

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий механічний інститут  
Кафедра будівельних, дорожніх, меліоративних,  
сільськогосподарських машин і обладнання

**02-01-524М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт  
«Проектування і розрахунок на міцність металевих  
конструкцій балкового типу» з навчальної дисципліни  
«Проектування металоконструкцій машин»  
для здобувачів вищої освіти  
першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою  
«Створення та експлуатації машин і обладнання»  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною  
радою з якості ННМІ  
Протокол № 1  
від 07.09.2022 року

Рівне – 2022

Методичні вказівки до виконання практичних робіт «Проектування і розрахунок на міцність металевих конструкцій балкового типу» з навчальної дисципліни «Проектування металоконструкцій машин» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Створення та експлуатації машин і обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Нечидюк А. А. – Рівне : НУВГП, 2022. – 18 с.

Укладач: Нечидюк А. А., к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання.

Відповідальна за випуск: Налобіна О. О., д.т.н., професор, в.о. завідувача кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Нечидюк А. А., к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання.

© А. А. Нечидюк, 2022  
© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2022

## Проектування і розрахунок на міцність металевих конструкцій балкового типу

### Проектування і розрахунок рукояті одноківшевого канатного екскаватора з прямою лопатою

1. Мета роботи: спроектувати і розрахувати на міцність рукоять одноківшевого екскаватора з прямою лопатою у першому розрахунковому положенні.

#### 1.1. Вихідні дані

Варіанти	Місткість ковша, м <sup>3</sup>	Ґрунт
1	1,25	пісок
2	0,65	супісок
3	0,8	суглинок
4	1,0	глина
5	1,4	пісок
6	1,6	супісок
7	1,8	суглинок
8	2,0	глина
9	2,2	пісок
10	2,3	супісок
11	2,5	суглинок
12	2,8	глина
13	3,2	пісок
14	0,63	суглинок
15	1,25	глина

## 1.2. Послідовність розрахунку

1. Визначити силу тяжіння екскаватора та металевих конструкцій.
2. Визначити розміри ковша і рукояті і зобразити розрахункову схему.
3. Визначити складові сили різання.
4. Визначити зусилля в канаті підйому ковша.
5. Визначити внутрішні силові фактори в поперечному перерізі рукояті.
6. Визначити напруження в поперечному перерізі рукояті.

## 1.3. Розрахунки

Спроекуємо металеві конструкції екскаватора з місткістю ковша  $V=0,5 \text{ м}^3$ , який розробляє суглинок.

### 1.3.1. Визначення сил тяжіння екскаватора та металевих конструкцій

Силу тяжіння  $G$  екскаватора (рис.1), що проектується, можна визначити за прототипом із співвідношення [1]:

$$G = \frac{V}{V_{пр}} G_{пр}, \text{ кН}, \quad (1.1)$$

де  $G$  і  $V$  – сила тяжіння машини і місткість ковша екскаватора, що проектується;  $G_{пр}$  і  $V_{пр}$  – сила тяжіння машини і місткість ковша екскаватора прототипу.

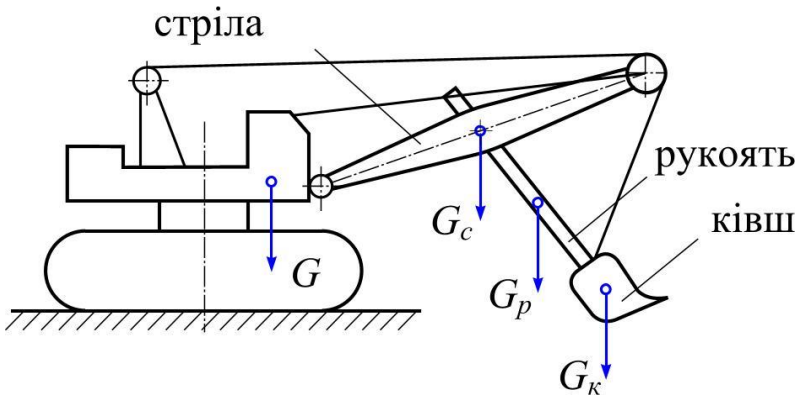


Рис.1. Одноківшевий канатний екскаватор з робочим обладнанням пряма лопата

Також силу тяжіння екскаватора можна визначити за емпіричною формулою [1]:

$$G = 213 \cdot V + 19. \quad (1.2)$$

$$G = 213 \cdot V + 19 = 213 \cdot 0,5 + 19 = 125,5 \text{ кН}.$$

Прийmemo  $G = 130 \text{ кН}$ .

Силу тяжіння металевих конструкцій екскаватора можна визначити за наступними формулами.

Сила тяжіння ковша, кН, залежить від його місткості і для легких ґрунтів становить

$$G_k = (7 \dots 12) \cdot V, \quad (1.3)$$

для середніх ґрунтів:

$$G_k = (9 \dots 17) \cdot V, \quad (1.4)$$

а для міцних ґрунтів

$$G_k = (11 \dots 21) \cdot V. \quad (1.5)$$

У формулах (1.3)...(1.5) місткість ковша  $V$  треба виражати в  $\text{м}^3$ .

Суглинок відноситься до середніх ґрунтів, отже сила тяжіння ковша визначаємо за формулою (1.4):

$$G_K = (9...17) \cdot V = 13 \cdot 0,5 = 6,5 \text{ кН.}$$

Силу тяжіння стріли та рукояті для будівельних екскаваторів визначають через силу тяжіння ковша за такими співвідношеннями :

$$G_C = (1,35...1,40) \cdot G_K, \quad G_P = (0,4...0,45) \cdot G_K. \quad (1.6)$$

Сила тяжіння стріли за формулою (1.6)

$$G_C = (1,35...1,4) \cdot G_K = 1,4 \cdot 6,5 = 9,1 \text{ кН.}$$

Сила тяжіння рукояті за формулою (1.6)

$$G_P = (0,4...0,45) \cdot G_K = 0,45 \cdot 6,5 = 2,9 \text{ кН.}$$

Для кар'єрних екскаваторів:

$$G_C = (1,45...1,60) \cdot G_K, \quad G_P = (0,45...0,5) \cdot G_K \quad (1.7)$$

### 1.3.2. Визначення розмірів ковша і рукояті

Ширину ковша визначають за наближеною формулою:

$$B = 1,2 \cdot \sqrt[3]{V}. \quad (1.8)$$

Отже,

$$B = 1,2 \cdot \sqrt[3]{V} = 1,2 \cdot \sqrt[3]{0,5} = 0,9 \text{ м.}$$

Довжину ковша визначають за наближеною формулою:

$$R_K = 1,13 \cdot \sqrt[3]{V}. \quad (1.9)$$

Таким чином,

$$R_K = 1,13 \cdot \sqrt[3]{V} = 1,13 \cdot \sqrt[3]{0,5} = 0,9 \text{ м.}$$

Інші лінійні розміри металевих конструкцій екскаватора знаходимо за формулою:

$$l_i = k_i \cdot \sqrt[3]{m}, \quad (1.10)$$

де  $l_i$  – розмір, що визначають, м;  $k_i$  – коефіцієнт, який вибирають з таблиці 1.1;  $m = G/g$  – маса екскаватора, т.

