

## ОЦЕНКА ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ГАЗА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДЪЕМА СТРЕЛЫ С ПОМОЩЬЮ ГАЗОВОГО ЦИЛИНДРА

к.т.н. А.А. Пьянков, к.т.н. А.И. Пискачев  
(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

Разработана методики расчета потребного количества газа в газовом баллоне при питании им пневматического цилиндра механизма подъема стрелы. Учтены особенность нагрузки, действующей на пневматический цилиндр.

Подъем стрелы осуществляется с помощью газового цилиндра. Нагрузкой цилиндра является нагрузка от массовых сил стрелы с поднимаемым грузом. Характерной особенностью такой системы является существенная зависимость потребной силы газового цилиндра от угла подъема системы. Максимальное усилие на цилиндре возникает в начале, а минимальное – в конце подъема. Величина минимального усилия может быть даже отрицательной, т.е. в цилиндре появляются растягивающие усилия.

Для обеспечения подъема стрелы используется привод подъема в виде гидравлического или газового цилиндра. Схема механизма подъема представлена на рис. 1.

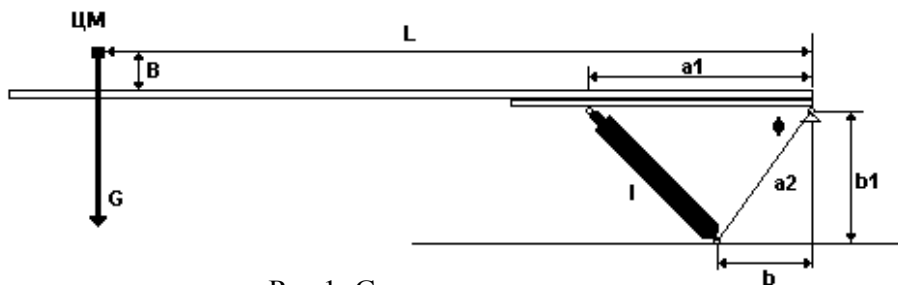


Рис. 1. Схема механизма подъема

В зависимости от местоположения гидродомкрата будут изменяться как силовые, так и геометрические параметры системы подъема.

*Кинематический анализ механизма подъема.* Параметры механизма подъема связаны соотношениями:

$$\begin{aligned}
 a_2 &= (b^2 + b_1^2)^{1/2}; \\
 \varphi_0 &= \text{arctg}(b_1/b); \\
 l &= (a_1^2 + a_2^2 - 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos\varphi)^{1/2}; \\
 h(\varphi) &= (a_1 \cdot a_2 / l) \sin\varphi; \\
 M(\varphi) &= L \cdot G \cdot \cos\varphi - B \cdot G \cdot \sin\varphi; \\
 R(\varphi) &= M(\varphi) / h(\varphi); \\
 F &= R(0) / P_0,
 \end{aligned}$$

где  $a_2$  - расстояние между точками крепления стрелы и домкрата к раме;  $b$  - продольное смещение точки крепления домкрата к раме по отношению к точке крепления стрелы;  $b_1$  - расстояние по вертикали между точками крепления к раме стрелы и домкрата;  $\varphi_0$  - начальный угол между стрелой и отрезком  $a_2$ ;  $l$  - длина домкрата;  $\varphi$  - угол поворота стрелы относительно отрезка  $a_1$ ;  $h(\varphi)$  - плечо домкрата;  $M(\varphi)$  - момент от внешних сил относительно оси вращения стрелы;  $L$  - расстояние от оси вращения стрелы до центра масс поднимаемой системы;  $G$  - сила веса поднимаемой системы;  $B$  - высота центра масс относительно стрелы;  $R(\varphi)$  - сила, развиваемая домкратом при подъеме;  $F$  - площадь поршня домкрата;  $P_0$  - максимальное давление в полости домкрата.

Для подъема стрелы с грузом используется газовый цилиндр (рис.2), в полость 3 которого подается газ из баллона 1 через запорный орган 2. Давлением в цилиндре поршень 4 со штоком выдвигается и поднимает стрелу с грузом.

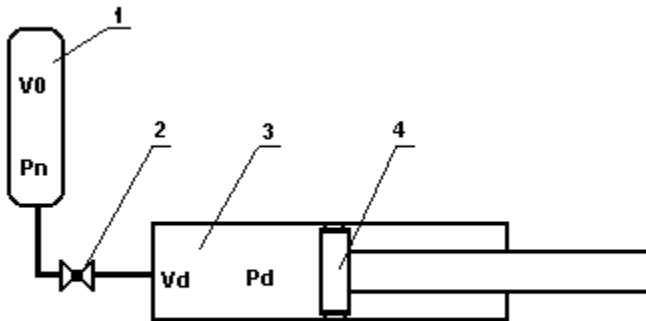


Рис. 2. Газовый привод подъема

Для определения потребного для подъема газа поступим следующим образом:

- рассчитаем массу газа в цилиндре при заданном давлении и текущем объеме цилиндра;
- для преодоления динамических нагрузок величину давления принимаем с некоторым превышением по сравнению с расчетным значением

давления;  
 - процесс расширения газа считаем изотермическим.  
 Уравнения состояния газа в цилиндре можно записать в виде:

$$P(\varphi) = R(\varphi)/F;$$

$$V(\varphi) = F(l(\varphi) - l_0);$$

$$m(\varphi) = k_1 \cdot P(\varphi)V(\varphi)/(R_1 \cdot T_1),$$

где  $P(\varphi)$  - потребное давление в цилиндре;  $V(\varphi)$  - объем газовой полости цилиндра;  $m(\varphi)$  - масса газа в цилиндре;  $k_1$  – коэффициент запаса;  $R_1, T_1$  - газовая постоянная и температура газа.

