

Научная статья
УДК 681.523

ЖЕСТКОСТЬ ГИДРОЦИЛИНДРА

Сергей Николаевич Исаков¹, Валерий Павлович Сиваков², Александр Сергеевич Малых³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ isakovsn@m.usfeu.ru

² sivakovvp@m.usfeu.ru

³ malykhas@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены устройство гидроцилиндра и факторы, влияющие на жесткость, и произведен ее расчет. А также рассчитана энергия, расходуемая на деформацию элементов гидроцилиндра и жесткости.

Ключевые слова: гидроцилиндр, жесткость, деформация

Original article

HYDRAULIC CYLINDER RIGIDITY

Sergey N. Isakov¹, Valery P. Sivakov², Alexander S. Malykh³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ isakovsn@m.usfeu.ru

² sivakovvp@m.usfeu.ru

³ malykhas@m.usfeu.ru

Abstract. The article discusses the device of the hydraulic cylinder and the factors affecting the stiffness and its calculation is made. And also the energy spent on the deformation of the hydraulic cylinder elements and stiffness is calculated.

Keywords: hydraulic cylinder, stiffness, deformation

Гидроприводы широко распространены в машинах и оборудовании благодаря своим особенностям: бесступенчатое регулирование скорости; небольшие габариты и вес; частое реверсирование движения; быстродействие; механическая и скоростная жесткость; большие передаваемые усилия; автоматическая защита; хорошие условия смазывания элементов и др.

Однако есть также ряд недостатков: изменение вязкости жидкости от температуры; утечки жидкости; большие точности изготовления элементов

гидропривода; резкое снижение КПД при передаче на большие расстояния и др. [1].

Рассмотрим подробнее механическую жесткость гидроцилиндра. Она влияет на точность перемещения исполнительного механизма, запаздывание реакции, собственные частоты системы/механизма и т. д. Жесткость будем рассматривать как показатель комплексный: жесткости нагнетателя, трубопровода, жидкости, гидроцилиндра и механических соединений. В данной статье рассмотрим только жесткость гидроцилиндра марки ЦГ-30,20 × 93,22 и жидкости в нем.

Жесткость цилиндра будет складываться из жесткости цилиндрической части корпуса, жесткости штока, жесткости уплотнений поршня и штока, а также объемной жесткости жидкости.

Чертеж гидроцилиндра марки ЦГ-30.20 × 93.22 представлен на рис. 1. Подвижное звено – шток 1, который удерживается в корпусе 8 гайкой 2. Центровка осуществляется с помощью втулки 4. Жидкость подается через штуцеры 3 и 12. Для предотвращения затягивания «уличной» грязи в цилиндр при втягивании штока установлен грязесъемник 5, а для уплотнения данного подвижного соединения используется манжета 7. Элемент, воспринимающий давление жидкости идвигающий шток, – это поршень 9, который также уплотнен манжетой 10 и кольцами 11 во избежание перетока жидкости внутри цилиндра. Крепление корпуса осуществляется через проушину 13, а штока – через отверстие $\varnothing 10$ мм.

