

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КАФЕДРА ХІМІЧНОГО, ПОЛІМЕРНОГО І СИЛІКАТНОГО  
МАШИНОБУДУВАННЯ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ДКР**

з дисципліни

**"Обладнання для виготовлення полімерних упаковок"**

для напрямів підготовки: 6.050502 – Інженерна механіка  
(група ЛУ)

Рекомендовано Вченою Радою  
інженерно-хімічного факультету.  
Протокол № 4 від 27. 04. 2015 р.

Укладач:  
к.т.н., доцент Сідоров Д. Е.

Київ – 2015

Мета роботи – виконати розрахунок геометрії черв'яка екструдера. Визначити продуктивність машини. Визначити потужність приводного двигуна.

Повний розрахунок екструзійної машини складається з ряду розрахунків, які визначають параметричні величини, теплові поверхні, кінематичні залежності та розміри основних конструктивних елементів машини. В ДКР буде виконуватися параметричний розрахунок, який складається з розрахунку геометрії черв'яка екструдера, визначення продуктивності екструзійної машини та визначення потужності приводного двигуна. ДКР повинна містити один рисунок черв'яка у вигляді ескізу.

Приклади числових даних які наведені у методиці розрахунку відносяться до екструдера типу ЧП-63х25. Деякі величини в типовому розрахунку екструзійної машини прийнято подавати у технічних одиницях виміру, про що буде додатково нагадано за текстом.

### **Розрахунок геометрії черв'яка**

Вихідні дані:

- діаметр черв'яка .....  $D = 63$  мм;
- ступінь стискування черв'яка .....  $i = 2,1$
- відношення робочої довжини черв'яка до діаметра.....  $\frac{L}{D} = 25$ .

Робоча довжина черв'яка:

$$L = \left( \frac{L}{D} \right) D,$$

$$L = 25 \cdot 0,063 = 1,575 \text{ м} = 157,5 \text{ см}.$$

Робоча довжина черв'яка складається з довжини зони дозування, довжини зони плавлення та стискання та довжини зони завантаження.

Довжина зони дозування черв'яка при  $L = 1575$  мм:

$$L_H = 0,4L ,$$

$$L_H = 0,4 \cdot 1,575 = 0,63 \text{ м} = 63 \text{ см} .$$

Довжина зони завантаження черв'яка:

$$L_3 = 0,25L ,$$

$$L_3 = 0,25 \cdot 1,575 = 0,394 \text{ м} = 39,4 \text{ см} .$$

Довжина зони плавлення та стискання черв'яка:

$$L_C = L - L_H - L_3 ,$$

$$L_C = 1,575 - 0,63 - 0,394 = 0,551 \text{ м} = 55,1 \text{ см} .$$

Визначаємо крок гвинтової лінії, якщо діаметр черв'яка  $D=0,063$  м:

$$t = 1,03D ,$$

$$t = 1,03 \cdot 0,063 = 0,065 \text{ м} = 6,5 \text{ см} .$$

Ширина гребеня витка каналу черв'яка:

$$e = 0,08D ,$$

$$e = 0,08 \cdot 0,063 = 0,005 \text{ м} = 0,5 \text{ см} .$$

Глибина гвинтового каналу черв'яка в зоні завантаження:

$$h_1 = 0,127D,$$

$$h_1 = 0,127 \cdot 0,063 = 0,008 \text{ м} = 0,8 \text{ см}.$$

Глибина гвинтового каналу черв'яка у зоні дозування:

$$h_2 = 0,5 \left[ D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i}(D - h_1)} \right],$$

$$h_2 = 0,5 \left[ 0,063 - \sqrt{0,063^2 - \frac{4 \cdot 0,008}{2,1}(0,063 - 0,008)} \right] = 0,0035 \text{ м} = 0,35 \text{ см}.$$

Таким чином, геометричні параметри черв'яка визначені. Розміри можна нанести на креслення (рисунок) черв'яка.

### Визначення продуктивності екструзійної машини

Продуктивність екструзійної машини  $Q$  прийнято визначати в технічних одиницях виміру  $[Q] = \frac{\text{см}^3}{\text{мін}}$ .

Вихідні дані:

- кількість заходів черв'яка .....  $\lambda = 1$ ;
- число обертів черв'яка .....  $n = 1,25 \text{ с}^{-1} = 75 \text{ об/хв.}$ ;
- зазор між гребенем черв'яка і циліндром .....  $\delta = 0,015 \text{ см}$ ;
- коефіцієнт форми для формуючого інструменту (голівки).....  $K = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$ .

Попередньо отримані дані:  $D = 6,3 \text{ см}$ ;  $L_H = 63 \text{ см}$ ;  $t = 6,5 \text{ см}$ ;  $e = 0,5 \text{ см}$ ;  
 $h_2 = 0,35 \text{ см}$ .

