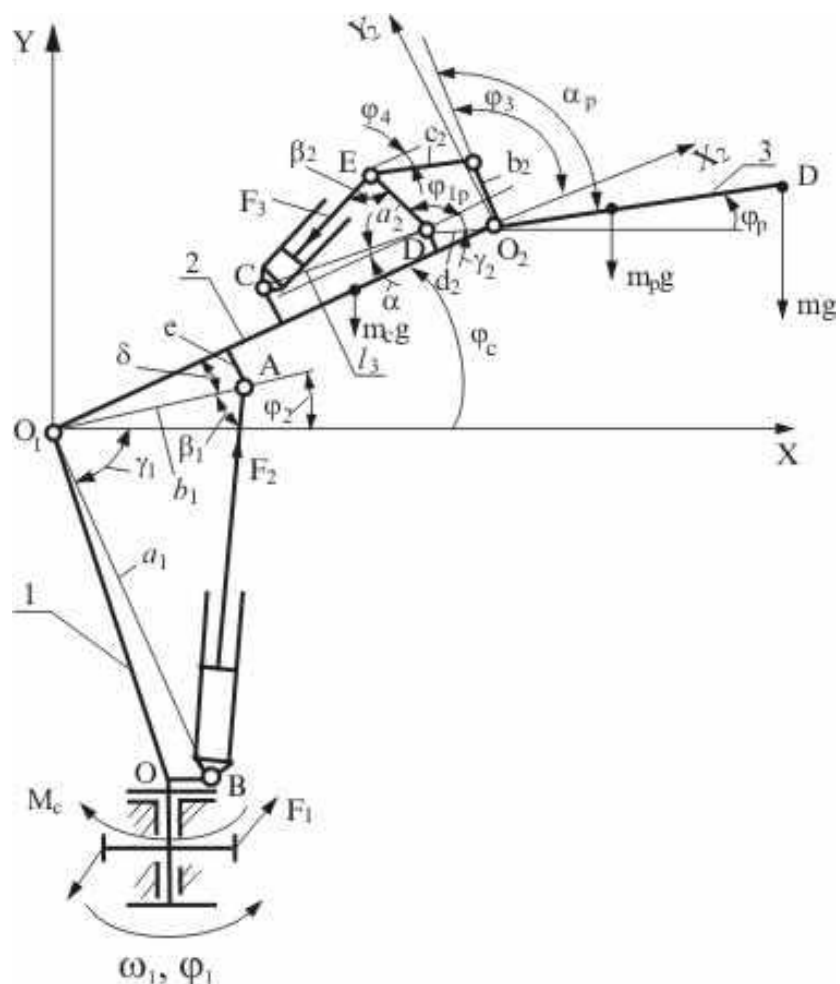


Рис. 1 Кинематическая схема гидроманипулятора:  
1 – колонна; 2 – стрела; 3 – рукоять с удлинителем

Принимая за обобщенные координаты углы поворота звеньев  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ , запишем в развернутом виде систему дифференциальных уравнений совместных движений колонны, стрелы и рукояти манипулятора (кинематическая схема представлена на рис. 1) без учета расходов рабочей жидкости в напорных и сливных полостях гидроцилиндров колонны, стрелы и рукояти в виде:

$$\begin{aligned}
 & [J_{\kappa} + J_c \cos(\varphi_2 + \delta) + (J_{\rho\kappa} + m_p l_p^2 + ml_3^2) \cos^2(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) + \\
 & + (m_p + m)l_2^2 \cos^2(\varphi_2 + \delta) + 2l_2(m_p l_p + ml_3) \cos(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) \times \\
 & \times \cos(\varphi_2 + \delta) + J_{\rho p}] \ddot{\varphi}_1 - [J_c \sin(\varphi_2 + \delta) - (m_p + m)l_2^2 \sin 2(\varphi_2 + \delta) - \\
 & - 2l_2(m_p l_p + ml_3) \sin(\varphi_2 + \delta) \cos(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p)] \dot{\varphi}_1 \cdot \dot{\varphi}_2 - \\
 & - [(J_{\rho\kappa} + m_p l_p^2 + ml_3^2) \sin 2(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) + 2l_2(m_p l_p + ml_3) \times \\
 & \times \sin(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) \cos(\varphi_2 + \delta)] (\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3) \dot{\varphi}_1 = \frac{\pi d_m^2 d}{8} (P_1 - P_2) - M_c, \\
 & [J_c + (m_p + m)l_2^2] \ddot{\varphi}_2 + [J_{\rho\kappa} + (0,25m_p + m)l_3^2] (\ddot{\varphi}_2 + \ddot{\varphi}_3) + \\
 & + 0,5(m_p + m)l_2 l_3 [(2\ddot{\varphi}_2 + \ddot{\varphi}_3) \cos(\alpha_p - \varphi_3) + (2\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3) \sin(\alpha_p - \varphi_3)] \dot{\varphi}_3 - \\
 & - 0,5[J_c \sin(\varphi_2 + \delta) + (J_{\rho\kappa} + m_p l_p^2 + ml_3^2) \sin 2(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) + \\
 & + 2(m_p l_p + ml_3)l_2 \sin(\varphi_3 + 2\varphi_2 + 2\delta - \alpha_p) + (m_p + m)l_2^2 \sin 2(\varphi_2 + \delta)] \dot{\varphi}_1^2 = \\
 & = \mp \frac{\pi d_{n_2}^2}{4} P_{n_2} b_1 \sin \beta_1 \mp m_c g l_c \cos(\varphi_2 + \delta) \mp m_p g (l_2 \cos(\varphi_2 + \delta) + \\
 & + l_p \cos(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p)) \mp mg (l_2 \cos(\varphi_2 + \delta) + l_3 \cos(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p)), \\
 & [J_{\rho\kappa} + (0,25m_p + m)l_3^2] (\ddot{\varphi}_2 + \ddot{\varphi}_3) - (0,5m_p + m)l_2 l_3 \dot{\varphi}_2^2 \sin(\alpha_p - \varphi_3) - \\
 & - 0,5(m_p l_p^2 + J_{\rho\kappa} + ml_3^2) \dot{\varphi}_1^2 \sin 2(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) + \\
 & + (m_p l_p + ml_3)l_2 \dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) \cos(\varphi_2 + \delta) = \\
 & = [\pm (d_{n_3}^2 - d_{u_3}^2) P_{u_3} \mp d_{n_3}^2 P_{n_3}] \frac{\pi}{4} b_2 \sin \beta_2 \frac{\sin(\varphi_3 - \varphi_4)}{\sin(\varphi_{1p} - \varphi_4)} \mp \\
 & \mp m_p g l_p \cos(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p) \pm mg l_3 \cos(\varphi_3 + \varphi_2 + \delta - \alpha_p).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Систему дифференциальных уравнений (2), описывающую совместное движение трех звеньев манипулятора, решаем методом Эйлера.

Проверку проводим методом Рунге-Кутты.

На рисунке 2 представлен сравнительный анализ усилий в гидроцилиндрах стрелы и рукояти при раздельном движении звеньев, при совмещении движений стрелы и рукояти, и совмещении движений стрелы, рукояти и колонны.

В результате проведенных теоретических исследований установлено, что при совмещении движений трех звеньев манипулятора значение усилия гидроцилиндра подъема стрелы снижается на 25–50%, а гидроцилиндра привода рукояти – на 8–42% по сравнению со случаем совмещения движения двух звеньев.

Чем меньше время цикла, тем больше снижаются максимальное значение усилий гидроцилиндров подъема стрелы и вращения рукояти.

## Выводы

1. При совмещении движений трех звеньев усилие гидроцилиндра подъема снижается на 25–50%, а гидроцилиндра привода рукояти – на 8–42%.

2. Эффективность совмещения движения зависит от времени цикла: чем меньше время цикла, тем эффективнее совмещение движений трех звеньев.