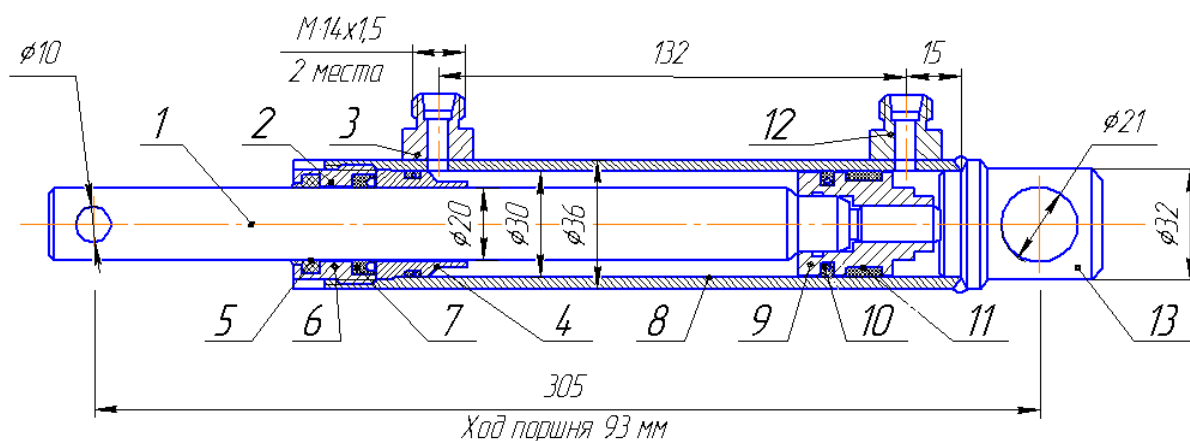


Рис. 1. Чертеж гидроцилиндра: 1 – шток; 2 – гайка; 3 – штуцер; 4 – втулка; 5 – грязесъемник; 6 – гайка; 7 – манжета; 8 – корпус гидроцилиндра; 9 – поршень; 10 – манжета; 11 – кольцо; 12 – штуцер; 13 – проушина

Жесткость цилиндра предлагается определять по продольной деформации (усадке) следующих элементов: жесткости уплотнения поршня цилиндра; объемной жесткости жидкости в гидроцилиндре; жесткости корпуса при увеличении радиуса; жесткости при изменении длины корпуса; жесткости уплотнителя штока; жесткости штока. Ниже рассмотрим их более подробно.

1. Жесткость уплотнения цилиндра:

$$C_1 = \frac{E_{рез} \cdot (\pi \cdot r_1^2)^2}{\pi_{манжП} \cdot \pi \cdot (r_1^2 - r_2^2)}, \quad (1)$$

где $E_{рез} = 8 \cdot 10^6$ Па – модуль упругости резины [2];
 $r_1 = 0,015$ м – внутренний радиус гидроцилиндра;
 $r_3 = 0,0125$ м – радиус поршня гидроцилиндра;
 $h_{манжП} = 0,005$ м – толщина манжеты поршня.

2. Объемная жесткость жидкости в гидроцилиндре [3]:

$$C_2 = \frac{E_{ж} \cdot \pi \cdot r_1^2}{l_1}, \quad (2)$$

где $E_{ж} = 2,2 \cdot 10^9$ Па – модуль упругости жидкости [4];
 $l_1 = 0,09$ м – первоначальная длина внутренней полости, заполненной жидкостью.

3. Жесткость корпуса при увеличении радиуса

$$C_3 = \frac{F}{l_1 - \frac{r_1^2 \cdot l_1}{(r_1 + \Delta r)^2}}. \quad (3)$$

Увеличение диаметра [5] для толстостенного цилиндра:

$$\Delta r = \frac{1}{E_{cm}} \cdot \left(\frac{1 + \frac{r_1}{r_2}}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2} \right) \cdot \frac{F_{max}}{\pi \cdot r_1}, \quad (4)$$

где $E_{cm} = 2 \cdot 10^{11}$ Па – модуль упругости стали;
 $r_2 = 0,018$ м – внешний радиус гидроцилиндра;
 $F_{max} = 435H$ – максимальная осевая нагрузка на гидроцилиндр.

Увеличение диаметра [3] для тонкостенных цилиндров

$$\Delta r = \frac{F}{\pi \cdot E_{cm} \cdot (r_2 - r_1)} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{2} \right), \quad (5)$$

где $\mu = 0,3$ – коэффициент Пуассона.

4. Жесткость при изменении длины корпуса

$$C_4 = \frac{2 \cdot \pi \cdot E_{cm} \cdot (r_2 - r_1) \cdot r_1}{l_1}. \quad (6)$$

5. Жесткость уплотнителя штока

$$C_5 = \frac{E_{рез} \cdot (\pi \cdot r_1^2)^2}{h_{манж\text{Ш}} \cdot \pi \cdot (r_1^2 - r_4^2)}, \quad (7)$$

где $E_{рез} = 8 \cdot 10^6$ Па – модуль упругости резины [2];

$r_4 = 0,01$ м – радиус штока гидроцилиндра;

$h_{манж\text{Ш}} = 0,005$ м – толщина манжеты штока.