Таблиця 1.1

Значення коефіцієнта  $k_i$

Параметри	Екскаватори (місткість ковша, м <sup>3</sup> )		
	будівельні		кар'єрні
	0,1...1,75	2...5	2...8
Довжина стріли	2,1...2,0	2,0...1,9	1,8...1,85
Довжина рукояті	1,6...1,5	1,5...1,4	1,19...1,21
Висота напірного валу	1,3...1,10	1,25...1,15	1,10...1,12
	для стріли		
Висота перерізу стріли:			
максимальна	0,1...0,11	0,071...0,100	0,087...0,095
біля голови	0,05...0,055	0,048...0,053	0,050...0,053
біля основи	0,056...0,067	0,056...0,067	0,053...0,083
Ширина стріли при рукояті			
зовнішня	0,083...0,10	0,083...0,091	0,091...0,100
внутрішня	0,043...0,053	0,042...0,050	0,050...0,055
	для рукояті		
Висота перерізу рукояті біля кінцевого шарніра	0,062...0,071	0,056...0,067	0,056...0,062
Ширина балок рукояті	0,022...0,025	0,022...0,025	0,022...0,025

Довжину рукояті та стріли визначаємо за формулою (1.10):

$$l_p = k_i \cdot \sqrt[3]{m} = 1,55 \cdot \sqrt[3]{13,3} = 3,7 \text{ м,}$$

$$l_c = k_i \cdot \sqrt[3]{m} = 2,05 \cdot \sqrt[3]{13,3} = 4,9 \text{ м,}$$

де  $k_i = 1,55$  – коефіцієнт з табл. 1.1;

$$m = \frac{G}{g} = \frac{130}{9,81} = 13,3 \text{ т} - \text{маса екскаватора.}$$

Стрілу і рукоять виготовляють з листової сталі завтовшки 8...12 мм за допомогою електрозварювання; вони мають коробчастий переріз (рис. 2). Між розмірами поперечного перерізу стріли і рукояті та їх довжинами існують такі закономірності:

для стріли

$$b_c = k_i \cdot l_c, \quad h_c = k_i \cdot l_c; \quad (1.11)$$

для рукояті

$$b_p = k_i \cdot l_p, \quad h_p = k_i \cdot l_p, \quad (1.12)$$

де  $b$  і  $h$  – розміри поперечного перерізу;  $l_c$  і  $l_p$  – довжина стріли і рукояті;  $k_i$  – коефіцієнт, який вибирають відповідно до параметру, що розраховується, з табл. 1.1.

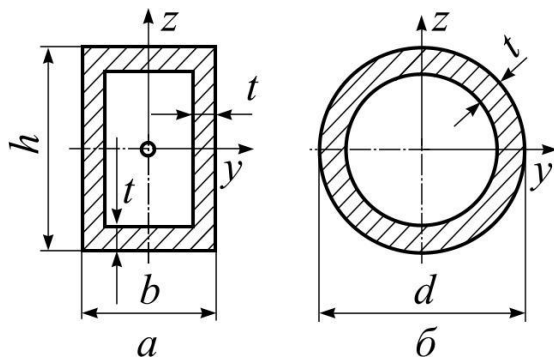


Рис. 2. Переріз стріли, рукояті одноківшевого екскаватора

Розміри поперечного перерізу рукояті визначають за формулами (1.12). Приймаємо поперечний переріз рукояті у вигляді порожнистого прямокутника (див. рис. 2, а).

Ширина перерізу рукояті:



$$b_p = k_i \cdot l_p = 0,024 \cdot 370 = 8,88 \text{ см.}$$

Приймаємо  $b_p = 20 \text{ см.}$

Висота перерізу рукояті:

$$h_p = k_i \cdot l_p = 0,065 \cdot 370 = 24,05 \text{ см.}$$

Беремо  $h_p = 30 \text{ см.}$  У процесі розрахунків на міцність розміри  $b_p$ ,  $h_p$  уточнюються. Товщину стінок візьмемо  $t = 1 \text{ см.}$

### 1.3.3. Визначення складових сили різання

Основними розрахунковими зусиллями для металевих конструкцій екскаватора будуть сили різання ґрунту зубами ковша. Силу різання розкладають на дотичну  $F_{\partial}$  і нормальну  $F_n$  складові (рис. 3).

