

ОБОСНОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА ПРИВОДА РУКОЯТИ МАНИПУЛЯТОРА ТИПА «НОЖНИЦЫ» ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ОБЪЕМА ГИДРОЦИЛИНДРА

А.П. Татаренко

ОАО «Майкопский машзавод», г. Майкоп

В работе излагается метод обоснования и оптимизации параметров механизма привода рукояти гидроманипулятора по критерию минимизации рабочего объема гидроцилиндра путем математического представления конструктивных ограничений механизма и моделирования его рабочих режимов с учетом действия всех значимых факторов.

Выбор параметров механизма поворота рукояти манипулятора (схема «ножницы») (рис. 1) существенно ограничен областью значений, при которых удовлетворялись бы все конструктивные требования совместимости работы всех механизмов изделия в целом. К таким требованиям относятся:

1. Ограничения габаритов звеньев и их расположения в пространстве для обеспечения привода манипулятора в транспортное и развернутое положения.
2. Обеспечение минимально допустимой разницы между закрытой высотой гидроцилиндра поворота рукояти и его ходом.
3. Обеспечение декларируемой грузоподъемности при достижении максимального требуемого угла поворота рукояти при полностью выдвинутых удлинителях.

Существуют ограничения по скорости перемещения звеньев манипулятора, которые на предварительном этапе можно использовать для выбора номинальной подачи рабочей жидкости, например, по известным характеристикам аналогов проектируемого изделия. Необходимо отметить, что без учета всех этих ограничений оптимизация параметров механизма привода рукояти не представляет практической ценности.

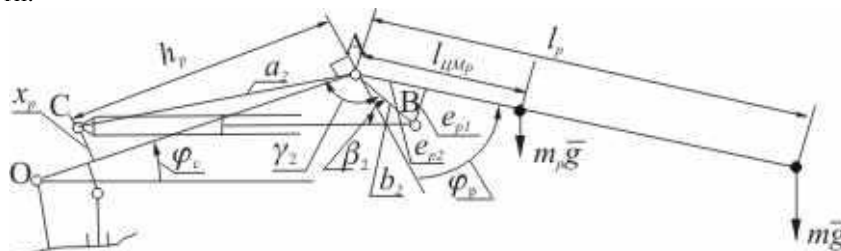


Рис. 1. Механизм поворота рукояти манипулятора (схема «ножницы»)

Из изложенного выше следует, что выбираемый набор параметров, x_p , e_{p1} , e_{p2} (рис. 1) должен удовлетворять ряду условий.

Пусть параметр x_p задан так, что принимает положительные значения если точка C лежит ниже оси OA, тогда максимальное значение этого параметра определяется из конструктивных соображений так, чтобы в транспортном положении элементы гидроцилиндров подъема стрелы и поворота рукояти не пересекались. В первом приближении можно задать любую область изменения параметра x_p с последующей корректировкой этой области исходя из вышеизложенных ограничений.

Параметры x_p , e_{p1} , e_{p2} должны быть подобраны так, чтобы, как минимум, исключить достижение мертвой точки или обеспечить требуемый по техническим условиям минимальный момент при минимальном угле поворота рукояти, который реализуется при достижении минимального плеча, l при известном максимальном развиваемом усилии гидроцилиндра (ГЦ). Полагая, что l_1 – есть кратчайшее расстояние между прямой OA и осью передней проушины ГЦ поворота рукояти в закрытом положении (положительное направление вниз) запишем:

$$n_1 = e_{p2} \cos \varphi_{p \min} + e_{p1} \sin \varphi_{p \min},$$

где $\varphi_{p \min}$ – минимальный угол поворота рукояти, рад (откладывается от перпендикуляра к оси стрелы и принимает отрицательные значения при поджиге рукояти); остальные параметры приведены на рис. 1. Тогда, должно выполняться условие:

$$n \leq \left(\frac{(n_1 - x_p)(e_{p1} \cos \varphi_{p \min} - e_{p2} \sin \varphi_{p \min})}{h_p - (e_{p1} \cos \varphi_{p \min} - e_{p2} \sin \varphi_{p \min})} + n_1 \right) \times \cos \left(\arctg \left(\frac{n_1 - x_p}{h_p - (e_{p1} \cos \varphi_{p \min} - e_{p2} \sin \varphi_{p \min})} \right) \right). \quad (1)$$

Следующее условие – условие не пересечения штока ГЦ поворота рукояти и шарнира стрела-рукоять при максимальном угле подъема рукояти:

$$e_{p1} - e_{p2} \left(\frac{e_{p1} - x_p}{h_p + e_{p2}} \right) \geq k, \quad (2)$$

где k – минимально допустимое из конструктивных соображений расстояние между осью ГЦ поворота рукояти и осью шарнира стрела-рукоять.

