

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13 РОЗРАХУНОК СИЛОВИХ ГВИНТІВ

### 1.1. Методичні вказівки до вирішення задач

Розрахунок силових гвинтів проводять за наступною методикою:

1) Призначають матеріали для виготовлення гвинта і гайки або приймають у відповідність із завданням.

2) Визначають допустимі напруження  $[\sigma_p]$ ,  $[\sigma_{зм}]$  для матеріалу гвинта,  $[\sigma_p]$ ,  $[\sigma_{зм}]$ ,  $[\tau_{зр}]$  – для матеріалу гайки.

Допустимі напруження  $[\sigma_p]$  на розтяг або стиск сталевих гвинтів обчислюють, призначаючи коефіцієнт запасу  $[s] = 2,5 \dots 3,0$ :

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{P} \cdot [s], \quad (5.1)$$

де  $\sigma_T$  – границя текучості основного металу.

Допустимі напруження для матеріалу гайки зазвичай приймають наступними:

– на зминання бронзової (чавунної) гайки по чавуну або сталі  $[\sigma_{зм}] = 42 \dots 55$  МПа;

– на розтяг: для бронзи  $[\sigma_p] = 34 \dots 44$  МПа, для чавуну  $[\sigma_p] = 20 \dots 24$  МПа.

3) Приймають допустимий тиск  $[q]$  між витками різі гвинта і гайки. Для пар тертя:

– сталь по чавуну  $[q] = 5 \dots 6$  МПа;

– сталь по бронзі  $[q] = 8 \dots 10$  МПа;

– загартована сталь по бронзі  $[q] = 10 \dots 12$  МПа.

4) Задаємося (якщо не задано в умові завдання) профілем різі і відносною робочою висотою профілю  $\psi_h$ , враховуючи величину і напрям осьового навантаження. Так для:

– прямокутної та трапецеїдальної різі  $\psi_h = 0,5$ ;

– для упорної  $\psi_h = 0,75$ ;

– для трикутної  $\psi_h = 0,541$ .

5) Вибираємо конструкцію гайки – суцільна, роз’ємна – і приймаємо коефіцієнт висоти гайки (**великі значення для різьби менших діаметрів**):

– для суцільних гайок  $\psi_H = 1,2 \dots 2,5$ ;

– для роз’ємних –  $\psi_H = 2,5 \dots 3,5$ .

6) Визначаємо середній діаметр різі з умови зносостійкості:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot [q]}}, \quad (5.2)$$

по якому підбирають найближчі стандартні значення параметрів різі – діаметри: внутрішній  $d_1$ , середній  $d_2$ , зовнішній  $d$ , крок  $P$ .

Різь, параметри якої визначені з розрахунку на зносостійкість, зазвичай має надлишковий запас міцності на зріз, тому гвинт і гайку на зріз не перевіряють.

7) Визначаємо кут підйому гвинтової лінії  $\psi$  і перевіряємо умову самогальмування:

$$\tan \psi = \frac{n \cdot P}{\pi \cdot d_2}, \quad (5.3)$$

$$\psi < \rho, \quad (5.4)$$

де  $n$  – число заходів різі;  $\rho = \tan^{-1} f$  – кут тертя;  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання (таблиця 5.1)

Таблиця 5.1.

#### Коефіцієнт тертя ковзання

Сталь по сталі (в маслі)	0,04 ... 0,05
Сталь по сталі або чавуну (насухо)	0,15 ... 0,18
Текстоліт, ретінакс по чавуну або сталі (насухо)	0,30 ... 0,35
Металокераміка по сталі (насухо)	0,30 ... 0,35
Сталь по бронзі (періодичне змащування)	0,08 ... 0,10

8) Визначаємо розрахункові та конструктивні розміри гайки:

а) висота гайки:

$$H_{\Gamma} = \psi_H \cdot d_2; \quad (5.5)$$

б) число витків гайки визначають, враховуючи нерівномірність розподілу осьового навантаження по виткам різі, витримуючи умову:

$$z = \frac{H_{\Gamma}}{P} \leq 10 \dots 12; \quad (5.6)$$

в) зовнішній діаметр  $D$  визначається з умови міцності гайки на розтяг та кручення:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot F_{\text{розр}}}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \leq [\sigma]_p, \quad (5.7)$$

де  $F_{\text{розр}} = 1,3 \cdot F$ ;  $d$  – зовнішній діаметр різі.

