

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет “Запорізька політехніка”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ЗАВДАННЯ

до практичних робіт з курсу “Теоретична та прикладна механіка”
для студентів денної форми навчання спеціальностей:

- 131 “Прикладна механіка” (Обладнання та технології ливарного виробництва. Технології та устаткування зварювання. Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій)

Частина 2

Методичні вказівки і завдання до практичних робіт з курсу “Теоретична та прикладна механіка” для студентів денної форми навчання спеціальностей 131 “Прикладна механіка” (Обладнання та технології ливарного виробництва. Технології та устаткування зварювання. Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій). Частина 2 / Укл.: В.Г. Шевченко, А.Д. Фурсіна, С.Ю. Кружнова, – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 22 с.

Укладачі: *В.Г. Шевченко*, доцент, к.т.н., зав. кафедри механіки
А.Д. Фурсіна, доцент, к.т.н.
С.Ю. Кружнова, ст. викл.

Рецензент: *Є.І. Івахненко*, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: *В.Г. Шевченко*, доцент, к.т.н., зав. кафедри механіки

Затверджено
на засіданні кафедри
механіки
Протокол № 5
від “19” грудня 2018 року

Рекомендовано до видання
НМК ІФ факультету
Протокол № 6
від “11” лютого 2019 року

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	4
1 РОЗРАХУНКОВО-ПРОЕКТУВАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ...	5
1.1 Приклад розрахунку задачі 1	6
1.2 Завдання 1 Визначити осьові та відцентрові моменти інерції перерізів, що складаються із стандартних прокатних профілів	9
ЛІТЕРАТУРА	13
Додаток А Площі і центри ваги плоских фігур	14
Додаток Б Міжнародна метрична система одиниць	20
Додаток В Геометричні характеристики плоских перерізів	21
Додаток Г Контрольні питання	22

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Методичні вказівки призначені для самостійної роботи студентів при вивченні курсу „Теоретична та прикладна механіка”, а саме для виконання розрахунково-графічних завдань (РГЗ). Використання цих вказівок дозволить скоротити витрати часу для пошуку довідкових даних за темою завдання та спростить порядок розрахунку завдяки наведеному прикладу.

Перед рішенням задачі треба виписати її умову, зробити рисунок в масштабі та вказати на ньому в числах величини, які необхідні для розрахунку. Розрахунок спочатку треба зробити в загальному вигляді, позначаючи всі дані літерами. Тільки після цього підставити числові значення та знайти результат. Розрахунки повинні бути виконані у відповідній послідовності, теоретично обґрунтовані і мати пояснювальний текст. Пояснення мають бути короткими, послідовними, грамотними (без скорочення слів).

Розрахунково-графічні завдання треба виконувати на аркушах формату А4: графічну частину – олівцем, текстову – пастою чорного (синього) кольору, чітким почерком. Варіант РГЗ призначається викладачем. Титульна сторінка роботи повинна бути оформлена за діючими стандартами.

1 РОЗРАХУНКОВО-ПРОЕКТУВАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Механікою називають ту область науки, яка вивчає рух та напружений стан елементів машин та будівельних конструкцій.

Механіку прийнято поділяти на теоретичну та прикладну або технічну. Під терміном прикладна механіка розуміють область механіки, в якій вивчають рух та напружений стан реальних технічних об'єктів з урахуванням основних закономірностей, встановлених в теоретичній механіці. Прикладна механіка може розглядатись як частина більш загальної області науки – машинознавства, яка містить крім механіки теорію проектування та технологію виготовлення машин.

Геометричними характеристиками плоских перерізів називаються характеристики, що визначають здатність бруса опиратись деформації.

Геометричні характеристики плоских перерізів: *площа, положення центра ваги, статичні моменти перерізів, моменти інерції та моменти опору*.

Опір стержня різним видам деформації залежить не тільки від матеріалу і розмірів стержня, але і від форми та розташування поперечних перерізів. Найпростіша геометрична характеристика, якою є площа поперечного перерізу, входить в розрахункові формули з визначення міцності та жорсткості при простому розтяганні та стисканні.

У випадку кручення, згинання та складного опору використовуються більш складні геометричні характеристики. До них відносять статичні моменти, моменти інерції, радіуси інерції, моменти опору.