Параметры ГЦ поворота рукояти должны удовлетворять следующим условиям:

$$S_{p \max} \leq 2S_{p \min} - z_c, \quad (3)$$

где $S_{p \max}$, $S_{p \min}$ – максимальная и минимальная высота цилиндра привода рукояти, м;

z_c – минимально возможная разница между ходом цилиндра и его минимальной (закрытой) высотой, м.

$$S_{p \min} = \sqrt{a_2^2 + b_2^2 - 2a_2b_2 \cos(\gamma_2 + \varphi_{p \min} - \delta_2)}; \quad (4)$$

$$S_{p \max} = \sqrt{a_2^2 + b_2^2 - 2a_2b_2 \cos(\gamma_2 + \varphi_{p \max} - \delta_2)}; \quad (5)$$

$$\gamma_2 = \frac{\pi}{2} - \arctg \left(\frac{x_p}{h_p} \right); \quad (6)$$

$$a_2 = \frac{h_p}{\sin \gamma_2}; \quad (7)$$

$$b_2 = \sqrt{e_{p1}^2 + e_{p2}^2}; \quad (8)$$

$$\delta_2 = \arctg(e_{p1}/e_{p2}). \quad (9)$$

Используя равенства (4-9) можно подобрать значение h_p для любого набора параметров x_p , e_{p1} , e_{p2} , так чтобы выполнялось условие (3). При этом необходимо чтобы $S_{p \max} \rightarrow 2S_{p \min} - z_c$. Нужно также отметить, что, из конструктивных соображений, значение параметра h_p , как правило, не должно превышать расстояния от оси шарнира стрела-рукоять до оси передней проушины ГЦ подъема стрелы.

Ограничив область допустимых значений параметров x_p , e_{p1} , e_{p2} по условиям (1-3) можно перейти к определению оптимальных значений указанных параметров по минимальному ходу штока при выбранном диаметре ГЦ. При этом обязательно должно выполняться условие гарантированного достижения максимального рабочего угла подъема рукояти, φ_p^* с номинальным грузом при полностью выдвинутых удлинителях, ограниченном максимальном давлении в поршневой полости ГЦ привода рукояти и с учетом иных особенностей гидросистемы манипулятора. Время поворота рукояти не должно превышать определенного по техническим условиям значения t_k , соответствующего начальному положению рукояти и положению стрелы.

Для описания движения рукояти с грузом вверх запишем систему, состоящую из уравнения расхода рабочей жидкости и равенства моментов сил и моментов инерции механизма с грузом:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{\pi d_{np}^2}{4} b_2 \sin \beta_2 \cdot \dot{\varphi}_p + a_{y2} (p_{np} - p_{up}) + Q_{knp} + K_{pnp} \dot{p}_{np}; \\ (J_p + ml_p^2) \ddot{\varphi}_p &= \frac{\pi}{4} b_2 \sin \beta_2 (d_{np}^2 p_{np} - (d_{np}^2 - d_{up}^2) p_{up}) - \\ &- g(ml_p + m_p l_{ЦМр}) \sin(\varphi_c + \varphi_p) - M_{mp2} \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где Q – подача рабочей жидкости, м³/с;

Q_{knp} – расход рабочей жидкости через предохранительный клапан, ограничивающий давление в поршневой полости ГЦ поворота рукояти, м³/с;

J_p – момент инерции рукояти, кг·м²;

K_{pnp} – коэффициент податливости рабочей жидкости и элементов гидропривода, м³/Па;

