

Основни хидравлични зависимости за една конструкция телескопичен цилиндър със синхронизация

Петко Цанков, Йорданка Славчева

Basic hydraulic dependencies for a telescopic cylinder design with synchronization: The work is considered a construction telescopic hydraulic cylinder with hydraulic synchronization. It has been shown its advantage in the constancy of the speed of export and deploy moveable stages. An analysis of hydraulic parameters of this structure - pressure, flow, speed of the moving steps. This analysis can serve as a basis for a methodology for design of such a construction cylinders.

Key words: *telescopic cylinder – parameters, hydraulic synchronization, moving rates*

ВЪВЕДЕНИЕ

Най-разпространените хидравлични двигатели за възвратно-постъпателно движение са хидравличните цилиндри. Те биват различни видове [3], [4] – бутални (едно- и двойнодействащи); плунжерни; телескопични; цилиндри с единичен или двоен бутален прът; тандемцилиндри и др. Телескопичните хидравлични цилиндри (ТХЦ) са зели една специфична област, която изисква сравнително голям ход на изпълнителния механизъм осигурен с малък габарит (по дължина) на хидроцилиндъра. Използват се в мобилни машини и повдигателни уредби, където пространството е ограничено. Намират приложение и в хидравличните асансьори.

Класическият тип ТХЦ е показан на фиг.1. Особеността на тази конструкция се състои в наличието на няколко съставни бутала и бутални пръти. Секциите на съставните телескопични бутала определят броя подвижни степен на ТХЦ. Различават от 2...6 , а и повече степенни ТХЦ.

ОСНОВНИ ГЕОМЕТРИЧНИ И ХИДРАВЛИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА ТХЦ

Общият (максимален) ход на ТХЦ представлява сума от ходовете на подвижните степени:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i$$

където l_i е ход на i -та степен на ТХЦ; n – брой степени на ТХЦ.

Важен геометричен параметър на ТХЦ са диаметрите на подвижните степени на хидроцилиндъра. Предвид конструкцията на ТХЦ и съставността на подвижните бутала, тези диаметри са различни. Обикновено първата степен (най-малката) е определяща, защото по нейната площ и работното налягане в хидросистемата (или работното налягане, за което е проектиран ТХЦ) се определя максималният товар за хидроцилиндъра. Няколко примерни реда на диаметри на ТХЦ са:

- 45/61/76/91/107 – за товароносимост $F=1,3$ t при $p = 8$ МПа;
- 61/76/91/107 - за товароносимост $F=7$ t при $p = 25$ МПа.

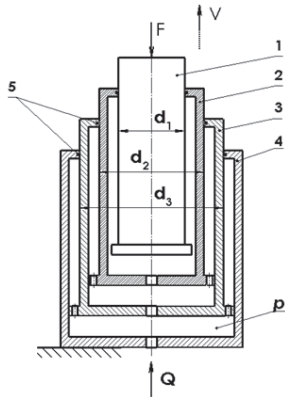
Принципът и особеностите на работа на ТХЦ се заключават в следното [3], [5]:

А.) При изнасяне на степените (повдигане на товара). Първо започва движението си най-голямата степен (при малко налягане p_n и малка скорост V_n), а след това излизат последователно по-малките степени (при повишаване на налягането и повишаване на скоростта на движение на степените). Последна излиза най-малката степен с максимална скорост $V_1 = V_{max}$. Този механизъм на работа се следва при нормални условия: постоянен товар на повдигане $F = const.$ и постоянен дебит, захранващ ТХЦ - $Q = const.$

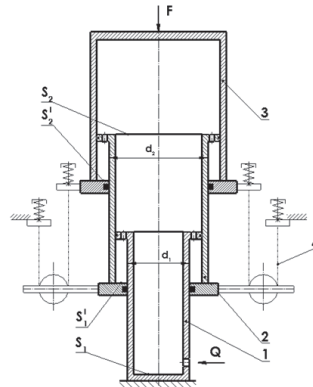
Ако се приеме, че при движението на различните степени к.п.д. $\eta_i = const.$, то от условието за равновесие при изнасянето на различните степени, за повдигания товар и полезната мощност, следва:

$$F = p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 = \dots = p_n \cdot S_n \quad (1)$$

$$N_{пол1} = p_1 \cdot Q = F \cdot V_1 ; \quad N_{пол2} = p_2 \cdot Q = F \cdot V_2 \quad (2)$$



Фиг.1 Конструктивна схема на 3-степенен телескопичен цилиндър –
1,2,3 - подвижни степени на ТХЦ; 4 - корпус; 5- уплътнения.