Поняття моменту інерції та моменти опору перерізу стержня належить до числа основних понять в механіці.

1.1 Приклад розрахунку задачі 1

Умова задачі:

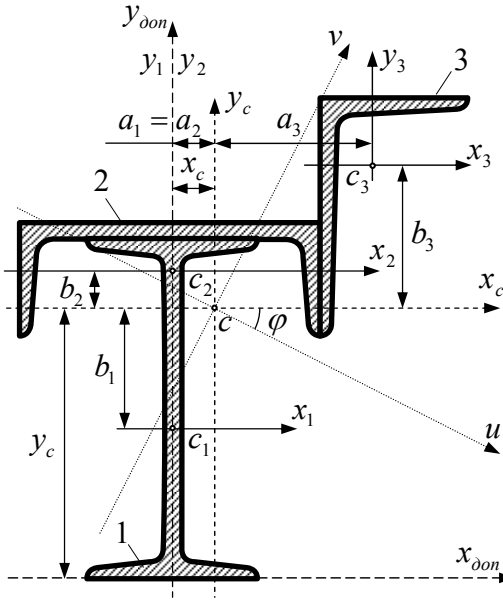


Рисунок 1.1

Дано:

двотавр №24:

$$H_1 = 240 \text{ мм}; \quad B_1 = 125 \text{ мм};$$

$$F_1 = 34.8 \text{ см}^2;$$

$$J_{x_1} = 3460 \text{ см}^4; \quad J_{y_1} = 198 \text{ см}^4;$$

швелер №20:

$$H_2 = 200 \text{ мм}; \quad B_2 = 76 \text{ мм};$$

$$F_2 = 23.4 \text{ см}^2; \quad J_{x_2} = 1520 \text{ см}^4;$$

$$J_{y_2} = 113 \text{ см}^4; \quad z_{o_2} = 2.07 \text{ см};$$

кутник №16/20:

$$H_3 = 200 \text{ мм}; \quad B_3 = 160 \text{ мм};$$

$$F_3 = 25.3 \text{ см}^2; \quad J_{x_3} = 667 \text{ см}^4;$$

$$J_{y_3} = 204 \text{ см}^4; \quad \operatorname{tg} \varphi = 0.39;$$

$$J_{xy_3} = \frac{J_{x_3} - J_{y_3}}{2} \operatorname{tg} \varphi = 213 \text{ мм}^4.$$

Визначити значення головних центральних моментів інерції та положення головних центральних осей перерізу, що складається з двотавра, швелера та кутника.

Розв'язок:

Визначення центра ваги перерізу

Вибираємо допоміжні осі $x_{дон}$, $y_{дон}$ та визначаємо координати центра ваги перерізу відносно цих осей за формулами:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i x_i}{\sum_{i=1}^n F_i}; \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i y_i}{\sum_{i=1}^n F_i},$$

де n – число профілів, що входять до складного перерізу.
В нашому випадку $n = 3$, тому:

$$x_c = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + F_3 x_3}{F_1 + F_2 + F_3}; \quad y_c = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + F_3 y_3}{F_1 + F_2 + F_3}.$$

Враховуючи, що $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $x_3 = 12.28$ см, $y_1 = 12$ см,
 $y_2 = 22.45$ см, $y_3 = 27.69$ см, отримуємо:

$$x_c = \frac{34.8 \cdot 0 + 23.4 \cdot 0 + 25.3 \cdot 12.28}{34.8 + 23.4 + 25.3} = 3.72 \text{ см};$$

$$y_c = \frac{34.8 \cdot 12 + 23.4 \cdot 22.45 + 25.3 \cdot 27.69}{34.8 + 23.4 + 25.3} = 19.68 \text{ см}.$$

Помічаємо на рисунку 1.1 центр ваги перерізу і проводимо через нього паралельно допоміжним осям центральні осі x_c і y_c .

Визначення осевих I_{x_c} і I_{y_c} та відцентрового $I_{x_c y_c}$ моментів інерції.