Визначальний і обмежувальний вплив на продуктивність машини має дозуюча зона черв'яка, у якій матеріал перебуває в стані розплаву. Тому розрахунок продуктивності екструзійної машини виконується по зоні дозування.

$$Q = \frac{\alpha K n}{K + \beta + \gamma},$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт прямого потоку розплаву;  $\beta$  – коефіцієнт зворотного потоку розплаву;  $\gamma$  – коефіцієнт потоку витоків розплаву в зазорі між черв'яком і циліндром корпусу;  $K$  – коефіцієнт форми для формуючого інструменту (голівки).

Знаходимо коефіцієнти, які входять в цю формулу.

Коефіцієнт прямого потоку розплаву:

$$\alpha = \frac{\pi(t - \lambda e)C}{A + t^2 B}.$$

де  $A, B, C$  – константи форми шнеку.

Для черв'яка з постійною глибиною каналу у зоні дозування ці константи розраховуються за залежностями:

$$A = \frac{\pi}{h_2^2} \left( \frac{D}{h_2} - 1 \right); \quad B = \frac{h_2 + D}{D^2 h_2^3}; \quad C = 1 + \frac{D^2}{2h_2^2}.$$

Числові значення (вихідні дані підставлено в сантиметрах):

$$A = \frac{\pi}{0,35^2} \left( \frac{6,3}{0,35} - 1 \right) = 435,76 \text{ см}^{-2}; \quad B = \frac{0,35 + 6,3}{6,3^2 \cdot 0,35^3} = 3,91 \text{ см}^{-4}; \quad C = 1 + \frac{6,3^2}{2 \cdot 0,35^2} = 163.$$

Тоді коефіцієнт прямого потоку розплаву матиме наступне значення:

$$\alpha = \frac{\pi(6,5 - 1 \cdot 0,5) \cdot 163}{435,76 + 6,5^2 \cdot 3,91} = 5,11 \text{ см}^2.$$

Коефіцієнт зворотного потоку розплаву:

$$\beta = \frac{\pi \cdot t \cdot (t - \lambda \cdot e)}{12 \cdot L_H \cdot (A + t^2 B)},$$

$$\beta = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot (6,5 - 1 \cdot 0,5)}{12 \cdot 63 \cdot (435,76 + 6,5^2 \cdot 3,91)} = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3.$$

Коефіцієнт потоку витoku розплаву в зазорі між черв'яком і циліндром корпусу машини визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{\pi \cdot D \cdot \delta^3 \cdot t^2}{10 \cdot e \cdot L_H \cdot \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}},$$

$$\gamma = \frac{\pi \cdot 6,3 \cdot 0,015^3 \cdot 6,5^2}{10 \cdot 0,5 \cdot 63 \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot 6,3^2 + 6,5^2}} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3$$

Визначаємо продуктивність екструдера у технічних одиницях виміру:

$$Q = \frac{5,11 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 75}{0,3 \cdot 10^{-3} + 0,27 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-6}} = 201,6 \frac{\text{см}^3}{\text{хв.}}$$

Продуктивність екструдера у одиницях виміру Сі:

$$Q = 201,6 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} = 3,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

Таким чином, продуктивність екструдера визначена.

### Визначення потрібної потужності приводного двигуна

Вихідні дані:

- константи степеневого закону в'язкості  $m = 0,43$ ;  $\mu_0(T) = 16200 \text{ Па} \cdot \text{с}^m$ ;
- ККД, що враховує втрати потужності в механічній частині, дисипативні втрати та інші..... $\eta = 0,4$ .

Попередньо отримані дані:  $\lambda = 1$ ;  $n = 1,25 \text{ c}^{-1}$ ;  $D = 0,063 \text{ м}$ ;  $L_H = 0,63 \text{ м}$ ;  
 $t = 0,065 \text{ м}$ ;  $e = 0,005 \text{ м}$ ;  $\delta = 0,00015 \text{ м}$ ;  $Q = 3,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $h_2 = 0,0035 \text{ м}$ ;  
 $K = 0,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ ;  $\alpha = 5,11 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Потужність приводного двигуна витрачається на зсувне деформування матеріалу, що перероблюється, у гвинтовому каналі черв'яка, у зазорі між гребнім черв'яка та циліндром корпусу та з інших втрат потужності:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta},$$

де  $N$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  – відповідно потужність приводного двигуна; потужність, що витрачається у зазорі між гребнім черв'яка та циліндром корпусу; потужність, що витрачається у гвинтовому каналі черв'яка;  $\eta$  – ККД, що враховує інші втрати потужності.