Фиг.2 Конструктивна схема на телескопичен хидравличен цилиндър с механична синхронизация
1- неподвижна степен на ТХЦ; 2,3 – подвижни степени на ТХЦ; 4 - синхронизиращ механизъм.

В зависимости (1) и (2) индексите се отнасят за параметрите при движение на съответната i -та степен на ТХЦ, като $i = 1$ – се отнася за най-малката степен, а $i = n$ – за най-голямата степен. Поради намаляване на ефективните площи на буталата ($S_n > S_{n-1} > \dots > S_1$), анализа на (1) и (2) показва стъпаловидния характер на:

- изменението на налягането: $p_n < \dots < p_2 < p_1$;

- изменението полезната мощност : $N_{полn} < \dots < N_{пол2} < N_{пол1}$.

От уравнението за непрекъснатост и при захранващ дебит $Q = const.$ следва:

$$Q = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot (S_1/S_2) = V_1 \cdot (D_1/D_2)^2 \quad (3)$$

или отношението на скоростите на движение на различните степени (V_2/V_1) е обратно пропорционално на отношението на съответните площи (S_1/S_2) и

$$V_n < \dots < V_2 < V_1$$

Б.) При прибиране на степените (спускане на товара). Движенията на степените се осъществяват в обратен ред – първо се прибира най-малкото бутало (при високи налягане p_1 и скорост V_1), а след това се прибират последователно и по-големите бутала (при по-ниски налягане p_n и скорост V_n). Обикновено спускането се осъществява под действие на външен товар $F = const.$, а не по хидравличен път. Тогава при дроселно регулиране на скоростите на спускане (постоянен дросел на изхода) и като се отчете зависимостта на дебита от пада на налягането в дросела, се получава:

$$p_1 = F/S_1 ; \quad p_2 = F/S_2 \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot S_1/S_2$$

$$V_1 \sim Q_1 \sim \sqrt{p_1}$$

$$V_2 \sim Q_2 \sim \sqrt{p_2} = \sqrt{p_1} \cdot \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} = V_1 \cdot \frac{D_1}{D_2} \quad (4)$$

Или при спускане на товара (прибиране на степените на ТХЦ) с дроселно регулиране на изхода, скоростта на спускане намалява стъпаловидно и отношението на скоростите е по-малко отколкото при повдигане на товара – (4)–(3).

Тези изменения на хидравличните параметри при движението на степените на

ТХЦ – изменението на налягането, мощността и особено изменението на скоростта на движение не са желателни или даже допустими при някои транспортни системи. Например, недопустимо е в много случаи повдигането и спускането на товар в асансьорни системи да се осъществява с променлива скорост. Това води до много нежелани явления: резки промени на скоростта с високи ускорения, удължаване на времето за движение с цел намаляване на недопустимо високи скорости и др.

Във връзка с това се търсят различни технически възможности за решаването на този проблем, за синхронизация работата на ТХЦ. Тези възможности обаче са ограничени или налагат трудни технически решения.

МЕТОДИ ЗА СИНХРОНИЗАЦИЯ РАБОТАТА НА ТХЦ

Под синхронна работа на ТХЦ се разбира едновременно изнасяне (или прибиране) на степените на ТХЦ, при което скоростта на повдигане (или спускане) е постоянна за целия ход.

1. Телескопичен хидравличен цилиндър с механична синхронизация (фиг.2)[1]. На фигурата е показан инверсно разположен ТХЦ, при който първата (най-малка) секция (1) е опорна. Устройството за синхронизация (4) се състои от двойка гъвкави елементи (въжета или вериги) свързани с ролки или зъбчатки закрепени на втората степен (2) на ТХЦ. Единият от краищата на гъвкавите елементи е закрепен към третата степен на ТХЦ (3), а другият към неподвижна опора. По този начин, едновременно със задвижваната по хидравличен път трета степен (3) се движи и свързаната с нея втора степен (2) на ТХЦ. Спускането на степен (3) става под въздействието на товара, а на степен (2) – под въздействието на налягането върху площ S_1' и теглото и.