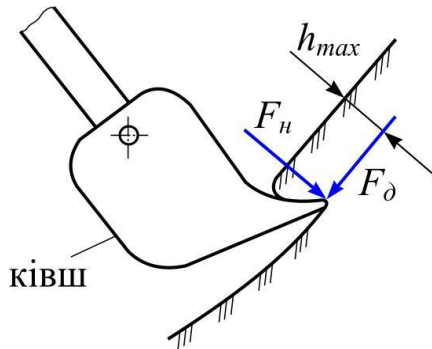


Рис.3. Сили, що діють на ківш одноківшевого екскаватора

Дотичну складову визначаємо за формулою Домбровського:

$$F_{\partial} = kBh_{max}, \quad (1.13)$$

де  $k$  – питомий опір ґрунту, що залежить від його категорії (табл. 1.2);  $B$  – ширина ковша;  $h_{max}$  – найбільша товщина шару ґрунту, що зрізується зубами ковша. Її можна визначити за формулою:

$$h_{max} = \frac{V}{B \cdot H_H \cdot k_p}, \quad (1.14)$$

де  $V$  – місткість ковша екскаватора, що проектується;  $H_H$  – висота напірного валу, визначається за формулою (1.9);  $k_p$  – коефіцієнт розпушення ґрунту (для піску  $k_p = 1,10 \dots 1,15$ , для супіску  $k_p = 1,18 \dots 1,25$ , для суглинку  $k_p = 1,2 \dots 1,4$ , для глини  $k_p = 1,2 \dots 1,32$ ).

Товщина шару ґрунту не перевищує 15...20 см.

Нормальну складову сили різання визначають через дотичну складову сили різання за формулою

$$F_H = \psi \cdot F_D, \quad (1.15)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт пропорційності;  $\psi = 0,1 \dots 0,6$ . Більше значення коефіцієнта відповідає початку копання.

Таблиця 1.2  
Питомий опір ґрунту  $k$ , (Нм/м<sup>3</sup>)

Питомий опір ґрунту	Категорія ґрунту			
	I	II	III	IV
$k$	$(1 \dots 2) \cdot 10^5$	$(2 \dots 3) \cdot 10^5$	$(3 \dots 4) \cdot 10^5$	$(4 \dots 6) \cdot 10^5$

Найбільшу товщину шару ґрунту, що зрізується зубами ковша визначаємо за формулою (1.14):

$$h_{max} = \frac{V}{B \cdot H_H \cdot k_p} = \frac{0,5}{0,9 \cdot 2,8 \cdot 1,3} = 0,15 \text{ м.}$$

Тут  $H_H = 1,2 \cdot \sqrt[3]{13,3} = 2,8 \text{ м}$  – висота напірного валу;  $k_p = 1,3$  – коефіцієнт розпушення для суглинку.

Дотичну складову сили різання визначаємо за формулою (1.13):

$$F_D = kBh_{max} = 3 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 0,15 = 40,5 \cdot 10^3 \text{ Н} = 40,5 \text{ кН},$$

де  $k = 3 \cdot 10^5 \text{ Нм/м}^3$  – питомий опір для суглинку (II категорія, табл. 1.2).

Нормальну складову сили різання (формула 1.14):

$$F_n = \psi \cdot F_d = 0,5 \cdot 40,5 = 20,25 \text{ кН},$$

де  $\psi = 0,5$  – коефіцієнт пропорційності.

Бокове навантаження  $F_{бок}$  у розрахунках можна брати:

$$F_{бок} = 0,6 \cdot F_n = 0,6 \cdot 20,25 = 12,15 \text{ кН}.$$

#### 1.3.4. Визначення зусилля в канаті підйому ковша

Розрахунок рукояті на міцність виконаємо для першого розрахункового положення. У цьому положенні рукоять завершує копання. Стріла нахилена до горизонту під кутом  $45^\circ$ , рукоять максимально висунута і займає горизонтальне положення, а канати підйому ковша займають вертикальне положення. При цьому складові зусиль досягають максимальних значень і ківш повністю заповнений ґрунтом. Перше розрахункове положення зображене на рис. 4.