Звідси:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma_p]} + d^2}, \quad (5.8)$$

г) Діаметр бурта гайки:

$$D_B = (1,25 \dots 1,35) \cdot D. \quad (5.9)$$

9) Гвинт перевіряється на міцність. Цей розрахунок виконується як перевіірочний оскільки тіло гвинта одночасно піддається стиску (або розтягу) і крученню, то, згідно з енергетичною теорією, умова міцності гвинта записується так:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 3 \cdot \tau^2}. \quad (5.10)$$

тут

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{4F}{\pi \cdot d_1^2}, \quad (5.11)$$

де  $F$  – осьова сила;  $d_1$  – внутрішній діаметр різьби;

$$\tau = \frac{T_p}{0,2d_1^3}, \quad (5.12)$$

де  $T_p$  – момент сил у різі.

Наближено можна провести перевіірочний розрахунок гвинта на міцність за розрахунковою осьовою силою  $F_{\text{розр}} = 1,3 \cdot F$  за умовою:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{4F_{\text{розр}}}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma]_{\text{р}}, \quad (5.13)$$

10) Проводимо розрахунок гвинта на стійкість. Цей розрахунок також виконується як перевіірочний для працюючих на стиск довгих гвинтів. Умова стійкості має вигляд:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{4F}{\pi \cdot d_1^2} \leq \varphi \cdot [\sigma_{\text{ст}}], \quad (5.14)$$

Тут  $\varphi$  – коефіцієнт поздовжнього вигину, що залежить від матеріалу гвинта і гнучкості  $\lambda$  стрижня (таблиця 5.2). Гнучкість можна визначити за формулою:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i}, \quad (5.15)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт приведення довжини (для двохопорних гвинтів  $\mu = 1$ ; якщо опорною є гайка, то  $\mu = 2$ );  $l$  – розрахункова довжина гвинта (для двохопорних гвинтів – відстань між опорами; якщо опорною є гайка, то відстань від середини гайки до вільного кінця  $l = l_0 - \frac{H_{\Gamma}}{2}$ );  $i$  – радіус інерції перерізу (для гвинта) –  $i = \frac{d_1}{4}$ .

Таблиця 5.2.

**Коефіцієнт поздовжнього вигину**

$\lambda$	0	30	50	60	70	80	90	100	120	140	160
$\varphi$	1,00	0,91	0,86	0,82	0,76	0,70	0,62	0,51	0,37	0,29	0,24
	1,00	0,91	0,83	0,79	0,72	0,65	0,55	0,43	0,30	0,23	0,19

**Нижні значення  $\varphi$  відносяться до сталей підвищеної якості.**

11) Визначаємо довжину рукоятки. Зусилля, що прикладається до рукоятки гвинтового механізму, має забезпечувати подолання моменту сил тертя в різі:

$$T_{\text{р}} = F \cdot \tan(\psi + \rho) \frac{d_2}{2}. \quad (5.16)$$

Довжину рукоятки визначаємо з рівності моментів сили тертя у різі та зусилля, прикладеного до рукоятки, прийнявши при цьому зусилля робітника на рукоятку  $F_{\text{р}} = 200$  Н, тоді  $T_{\text{р}} = l_{\text{р}} \cdot F_{\text{р}}$ , звідки:

$$l_{\text{р}} = \frac{T_{\text{р}}}{F_{\text{р}}}. \quad (5.17)$$

## 1.2. Приклад розв'язування задач

Розрахувати основні параметри ручного домкрата (рис. 5.1) вантажопідйомністю  $Q = 50$  кН. Довжина гвинта  $l_0 = 500$  мм, його матеріал – сталь 45, матеріал гайки – сірий чавун СЧ18. Різь трапецеїдальна.

### Розв'язок:

#### 1. Розрахунок гвинта

1.1. Вага вантажу  $Q$  стискає гвинт таким же по величині зусиллям, тобто  $F = Q$ . Для забезпечення самогальмування обираємо однозахідну нарізь.