Для розрахунку  $N_1$  визначаємо швидкість зсуву для матеріалу, що знаходиться у зазорі між гребнім черв'яка та циліндром корпусу.

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}},$$

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2 0,063^2 \cdot 1,25}{0,00015 \cdot \sqrt{\pi^2 0,063^2 + 0,065^2}} = 164,99 \text{ c}^{-1}.$$

Ефективна в'язкість розплаву при цій швидкості зсуву буде складати:

$$\mu_1 = \mu_0(T) \cdot \left( \dot{\gamma}_1 \right)^{n-1},$$

$$\mu_2 = 16200 \cdot 164,99^{(0,43-1)} = 882,19 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Потужність, яка витрачається на подолання тертя маси у зазорі між гребенем черв'яка та корпусом визначаємо за рівнянням:

$$N_1 = \pi \frac{D^3 \cdot e \cdot L_H}{\delta \cdot t} \cdot \lambda \cdot \mu_1 \cdot n^2,$$

$$N_1 = \pi \frac{0,063^3 \cdot 0,005 \cdot 0,63}{0,00015 \cdot 0,065} \cdot 1 \cdot 882,19 \cdot 1,25^2 = 349,83 \text{ Вт}.$$

Для розрахунку  $N_2$  визначаємо швидкість зсуву для матеріалу, що знаходиться у гвинтовому каналі черв'яка за рівнянням:

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 (D - h_2)(D - 2h_2)n}{h_2 \sqrt{\pi^2 (D - 2h_2)^2 - t^2}},$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 (0,063 - 0,0035)(0,063 - 2 \cdot 0,0035) \cdot 1,25}{0,0035 \sqrt{\pi^2 (0,063 - 2 \cdot 0,0035)^2 - 0,065^2}} = 157,02 \text{ с}^{-1}.$$

Ефективна в'язкість розплаву при цій швидкості зсуву буде складати:

$$\mu_2 = \mu_0(T) \cdot \left( \dot{\gamma}_2 \right)^{n-1},$$

$$\mu_2 = 16200 \cdot 157,02^{(0,43-1)} = 900,75 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Потужність, яка витрачається на подолання тертя маси у гвинтовому каналі черв'яка визначаємо за рівнянням:



$$N_2 = \pi \frac{t-e}{t} (\pi^2 D^2 - 4h_2^2) \cdot \lambda \cdot L_H \cdot \mu_2 \cdot n^2 + \frac{\alpha}{K} \mu_2 \cdot Q \cdot n,$$

$$N_2 = \pi \frac{0,065 - 0,005}{0,065} (\pi^2 \cdot 0,063^2 - 4 \cdot 0,035^2) \cdot 1 \cdot 0,63 \cdot 900,75 \cdot 1,25^2 + \\ + \frac{5,11 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 10^{-9}} \cdot 900,75 \cdot 3,43 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 = 6588 \text{ Вт}$$

Потрібна потужність приводного двигуна:

$$N = (349,83 + 6588)/0,4 = 17344,6 \text{ Вт}$$

За розрахованим значенням  $N$  можна обрати відповідний двигун, який повинен забезпечити необхідну потужність.

### ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати розрахунок геометрії черв'яка. Визначити продуктивність машини. Визначити потрібну потужність приводного двигуна. Виконати рисунок черв'яка у вигляді ескізу. Вихідні дані згідно варіанту взяти з таблиці 1.

Таблиця 1. Вихідні дані

Варіант	$D$ , мм	$L/D$	$\delta$ , мм	$i$	$\lambda$	$n$ , с <sup>-1</sup>	$\eta$	$K$ , см <sup>3</sup>	$m$	$\mu_0(T)$ , Па·с <sup>m</sup>
1	32	30	0,2	2,2	2	1,2	0,38	$0,3 \cdot 10^{-3}$	0,33	16200
2	45	30	0,1	2,1	1	1	0,4	$0,33 \cdot 10^{-3}$	0,44	17300
3	63	30	0,15	2,4	1	1,3	0,4	$0,28 \cdot 10^{-3}$	0,45	14900
4	90	30	0,12	2,2	2	1,4	0,38	$0,19 \cdot 10^{-3}$	0,43	15200
5	125	30	0,1	2,1	1	1,35	0,4	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,47	16300
6	250	30	0,2	2,3	1	1,28	0,5	$0,32 \cdot 10^{-3}$	0,38	14700
7	32	25	0,2	2,1	2	1,6	0,5	$0,11 \cdot 10^{-3}$	0,6	15500
8	45	25	0,1	2,3	2	1,4	0,4	$0,18 \cdot 10^{-3}$	0,51	16200
9	63	25	0,15	2,3	2	1,6	0,38	$0,22 \cdot 10^{-3}$	0,37	15600
10	90	25	0,12	2,5	1	1,55	0,4	$0,31 \cdot 10^{-3}$	0,39	17000
11	125	25	0,1	2,5	2	0,9	0,38	$0,3 \cdot 10^{-3}$	0,4	17800
12	250	25	0,2	2,4	1	0,85	0,4	$0,33 \cdot 10^{-3}$	0,42	16700
13	32	20	0,125	2,4	1	1,7	0,5	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,36	17100
14	45	20	0,13	2,5	1	1,25	0,4	$0,29 \cdot 10^{-3}$	0,43	16000
15	90	20	0,14	2,6	2	1,15	0,38	$0,25 \cdot 10^{-3}$	0,46	16100
16	63	22	0,12	2,3	1	1,8	0,34	$0,27 \cdot 10^{-3}$	0,41	16000
17	45	22	0,18	2,3	1	1,9	0,4	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,48	16200
18	45	25	0,1	2,1	2	1,4	0,4	$0,29 \cdot 10^{-3}$	0,38	14700