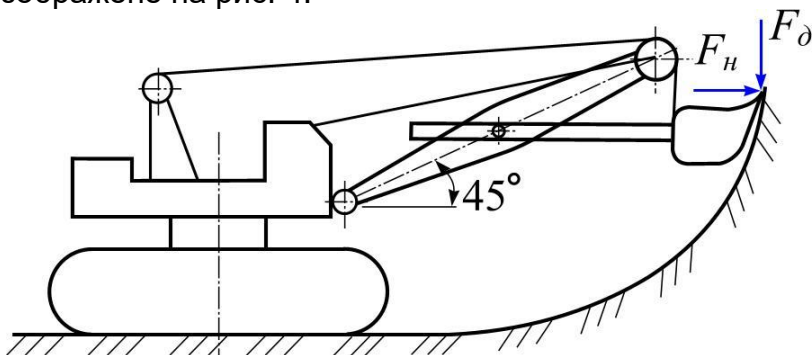


Рис.4. Перше розрахункове положення одноківшевого канатного екскаватора з прямим ковшем

Розрахункову схему рукояті в першому розрахунковому положенні і діючі сили наведено на

рис. 5. При розрахунку розглянуто найбільш невідгнене навантаження, коли діючі зусилля сприймає крайній зуб ковша за наявності бокової сили.

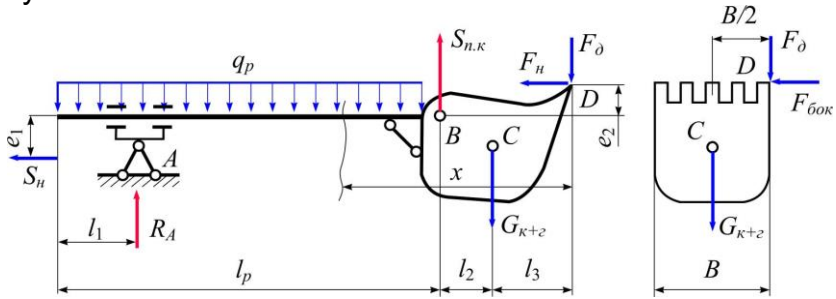


Рис.5. Розрахункова схема рукояті в першому розрахунковому положенні

На рукоять діють такі зовнішні сили:  $F_{\delta}$  та  $F_{\text{н}}$  – дотична та нормальна складові сили різання;  $F_{\text{бок}}$  – бокова сила;  $G_{\text{к+з}} = G_{\text{к}} + G_{\text{з}}$  – сила тяжіння ковша з ґрунтом;  $q_p$  – розподілене навантаження від сили тяжіння рукояті;  $S_{\text{пк}}$  – зусилля в канаті підйому ковша.

Сила тяжіння ґрунту в повністю заповненому ковші визначають за формулою

$$G_{\text{з}} = \gamma \cdot V, \quad (1.16)$$

де  $\gamma$  – питома вага ґрунту,  $\text{кН/м}^3$  (для піску  $\gamma = 19,4 \text{ кН/м}^3$ , для супіску  $\gamma = 20,5 \text{ кН/м}^3$ , для суглинку  $\gamma = 21,0 \text{ кН/м}^3$ , для глини  $\gamma = 21,5 \text{ кН/м}^3$ ).

Сила тяжіння суглинку в ковші місткістю  $0,5 \text{ м}^3$  становить  $G_{\text{з}} = \gamma \cdot V = 21 \cdot 0,5 = 10,5 \text{ кН}$ .