M_{mp2} – обобщенный момент сил трения в шарнирах рукояти, Н·м²;

a_{y2} – коэффициент перетечек, м³/Па·с;

d_{np}, d_{up} – диаметры поршня и штока ГЦ поворота рукояти соответственно, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

p_{np}, p_{up} – давление в поршневой и штоковой полости ГЦ поворота рукояти, Па;

m, m_p – масса груза и рукояти, соответственно, кг;

l_p – максимальная длина рукояти, м;

$l_{ЦМр}$ – расстояние от оси поворота до центра масс рукояти при полностью выдвинутых удлинителях, м.

$$\sin \beta_2 = \frac{a_2 \sin(\gamma_2 + \varphi_p - \delta_2)}{\sqrt{a_2^2 + b_2^2 - 2a_2 b_2 \cos(\gamma_2 + \varphi_p - \delta_2)}}; \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_n \frac{t}{t_n} \text{ при } t < t_n \\ Q &= Q_n \text{ при } t \geq t_n \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где Q_n – номинальная подача рабочей жидкости, м³/с;

t, t_n – время с начала процесса поворота и время нарастания подачи до номинального значения соответственно, с. t_n может принимать значения в пределах 0,3...0,5с. В большинстве случаев значение коэффициента перетечек можно принять $a_{y2} \approx 1 \cdot 10^{-12}$ м³/Па·с.

Параметры $J_p, m_p, l_{ЦМр}$, выбираются приближенно с учетом конструктивных особенностей рукояти.

Методика определения коэффициента податливости, K_{pnp} расхода рабочей жидкости через предохранительный клапан, Q_{knp} , ограничивающий давление в напорной полости и давления подпора p_{up} изложена в работах /1,2/.

Для упрощенных расчетов давлением подпора, p_{up} и обобщенным моментом сил трения, M_{mp2} можно пренебречь.

Решая систему уравнений (10) методом Эйлера с предварительным понижением порядка дифференцирования на каждом шаге по времени определяем значение давления (из первого уравнения), угловое ускорение и скорость рукояти (из второго уравнения). В конечном итоге определяем, достигнет ли рукоять при выбранных значениях x_p, e_{p1}, e_{p2} , удовлетворяющих условиям (1-3), максимального рабочего угла подъема и за какое время это произойдет. Таким образом, отбирается множество комбинаций x_p, e_{p1}, e_{p2} для которых в конце процесса выполняются условие:

$$\varphi_p = \varphi_p^* \text{ при } t \leq t_k \quad (13)$$

Из множества комбинаций значений x_p, e_{p1}, e_{p2} , удовлетворяющих условиям (1-3, 13) выбираем ту, при которой ход штока минимален:

$$S_{\max} - S_{\min} \rightarrow \min. \quad (14)$$

Эти значения будут являться оптимальными для выбранного диаметра цилиндра. Зная ход штока и диаметр цилиндра можно определить его полезный объем:

$$v_n = \frac{\pi d_{np}^2}{4} (S_{\max} - S_{\min}) , \quad (15)$$

который можно будет сравнить с оптимальным полезным объемом цилиндра другого диаметра, проделав аналогичные расчеты. Диаметр цилиндра и комбинация параметров x_p, e_{p1}, e_{p2} , при которой полезный объем цилиндра будет минимален, можно считать оптимальными значениями.

Нужно отметить, что при решении данной задачи оптимизации параметров нужно выбирать углы подъема стрелы и поворота рукояти так, чтобы механизм привода рукояти был максимально нагружен в момент начала движения рукояти.

Л и т е р а т у р а

1. *Емтьель З.К., Татаренко А.П.* Исследование влияния сокращения подачи рабочей жидкости вследствие ее сжимаемости и утечек на динамическую нагруженность гидроманипулятора при совмещении движений звеньев. //Труды ФОРА. Майкоп. Изд-во АГУ. - 2000. - №6. - С.98÷112.
2. *Емтьель З.К., Татаренко А.П., Смыков А.А.* Исследование влияния совместного и отдельного движений стрелы и рукояти на динамическую нагруженность и производительность гидроманипулятора. //Гидравлика и пневматика. Санкт-Петербург. - №3. - 2002. - С 22-24

Optimization of the manipulator parameters on the minimum criterion of the hydrocylinder size

A.P. Tatarenko

In this paper the optimization method of the hydromanipulator parameters on criterion minimization of the work size is apply.