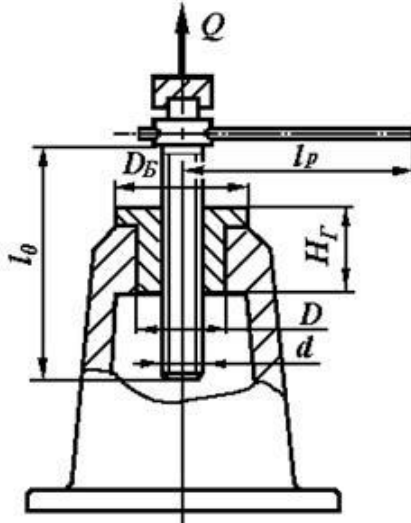


Рисунок 5.1. Ручний домкрат

1.2. За умовою зносостійкості (5.2) різі визначаємо її середній діаметр  $d_2$ , прийнявши  $\psi_h = 0,5$ ,  $\psi_H = 2,5$ ; допустимий тиск у різі  $[q] = 6$  МПа (див. пункти 3, 4, 5):

$$d_2 = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot q}} = \sqrt{\frac{50 \cdot 10^3}{\pi \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 6}} = 46 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартну трапецеїдальну (за завданням) нарізь гвинта з параметрами (ГОСТ 24737-81): зовнішній діаметр  $d = 50$  мм, внутрішній діаметр  $d_1 = 41$  мм, середній діаметр  $d_2 = 46$  мм, крок нарізі  $P = 8$  мм.

1.3. Визначаємо кут підйому різі  $\psi$  на середньому діаметрі (5.3) і перевіряємо наявність самогальмування (5.4), прийнявши за таблицею 5.1 коефіцієнт тертя  $f = 0,15$  (кут тертя  $\rho = 8,53^\circ$ )

$$\tan \psi = \frac{n \cdot P}{\pi \cdot d_2} = \frac{1 \cdot 8}{\pi \cdot 46} = 0,0546$$

тоді

$$\psi \approx 3,17^\circ.$$

**Умову самогальмування дотримано, так як  $\rho > \psi$ .**

1.4. Перевірка гвинта на міцність. Допустиме напруження на розтяг  $[\sigma_p] = 90$  МПа, визначаємо напруження (5.7):

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot F_{\text{розр}}}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 1,3 \cdot 50 \cdot 10^3}{\pi \cdot 41^2} = 48,6 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 90 \text{ МПа}$$

**Міцність гвинта забезпечена.**

1.5. Перевірка гвинта на стійкість. Розрахункова довжина гвинта  $l_p$  (при висоті гайки (5.5)  $H_{\Gamma} = \psi_H \cdot D_2 = 2,5 \cdot 46 = 115$  мм) дорівнює:

$$l_p = l_0 - \frac{H_{\Gamma}}{2} = 500 - \frac{115}{2} \approx 443 \text{ мм.}$$

Тоді гнучкість гвинта (при  $\mu = 2$ ;  $i = \frac{d_1}{4} = \frac{41}{4} = 10,25$  мм) буде дорівнювати (5.15):

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l_p}{i} = \frac{2 \cdot 443}{10,25} \approx 85$$

1.6. По таблиці 5.2 знаходимо коефіцієнт поздовжнього вигину  $\varphi = 0,6$ .

Тоді, прийнявши по (5.1):

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[s]} = \frac{360}{3} = 120 \text{ МПа}$$

матимемо по (5.14):

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{4F}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 50 \cdot 10^3}{\pi \cdot 41^2} = 37,4 \text{ МПа} \leq \varphi \cdot [\sigma_{\text{ст}}] = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ МПа}$$

**Стійкість гвинта забезпечена.**

## 2. Розрахунок гайки:

2.1. Визначимо зовнішній діаметр  $D$  гайки по формулі (5.8), прийнявши  $[\sigma_p] = 22$  МПа, тоді:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma_p]} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 50 \cdot 10^3}{\pi \cdot 22} + 50^2} = 79,1 \text{ мм}$$

Приймаємо  $D = 80$  мм.

2.2. Діаметр бурта  $D_B$  визначаємо за емпіричною залежністю (5.9):

$$D_B = 1,35D = 1,35 \cdot 80 = 108 \text{ мм}$$

Приймаємо  $D_B = 110$  мм.