Зусилля в канаті підйому ковша визначається з рівняння рівноваги рукояті (рис.5):

$$\begin{aligned} \Sigma M_A = & -F_{\delta}(l_p + l_2 + l_3 - l_1) - F_{\text{н}}(e_1 + e_2) - G_{\text{к+з}}(l_p + l_2 - l_1) - \\ & - \frac{q_p(l_p - l_1)^2}{2} + \frac{q_p l_1^2}{2} + S_{\text{пк}}(l_p - l_1) = 0, \end{aligned} \quad (1.17)$$

звідки

$$S_{нк} = \frac{F_{\partial}(l_p + l_2 + l_3 - l_1) - F_H(e_1 + e_2) - G_{к+г}(l_p + l_2 - l_1)}{(l_p - l_1)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{q_p(l_p - l_1)^2}{2} - \frac{q_p l_1^2}{2} \quad (1.18)$$

Усі сили, що входять у формулу (1.18), розраховані вище.

Отже, зусилля в канаті підйому ковша для першого розрахункового положення визначаємо із рівняння (1.18).

$$S_{нк} = \frac{F_{\partial}(l_p + l_2 + l_3 - l_1) - F_H(e_1 + e_2) - G_{к+г}(l_p + l_2 - l_1)}{(l_p - l_1)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{q_p(l_p - l_1)^2}{2} - \frac{q_p l_1^2}{2} = \frac{40,5(3,7 + 0,36 + 0,54 - 1,57) - 20,25(0,3 + 0,3)}{3,7 - 1,57} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{-17(3,7 + 0,36 - 1,57) + \frac{0,78(3,7 - 1,57)^2}{2} - \frac{0,78 \cdot 1,57^2}{2}}{2} = 83,57 \text{ кН},$$

де  $G_{к+г} = G_k + G_g = 6,5 + 10,5 = 17$  кН – сила тяжіння ковша з ґрунтом;  $q_p = \frac{G_p}{l_p} = \frac{2,9}{3,7} = 0,78 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$  –

розподілена вага рукояті;

$$l_1 = l_p - \left( \frac{l_c}{2} + \frac{d_{гб}}{2 \cdot \cos \frac{\pi}{4}} \right) \cdot \cos \frac{\pi}{4} = l_p - \left( \frac{l_c}{2} \cos \frac{\pi}{4} + \frac{d_{гб}}{2} \right),$$

де  $d_{гб}$  – діаметр головного блока стріли,  
 $d_{гб} = \frac{l_c}{(8...5)} = \frac{4,9}{(8...5)} = 0,6...0,98$  м (менші значення

приймають для будівельних і будівельно-кар'єрних екскаваторів, більші – для важких кар'єрних екскаваторів). Прийmemo  $d_{\text{еб}} = 0,8$  м;

$$l_1 = 3,7 - \left( \frac{4,9}{2} \cos 45^\circ + \frac{0,8}{2} \right) = 1,57 \text{ м}; \quad l_2 = 0,4 R_{\text{к}},$$

$$l_2 = 0,4 \cdot 0,9 = 0,36 \text{ м}; \quad l_3 = 0,6 R_{\text{к}}, \quad l_3 = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54 \text{ м};$$

$e_1 = e_2 = 0,3$  м – розміри, які приймаємо з конструктивних міркувань.

### 1.3.5. Визначення внутрішніх силових факторів у поперечному перерізі рукояті

Із розрахункової схеми (рис. 5) видно, що рукоять піддається стисканню, згинанню у вертикальній і горизонтальній площинах і закручуванню.

Згинальний момент, що діє у вертикальній площині, в довільному перерізі

$$M_{\text{зг}}^{\text{веп}} = -F_0 \cdot x - F_n \cdot e_2 - G_{\text{к+з}}(x - l_3) + S_{\text{нк}}(x - l_2 - l_3) - \frac{q_p(x - l_2 - l_3)^2}{2}, \quad (1.19)$$

де  $(l_2 + l_3) \leq x \leq (l_p - l_1 + l_2 + l_3)$ , або  $0,9 \leq x \leq 3,03$  м.