2. ТХЦ с хидравлично изравняване на скоростите на различните степени по положение. Това може да се постигне, като в края на всеки ход на различните степени, крайни изключватели превключват хидросистемата за подаване на различен дебит (предварително определен по отношението на площите на степените), гарантиращ постоянна, желана скорост $V = const$. Хидравличната система е сложна, особено ако се изисква и възможност за оперативно регулиране скоростта на повдигане и спускане.

Дори и използването на съвременни хидравлични устройства като регулируеми помпи и пропорционални хидравлични елементи не винаги е обосновано или изпълнимо.

Съществува и трета възможност, свързана с по-нова и усложнена конструкция на ТХЦ.

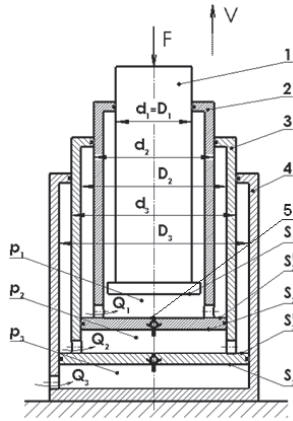
3. ТХЦ с хидравлична (конструктивна, вътрешна) синхронизация. Принципна конструктивна схема на ТХЦ с хидравлична синхронизация е показана на фиг.3. Тази конструкция [1],[2] е по-усложнена от класическия тип ТХЦ.

В конструкцията, всяка степен има не само активна, бутална камера, но и активна прътова камера. Двете камери са свързани: буталната камера на i – степен и прътовата (пръстеновидна) камера на $(i+1)$ – степен. Еднаквите площи на тези свързани камери ($S_1=S_2'$; $S_2=S_3'$... $S_{n-1}=S_n'$) гарантират синхронната (едновременна) работа при изтегляне и прибиране на степените на ТХЦ.

Налягането p_3 създавано от помпата действа върху буталото на степен (3) (S_3), което започва да се повдига. При това се повишава налягането p_2 действащо върху свързаните камери (с площи $S_3' = S_2$). Течността преминава от прътовата камера с площ S_3' в буталната камера с площ S_2 и въздейства на буталото на степен (2), което започва своето повдигане. Аналогично започва повдигането и на буталото на степен (1). По този начин и трите степени на ТХЦ се движат едновременно.

Особеност в конструкцията на ТХЦ със синхронизация е наличието в буталата на хидравлични възли – обратни клапани с механично управление 5. Тези възли, в

края на хода на прибиране на степените, служат за изравняване на евентуална разсъгласуваност или разминаване в движението на степените на ТХЦ.



Фиг.3 Принципна конструктивна схема на ТХЦ с хидравлична синхронизация:
1,2,3– подвижни степени на ТХЦ; 4- корпус; 5- обратен клапан с механично управление

АНАЛИЗ НА ТХЦ С ХИДРАВЛИЧНА СИНХРОНИЗАЦИЯ

А.) Геометрични условия за синхронна работа и условия за равновесие на степените на ТХЦ

Геометричното условие което гарантира синхронната работа на ТХЦ е свързано с равенството на ефективните площи на хидравлически свързаните камери. Това означава следното:

$$\begin{aligned}
 S_1 = S_2' & \quad \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - d_2^2)}{4} \Rightarrow D_1 = \sqrt{D_2^2 - d_2^2} \\
 S_2 = S_3' & \quad \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot (D_3^2 - d_3^2)}{4} \Rightarrow D_2 = \sqrt{D_3^2 - d_3^2} \\
 S_{n-1} = S_n' & \quad \frac{\pi \cdot D_{n-1}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (D_n^2 - d_n^2)}{4} \Rightarrow D_{n-1} = \sqrt{D_n^2 - d_n^2} \quad (5)
 \end{aligned}$$

където $S_1, S_2 \dots S_{n-1}$ са ефективните площи на буталните камери на съответните степени; $S_2', S_3' \dots S_n'$ - ефективните площи на прътовите (пръстеновидни) камери на съответните степени.