2.3. Виконаємо перевірку бурту на зминання:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (D_B^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 50 \cdot 10^3}{\pi \cdot (110^2 - 80^2)} = 11,17 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 90 \text{ МПа}$$

## 3. Розрахунок рукоятки:

3.1. Визначаємо момент сил тертя в нарізі по формулі (5.16):

$$T_P = F \cdot \tan(\psi + \rho) \frac{d_2}{2} = 50 \cdot 10^3 \cdot \tan(3,17^\circ + 8,53^\circ) \frac{46}{2} = 238153 \text{ Нмм}$$

3.2. Розраховуємо довжину рукоятки за формулою (5.17):

$$l_p = \frac{T_P}{F_P} = \frac{238153}{200} = 1191 \text{ мм}$$

Приймаємо довжину рукоятки рівною 1190 мм.

### 1.3. Завдання для самостійної роботи

#### Задача № 1

Розрахувати гвинт, гайку, а також розміри рукоятки ручного преса (рис. 5.2). На прес діє сила  $Q$ . Зусилля на рукоятці прийняти рівним 200 Н.

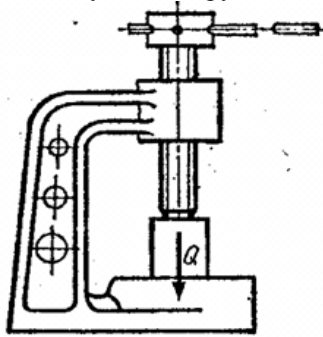


Рисунок 5.2. Ручний прес

Таблиця 5.3.

#### Вихідні дані для задачі № 1

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q$ , кН	15	20	25	28	32	36	40	45	48	50
Профіль нарізі	Трапецеїдальна					Прямокутна				

#### Задача № 2

Розрахувати гвинт і гайку механізму відведення (рис. 5.3). На гайку діє сила  $2P$ . Довжина гвинта  $l$ .

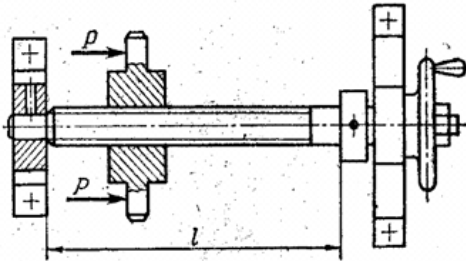


Рисунок 5.3. Механізм відведення

Таблиця 5.4.

#### Вихідні дані для задачі № 2

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P$ , кН	6	7	8	9	9,5	10	11	12	13	14
$l$ , м	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,4
Профіль нарізі	Трапецеїдальна					Прямокутна				

### Задача № 3

Розрахувати гвинт і гайку знімача (рис. 5.4). Сила тиску на гвинт  $Q$ . Визначити довжину рукоятки  $l$ , якщо зусилля, яке на її кінці 200 Н.

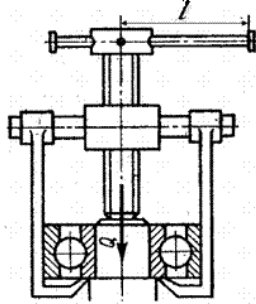


Рисунок 5.4. Знімач

Таблиця 5.5.

#### Вихідні дані для задачі № 3

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q$ , кН	7	8	11	14	17	20	23	26	3	35
Профіль нарізі	Трапецеїдальна					Прямокутна				

### Задача № 4

Розрахувати гвинт, гайку і рукоятку самогальмівного домкрата (рис. 5.5) вантажопідйомністю  $Q$  і висотою підйому вантажу  $h$ . Зусилля на рукоятці прийняти 300 Н.

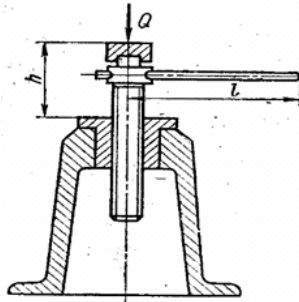


Рисунок 5.5. Самогальмівний домкрат

Таблиця 5.6.

#### Вихідні дані для задачі № 4

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q$ , кН	20	24	28	32	36	40	44	48	52	55
$h$ , м	0,35	0,45	0,55	0,50	0,55	0,65	0,60	0,55	0,45	0,35
Профіль нарізі	Упорна			Прямокутна			Трапецеїдальна			