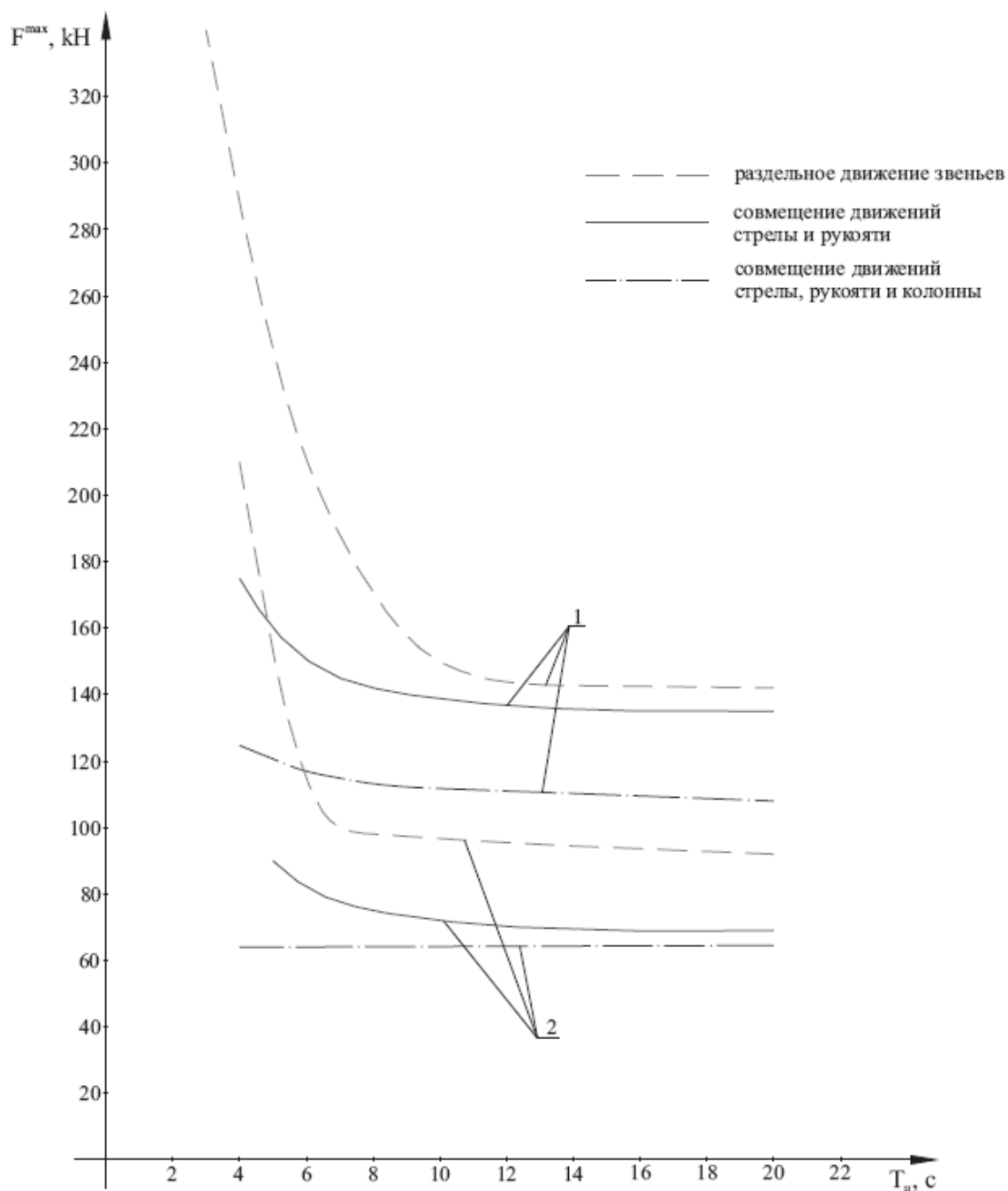


Рис. 2. Изменение максимального значения усилия ГЦ подъема стрелы (1) и привода рукояти (2) манипулятора ЛВ-184А от времени цикла

---

### Примечания:

1. Бартенев И.М., Емтыль З.К., Попиков П.И. Исследование динамической нагруженности гидравлического манипулятора и обоснование целесообразности совмещения операций подъема стрелы и вращения рукояти // Труды ФОРА. 1997. № 2. С. 96-114. URL: <http://fora.adygnet.ru>
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. 2000. № 5. С. 89-95. URL: <http://fora.adygnet.ru>

### References:

1. Bartenev I.M., Emtyl Z.K., Popikov P.I. The analysis of dynamic loading of the hydraulic manipulator and the substantiation of expedience of combining the operations of boom lift and bucket arm rotation // The works of FORA. 1997. No. 2. P. 96-114. URL: <http://fora.adygnet.ru>
2. Emtyl Z.K., Tatarenko A.P. On the influence of the working fluid compliance and hydraulic actuator elements on dynamic loading of the hydraulic manipulator at combination of link movements // The works of FORA. 2000. No. 5. P. 89-95. URL: <http://fora.adygnet.ru>