Згинальний момент, що діє у горизонтальній площині:

$$M_{\text{зг}}^{\text{гоп}} = F_{\text{бок}} \cdot x - F_n \frac{B}{2} \quad (1.20)$$

Щоб знайти небезпечний переріз, треба побудувати епюри згинальних моментів і визначити максимальні значення.

Визначаємо значення згинального моменту, що діє у вертикальній площині за формулою (1.19) у найбільш характерних точках.

При  $x = 0,54$  м.

$$M_{32}^{6ep} = -40,5 \cdot 0,54 - 20,25 \cdot 0,3 = -27,95 \text{ кНм};$$

При  $x = 0,9 \text{ м}$ .

$$M_{32}^{6ep} = -40,5 \cdot 0,9 - 20,25 \cdot 0,3 - 17 \cdot 0,36 = -48,65 \text{ кНм};$$

При  $x = 1,97 \text{ м}$ .

$$M_{32}^{6ep} = -40,5 \cdot 1,97 - 20,25 \cdot 0,3 - 17 \cdot 1,43 + 83,57 \cdot 1,07 - 0,5 \cdot 0,78 \cdot 1,07^2 = -21,19 \text{ кНм};$$

При  $x = 3,03 \text{ м}$ .

$$M_{32}^{6ep} = -40,5 \cdot 3,03 - 20,25 \cdot 0,3 - 17 \cdot 2,49 + 83,57 \cdot 2,13 - 0,5 \cdot 0,78 \cdot 2,13^2 = 5,11 \text{ кНм};$$

При  $x = 0 \text{ м}$ .

$$M_{32}^{6ep} = -20,25 \cdot 0,3 = -6,08 \text{ кНм};$$

Найбільше значення вертикального згинального моменту буде на відстані  $x = 0,9 \text{ м}$ .

Визначаємо значення згинального моменту, що діє у горизонтальній площині за формулою (1.20) у найбільш характерних точках.

При  $x = 0,9 \text{ м}$ .

$$M_{32}^{2op} = 12,15 \cdot 0,9 + 20,25 \cdot 0,9/2 = 20,05 \text{ кНм}.$$

Найбільше значення горизонтального згинального моменту при  $x = 3,03 \text{ м}$ .

$$M_{32}^{2op} = 12,15 \cdot 3,03 + 9,11 = 45,93 \text{ кНм};$$

Будуємо епюри згинальних моментів.

Крутний момент для рукояті:

$$M_{\kappa} = F_{\partial} \frac{B}{2} - F_{\partial \text{ок}} e_2 = 40,5 \cdot \frac{0,9}{2} - \tag{1.21}$$

$$-12,15 \cdot 0,3 = 14,58 \text{ кНм}$$

Поздовжня сила в поперечному перерізі рукояті:

$$N = F_{\text{н}} = 20,25 \text{ кН} \tag{1.22}$$

### 1.3.6. Визначення напружень у поперечному перерізі рукояті

Нормальні напруження в поперечному перерізі

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{3z}^{zop}}{W_z} \pm \frac{M_{3z}^{верр}}{W_y}, \quad (1.23)$$

де  $A$  – площа поперечного перерізу рукояті,  
 $A = b_p h_p - (b_p - 2t)(h_p - 2t) = 20 \cdot 30 - (20 - 2 \cdot 1)(30 - 2 \cdot 1) = 96 \text{ см}^2$ .

$W_z$  та  $W_y$  – моменти опору поперечного перерізу рукояті відносно горизонтальної і вертикальної осей;  
 $M_{3z}^{zop}$  та  $M_{3z}^{верр}$  – згинальні моменти, що діють у вертикальній і горизонтальній площинах.