От условията за равновесие на съответните степени на ТХЦ, като се отчитат силите от налягане които действат на степените - P_n , силите на тежестта на степените - G_n и външното натоварване - F , следват изводите за наляганята в различните свързани камери:

$$\begin{aligned}
 \text{- за 1-ва степен} \quad p_1 \cdot S_1 = F + G_1 & \Rightarrow p_1 = \frac{F + G_1}{S_1} \\
 \text{- за 2-ра степен} \quad p_2 \cdot S_2 = p_1 \cdot S_2' + p_1 \cdot S_1 + G_2 \\
 \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 \cdot (S_1 + S_2')}{S_2} + \frac{G_2}{S_2} = \dots & \Rightarrow p_2 = \frac{2 \cdot (F + G_1) + G_2}{S_2} \\
 \text{- за 3-та степен} \quad p_3 \cdot S_3 = p_2 \cdot S_3' + p_2 \cdot S_2 + G_3 - p_1 \cdot S_2' &
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow p_3 = \frac{p_2 \cdot (S_2 + S_3')}{S_3} + \frac{G_3}{S_3} - \frac{p_1 \cdot S_2'}{S_3} = \dots \Rightarrow p_3 = \frac{3 \cdot (F + G_1) + 2 \cdot G_2 + G_3}{S_3}$$

- за n-та степен $p_n \cdot S_n = p_{n-1} \cdot S_n' + p_{n-1} \cdot S_{n-1} + G_n - p_{n-1} \cdot S_{n-2}'$

$$\Rightarrow p_n = \frac{p_{n-1} \cdot (S_{n-1} + S_n')}{S_n} + \frac{G_n}{S_n} = \dots$$

$$\Rightarrow p_n = \frac{n \cdot (F + G_1) + (n-1) \cdot G_2 + (n-2) \cdot G_3 + \dots + G_n}{S_n} \quad (6)$$

Зависимост (6) определя налягането, което трябва да се създаде на входа на ТХЦ, за да се осигури уравнивяването на посочените сили, основно - натоварването F . Пренебрегването на теглото на различните степени опростява зависимост (6) до:

$$p_n \approx \frac{n \cdot F}{S_n} \quad (7)$$

Задачата за отношението на налягането в различните степени на ТХЦ може да се реши от изведените по горе зависимости:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{(F + G_1)}{S_1} \cdot \frac{S_2}{2 \cdot (F + G_1) + G_2} \approx \frac{S_2}{2 \cdot S_1} \Rightarrow p_2 \approx p_1 \cdot \frac{2 \cdot S_1}{S_2}$$

$$\frac{p_2}{p_3} = \frac{2 \cdot (F + G_1) + G_2}{S_2} \cdot \frac{S_3}{4 \cdot (F + G_1) + 2 \cdot G_2 + G_3} \approx \frac{S_3}{2 \cdot S_2} \Rightarrow p_3 \approx p_2 \cdot \frac{3 \cdot S_2}{2 \cdot S_3}$$

$$\frac{p_1}{p_n} \approx \frac{S_n}{n \cdot S_1} \Rightarrow p_n \approx p_1 \cdot \frac{n \cdot S_1}{S_n} \quad (8)$$

Численото решение за някои конкретни конструкции на ТХЦ със синхронизация показва, че в по-малките (по-размери) степени налягането нараства.