Перелік позначень вихідних даних:

$D$  – діаметр черв'яка;

$\frac{L}{D}$  – відношення робочої довжини черв'яка до діаметра;

$i$  – ступінь стискування черв'яка;

$\lambda$  – кількість заходів черв'яка;

$n$  – кількість обертів черв'яка за секунду;

$\delta$  – зазор між гребенем черв'яка і циліндром;

$K$  – коефіцієнт форми для формуючого інструменту (голівки);

$m, \mu_0(T)$  – константи степеневого закону в'язкості;

$\eta$  – ККД, що враховує втрати потужності в механічній частині, дисипативні та інші втрати.

## ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

ДКР виконується студентом за рахунок часу СРС. Робота оформляється на листах формату А4, має перший лист, на якому вказано групу, прізвище і ініціали студента, варіант та зміст індивідуального завдання. Сторінки ДКР повинні мати нумерацію. Перший лист не нумерується. Робота виконується у рукописному або друкованому вигляді. Рисунок шнеку виконується на листі формату А4х2 з рамкою і кутовим штампом, у вигляді ескізу (від руки, без масштабу, з встановленням розмірів, основна лінія 1-2 мм, допоміжна лінія 0,5-0,7 мм).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович В. А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Машины и аппараты химических производств" и "Машины и технология переработки полимерных материалов в изделия и детали" - М: Химия, 1986. – 488 с., ил.
2. Сівецький В. І. Комп'ютерне проектування екструзійного полімерного устаткування. Навч. пос. К.: «Політехніка», 2003. – 184 с.
3. Сівецький В. І., Радченко Л. Б. Основи моделювання та конструювання червячних екструдерів. Навч. пос. К.: «Політехніка», 2002. – 164 с.

4. Торнер Р.В., Акутин М.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. М. Химия, 1986, 400 с.
5. Бартенъев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимеров. Учебное пособие для втузов. – М.: Высш. Школа, 1983. – 391 с.
6. Кривошей В.Н. и др. Справочник по полимерной упаковке. – К.: «Техника», 1982. – 132 с.
7. Соколов Р. С. Химическая технология / Уч. пособие. Том 2. М.: 2003
8. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Химия, 1978.
9. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Высш. шк., 1979.
10. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. М.: Химия, 1977.
11. Тугов И.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров. М.: Химия, 1989.
12. Энциклопедия полимеров. Т. 1-3. М.: Сов. энциклопедия, 1972-1978.
13. В.А. Пахаренко, Р.А. Яковлева, А.В. Пахаренко. Переработка полимерных композиционных материалов. К.: Воля, 2006. – 552 с.
14. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров. М: Химия, 1965. – 442 с.
15. Басов Н.И., Брой В. Техника переработки пластмасс. М: Химия, 1985. – 528 с.

#### Додаткова література

16. Гиберов З.Г. Механическое оборудование заводов пластмасс. М., Машиностроение, 1977.
17. Гиберов З. Г., Журавлев М. И. Оборудование заводов пластических масс. Атлас конструкций. - М: Машиностроение, 1973. С. 109, ил.
18. Гурвич С.Г. Ильяшенко Г.А., Свириденко С.Х. Машины для переработки термопластических материалов. М., Машиностроение, 1965.
19. Красовский В.Н., Вознесенский А.М. Сборник примеров и задач по технологии переработки полимеров. Учебное пособие. – Минск: Высшая школа, 1975, 313 с.
20. Лукач Р.Э., Петухов А.Д., Сенатос В.А., Оборудование для производства полимерных плёнок., М., Машиностроение, 1981., с. 222.
21. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Червячные машины для переработки пластмасс резиновых смесей. М., Машиностроение, 1965, 478 с.