Визначаємо моменти опору поперечного перерізу рукояті:

відносно осі  $y$

$$W_y = \frac{I_y}{0,5h_p} = \frac{12072}{0,5 \cdot 30} = 804,8 \text{ см}^3 \quad (1.24)$$

$$\text{де } I_y = \frac{b_p h_p^3}{12} - \frac{(b_p - 2t)(h_p - 2t)^3}{12} = \frac{20 \cdot 30^3}{12} - \frac{18 \cdot 28^3}{12} = 12072 \text{ см}^4 \quad (1.25)$$

відносно осі  $z$

$$W_z = \frac{I_z}{0,5b_p} = \frac{6392}{0,5 \cdot 20} = 639,2 \text{ см}^3 \quad (1.26)$$

$$\text{де } I_z = \frac{h_p b_p^3}{12} - \frac{(h_p - 2t)(b_p - 2t)^3}{12} = \frac{30 \cdot 20^3}{12} - \frac{28 \cdot 18^3}{12} = 6392 \text{ см}^4 \quad (1.27)$$



Нормальні напруження визначаємо за формулою (1.23)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{20,25 \cdot 10^3}{96 \cdot 10^{-4}} + \frac{20,05 \cdot 10^3}{639,2 \cdot 10^{-6}} + \frac{48,65 \cdot 10^3}{804,8 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 93,9 \cdot 10^6 \frac{H}{m^2} = 93,9 МПа\end{aligned}$$

Дотичні напруження при крученні для закритого профілю

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{M_{кр}}{2 \cdot \Omega \cdot t} = \frac{14,58 \cdot 10^3}{2 \cdot 551 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 13,2 \cdot 10^6 \frac{H}{m^2} \\ &= 13,2 МПа\end{aligned} \quad (1.28)$$

де  $\Omega = (b_p - t)(h_p - t) = (20 - 1)(30 - 1) = 551 \text{ см}^2$  – площа, що окреслює радіус-вектор.

Визначаємо еквівалентні напруження за четвертою теорією міцності

$$\begin{aligned}\sigma_{еквIV} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{93,9^2 + 3 \cdot 13,2^2} = \\ &= 96,6 МПа\end{aligned} \quad (1.29)$$

З урахуванням динамічної сили напруження в рукояті

$$\sigma_\delta = k_\delta \cdot \sigma_{еквIV} = 1,5 \cdot 96,6 = 145 МПа \quad (1.30)$$

де  $k_\delta = 1,5$  – динамічний коефіцієнт.

Рукоять виготовлено зі сталі Ст5, для якої границя текучості  $\sigma_m = 270 МПа$  [2, табл. 8.1].

Допустиме напруження для Ст5

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{k_m} = \frac{270}{1,5} = 180 МПа, \quad (1.31)$$

де  $k_m = 1,5$  – коефіцієнт запасу міцності відносно границі текучості.

Умова міцності для рукояті виконується, тому що динамічні напруження не перевищують

допустимих значень.

Перевіряємо рукоять на міцність у поперечному перерізі А.

Нормальні напруження:

$$\sigma_A = \frac{20,25 \cdot 10^3}{96 \cdot 10^{-4}} + \frac{45,93 \cdot 10^3}{639,2 \cdot 10^{-6}} + \frac{5,11 \cdot 10^3}{804,8 \cdot 10^{-6}} = 80,3 \cdot 10^6 \frac{H}{m^2} = 80,3 MPa$$

Еквівалентні напруження:

$$\sigma_{еквIV} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{80,3^2 + 3 \cdot 13,2^2} = 83,5 MPa$$

Динамічні напруження в перерізі А:

$$\sigma_\delta = k_\delta \cdot \sigma_{еквIV} = 1,5 \cdot 83,5 = 125,3 MPa$$

Умова міцності виконується.

Література.

1. Машини для земляних робіт : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке та ін. ; під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. Рівне; Дніпропетровськ; Харків, 2010. 575 с.

2. Будівельна механіка металевих конструкцій дорожньо-будівельних, підйомних і транспортних машин: Підручник / за ред. В. Г. Піскунова, В. Д. Шевченка. К. : Вища школа, 2004. 438 с.