Б.) Синхронност на движението на степените на ТХЦ с хидравлична синхронизация

Еднаквата скорост - синхронността в работата на различните степени на тази конструкция ТХЦ, е доказана по долу. Ако приемем, че подаваният към най-голямата степен на ТХЦ (в примера - 3-та) дебит е Q_3 , то за скоростта на тази степен се получава:

$$V_3 = Q_3 / S_3 .$$

Тогава за дебита, който изтича от прътовата камера на тази степен Q_2 към буталната камера на 2-ра степен, следва:

$$Q_2 = V_3 \cdot S_3' = Q_3 \cdot S_3' / S_3$$

Едновременно с това като се отчете че $S_3' = S_2$, относителната скорост на движение на 2-рата степен се определя от този дебит и ще бъде:

$$V_2 = Q_2 / S_2 = Q_3 \cdot S_3' / (S_3 \cdot S_2) = Q_3 / S_3 = V_3$$

Аналогично за дебита към 1-ва степен и относителната скорост на тази степен следва:

$$Q_1 = V_2 \cdot S_2'$$

$$V_1 = Q_1 / S_1 = V_2 \cdot S_2' / S_1 = V_2$$

По този начин се доказва, че при дадената конструкция ТХЦ със свързани едноплочни камери, относителните скорости на движение на различните степени са еднакви:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n .$$

Скоростта на повдигане на товара или абсолютната скорост на изпълнителната степен (първа, най-малка) се получава като сума от скоростите на степените:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = n \cdot V_n \quad (9)$$

Следва да се има предвид, че изминаването на пълния ход на ТХЦ, равен отново на сумата от равните ходове на степените става за време t , определяно по хода на една степен :

$$t = V_n / I_1 \quad (10)$$

и това е основата за определянето на захранващия дебит - Q_n .

ПРИМЕР

На база на изведените основни зависимости за конструкцията на ТХЦ с хидравлична синхронизация са направени някои изчисления.

Провереният ТХЦ е тристепенен, има следните размери и работи при следните условия:

- размери на степените – $D_1= 80 \text{ mm}$; $d_2= 110 \text{ mm}$; $D_2=136 \text{ mm}$; $d_3= 155 \text{ mm}$; $D_3=206,2 \text{ mm}$; $l_1 = 1000 \text{ mm}$; $L = 3000 \text{ mm}$; дебелина на стените на степените $\delta_{min} = 10 \text{ mm}$.

- външно натоварване $F = 5 \text{ t}$; $t = 25 \text{ s}$

Получени са следните геометрични и хидравлични резултати:

- площи: $S_1=50,265 \text{ cm}^2$; $S_2=50,23 \text{ cm}^2$; $S_2'=145,27 \text{ cm}^2$; $S_3'=145,27 \text{ cm}^2$; $S_3=333,94 \text{ cm}^2$;

- наляганя в различните степени: $p_1 \approx 9,95 \text{ MPa}$; $p_2 \approx 6,88 \text{ MPa}$; $p_n = p_3 \approx 4,49 \text{ MPa}$;

- захранващ дебит : $Q = Q_3 = 80 \text{ l/min}$; скорост повдигане на товара $V = 0,12 \text{ m/s}$; относителна скорост на степените $V_1 = V_2 = V_3 = 0,04 \text{ m/s}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За известна конструкция телескопичен цилиндър с хидравлична синхронизация в работата са направени:

- анализ на геометричните условия и хидравлични параметри при работата на цилиндъра;

- доказана е синхронността в работата на подвижните степени на цилиндъра.

Направените изводи могат да послужат като основа за създаване на методика за оразмеряване на такава конструкция хидроцилиндри.

Литература

- [1] Архангельский Г.Г. Гидравлические лифты –Москва, Изд.АСВ -2002, 346 с.
- [2] Архангельский Г.Г. Гидравлические лифты: конструкция, монтаж и обслуживание, Москва , Изд. МГСУ, 2013, 272 с.
- [3] Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика, Изд.Машиностроение, 1971,672 с.
- [4] Гужулов Г., Д.Капитанов –Хидрозадвигвания при селскостопанските машини, Земиздат -1993, 340 с.
- [5] Попов, Г.Обемни хидравлични машини Русе, УИЦ при РУ "А.Кънчев",2013,

За контакти:

Гл.ас. д-р Петко Георгиев Цанков , кат. Механика, машиностроене и топлотехника”, ТУ-София, ИПФ- Сливен , тел. 0895 581011, е-mail: ptsankov@abv.bg
 Ас. Йорданка Тончева Славчева , кат. Механика, машиностроене и топлотехника”, ТУ-София, ИПФ- Сливен , тел. 0895 586610, е-mail: yotoslav@abv.bg

Докладът е рецензиран.