6. Жесткость штока

$$C_6 = \frac{\pi \cdot E_{ст} \cdot r_4^2}{l_{шт}}, \quad (8)$$

где $l_{шт} = 0,25$ м – длина штока.

Расчетная модель гидроцилиндра представлена на рис. 2.

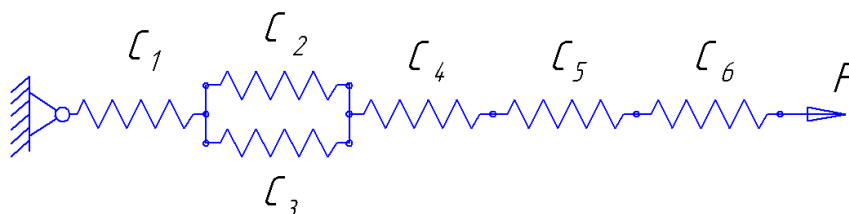


Рис. 2. Расчетная схема суммарной жесткости гидроцилиндра:

C_1 – жесткость уплотнения цилиндра; C_2 – объемная жесткость жидкости в гидроцилиндре; C_3 – жесткость корпуса при увеличении радиуса; C_4 – жесткость при изменении длины корпуса; C_5 – жесткость уплотнителя штока; C_6 – жесткость штока

Суммарная продольная жесткость гидроцилиндра определена по формуле (9)

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 + C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6}. \quad (9)$$

Результаты расчетов поэлементной и суммарной жесткости гидроцилиндра в 10^6 Н/м представлены в табл. форме ниже.

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_{Σ}
3,7	17,28	184,8	628,3	2,01	314,2	1,29

Максимальное удлинение гидроцилиндра от продольной упругой деформации его элементов определяется по формуле

$$\Delta l = \frac{F_{\max}}{C_{\Sigma}} = \frac{435}{1,29 \cdot 10^6} = 0,225 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,337 \text{ мм}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что удлинение гидроцилиндра незначительно, а C_{Σ} элементов конструкции и рабочей жидкости обеспечивает продольную геометрическую устойчивость его корпуса.

Время, за которое произойдет данная деформация при скорости перемещения штока $v = 100$ мм/мин, вычисляется по формуле (11):

$$t = \frac{60 \cdot \Delta l}{v} = \frac{60 \cdot 0,337}{100} = 0,202 \text{ с} \quad (11)$$

Энергия, расходуемая на деформацию элементов гидроцилиндра (при давлении $p = 617$ кПа перед рабочим ходом поршня:

$$\mathcal{E} = p \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot \Delta l = 617 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 0,015^2 \cdot 0,337 \cdot 10^{-3} = 0,147 \text{ Дж} \quad (12)$$

Расчет мощности, необходимой для совершения данной работы в единицу времени, вычисляется:

$$P = \frac{\mathcal{E}}{t} = \frac{0,147}{0,202} = 0,727 \text{ Вт} \quad (13)$$

Расход энергии за час при непрерывной работе составит 2,6 кВт · ч.

В формуле (9) наряду с элементами конструкции гидроцилиндра учтена и жесткость рабочей жидкости с большим модулем упругости. Произведен расчет мощности работы и мощности для совершения данной деформации. Во многих технологических процессах перекачиваются жидкости и суспензии с малыми модулями упругости. Исследования деформации жидкостей с малыми модулями упругости в насосах и гидроцилиндрах представляется актуальной, например для гидротранспорта бумажной массы.

Список источников

1. Преимущества и недостатки гидропривода // StudeFiles : [сайт]. URL: <https://studfile.net/preview/5176947/page:2> (дата обращения: 06.10.2023).
2. Кобзов Д. Ю., Тарасов В. А., Жмуров В. В. Оценка продольной жесткости гидроцилиндра // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 1 (9). С. 31–35.
3. Писаренко Т. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Наук. думка, 1988. 736 с.
4. Физико-механические свойства резин // Студенческие реферативные статьи и материалы : [сайт]. URL: <https://clck.ru/36pM5x> (дата обращения: 12.10.2023).
5. Упругость жидкостей // Файловый архив студентов : [сайт]. URL: <https://studfile.net/preview/3617494/page:3/> (дата обращения: 12.10.2023).