Решение системы уравнений кинематики подъема приведено на рис.3.

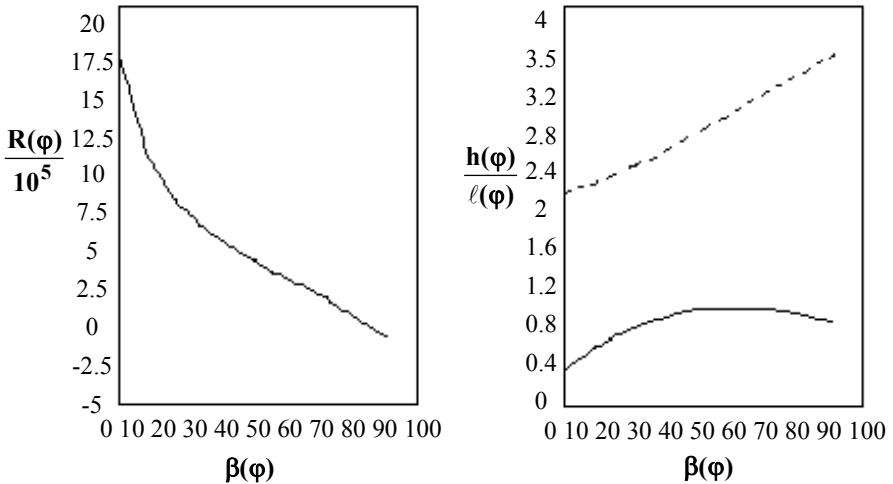


Рис. 3. Изменение усилий в домкрате, его плеча и длины в процессе подъема

Анализ решения показывает, что усилие, действующее на газовый цилиндр, в процессе подъема уменьшается. На рис. 4 приведены программа расчета массы газа в процессе подъема и зависимость массы газа в пневмоцилиндре от угла подъема.

Из рис. 4 видно, что потребная масса газа имеет экстремум (максимум) в районе подъема системы на угол около 50 градусов. При заполнении цилиндра максимальной массой газа дальнейшую подачу газа можно прекратить, а движение системы будет происходить с увеличением ее скорости. Таким образом, для оценки необходимой массы газа для подъема системы необходимо определить максимальную потребную массу газа и обеспечить поступление ее в цилиндр. Так как сжатый газ запасен в баллоне, то необходимо определить объем баллона и исходное давление газа в нем. Считая, что процесс расширения газа изотермический, и в конце расширения масса газа в цилиндре

дере должна быть равна вычисленной, необходимо подобрать объем баллона с исходным давлением  $P_{0б}$ . Объем баллона может быть определен в следующем виде:

$$V_b = m \cdot R_1 \cdot T_1 / (P_{0б} - P_{кб}),$$

где  $V_b$  – объем баллона;  $m$  – масса газа в баллоне;  $P_{0б}$  – начальное давление в баллоне;  $P_{кб}$  – давление в баллоне при максимальной массе газа.

$V(\varphi) = F(\ell(\varphi) - \ell(\varphi_0))$	$R_1 = 293$	$T_1 = 300$
$V_b = \frac{V_d}{\left(\frac{P_2}{P_d} - 1.1\right)}$	$V_d = 0.01487$	
$P_d = 5.273 \cdot 10^6$	$m(\varphi) = \frac{k_1 \cdot P(\varphi) \cdot V(\varphi)}{R_1 \cdot T_1}$	$k_1 = 1.5$
		$P_2 = 30 \cdot 10^6$
$R_b = \left(\frac{3 \cdot V_d}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$	$V_b = 0.003$	$R_b = 0.153$

$m(\varphi)$
0
1.525
2.659
3.533
4.103
4.276
3.937
2.955
1.18
-1.578

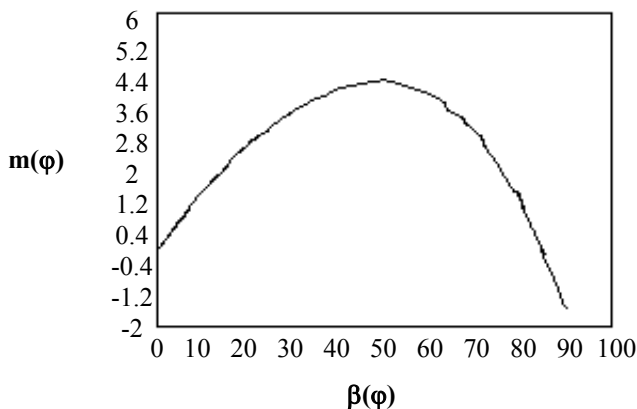


Рис. 4. Программа расчета и зависимости массы газа от угла подъема (обозначения в программе:  $V_b = V_{б}$ ;  $V_d = V_{д}$ ;  $P_2 = P_{0б}$ ;  $P_d = P_{кб}$ )

Объем баллона можно вычислить также по формуле

$$V_b = V_d / (P_{0б} / P_{кб} - 1,1),$$

где  $V_d$  – объем газового цилиндра при максимальной массе газа.

Расчеты, проведенные по данной методике, позволяют выбрать параметры газовой системы для подъема с помощью сжатого газа.

*Поступила в редколлегию 14.09.2000*

---