Моменти інерції відносно центральних осей x_c і y_c визначаємо за формулами паралельного переносу:

$$I_{x_c} = \sum_{i=1}^n [(I_x)_i + (b_i)^2 F_i]; \quad I_{y_c} = \sum_{i=1}^n [(I_y)_i + (a_i)^2 F_i];$$

$$I_{x_c y_c} = \sum_{i=1}^n [(I_{xy})_i + b_i a_i F_i],$$

де $(I_x)_i$, $(I_y)_i$, $(I_{xy})_i$ – моменти інерції профілів відносно власних центральних осей інерції;

a_i і b_i – відстань між власними центральними осями профілів і осями x_c і y_c відповідно;

F_i – площа профілю.

В нашому випадку $n = 3$, тому:

$$I_{x_c} = I_{x_1} + b_1^2 F_1 + I_{x_2} + b_2^2 F_2 + I_{x_3} + b_3^2 F_3;$$

$$I_{y_c} = I_{y_1} + a_1^2 F_1 + I_{y_2} + a_2^2 F_2 + I_{y_3} + a_3^2 F_3;$$

$$I_{x_c y_c} = I_{x y_1} + a_1 b_1 F_1 + I_{x y_2} + a_2 b_2 F_2 + I_{x y_3} + a_3 b_3 F_3.$$

Враховуючи, що $a_1 = -3.72$ см, $a_2 = -3.72$ см, $a_3 = 8.56$ см, $b_1 = -7.68$ см, $b_2 = 2.77$ см, $b_3 = 8.01$ см, отримаємо:

$$I_{x_c} = 3460 + (-7.68)^2 \cdot 34.8 + 113 + 2.77^2 \cdot 23.4 + 667 + 8.01^2 \cdot 25.3 = 8090 \text{ см}^4;$$

$$I_{y_c} = 198 + (-3.72)^2 \cdot 34.8 + 1520 + (-3.72)^2 \cdot 23.4 + 204 + 8.56^2 \cdot 25.3 = 4580 \text{ см}^4;$$

$$I_{x_c y_c} = (-3.72) \cdot (-7.68) \cdot 34.8 + (-3.72) \cdot 2.77 \cdot 23.4 + 213 + 8.56 \cdot 8.01 \cdot 25.3 = 2700 \text{ см}^4.$$

Визначення головних центральних моментів інерції.

Положення головних центральних осей визначаємо за формулами:

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x} = \frac{2 \cdot 2700}{4580 - 8090} = -1.54,$$

звідки $\varphi = -28^\circ 30'$.

Положення головних центральних осей u і v показано на рисунку 1.1.

Відцентровий момент інерції відносно головних осей $I_{uv} = 0$. Осьові моменти інерції приймають екстремальні значення, які визначаються за формулами:

$$I_u = \frac{I_y + I_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_y - I_x}{2}\right)^2 + I_{xy}^2} = \frac{4580 + 8090}{2} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{4580 - 8090}{2}\right)^2 + 2700^2} = 9560 \text{ см}^4;$$

$$I_v = \frac{I_y + I_x}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_y - I_x}{2}\right)^2 + I_{xy}^2} = \frac{4580 + 8090}{2} -$$

$$- \sqrt{\left(\frac{4580 - 8090}{2}\right)^2 + 2700^2} = 3120 \text{ см}^4.$$

1.2 Завдання 1 Визначити осеві та відцентрові моменти інерції перерізів, що складаються із стандартних прокатних профілів

Умова задачі

Розрахункові схеми та вихідні дані наведені на рис. 1.2 і в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

№ вар.	Швелер, №	Двутавр, №	Кутник, №, мм	№ вар.	Швелер, №	Двутавр, №	Кутник, №, мм
1	18	—	70×70×8	14.	20	—	90×90×7
2	12	—	—	15.	—	20a	90×90×6
3	—	—	60×60×8 100×100×8	16.	24	—	100×100×8
4	14a	—	75×75×8	17.	27	—	100×100×10
5	22б	20a	—	18.	—	22	100×100×12
6	20	18	—	19.	33	24a	—
7	—	—	40×40×5 60×40×8	20.	36	24	—
8	10, 20a	—	—	21.	12	—	60×60×8
9	—	18	80×80×8	22.	—	—	70×70×8
10	18a	—	90×90×8				40×40×5
11	14	—	80×80×8	23.	20	—	75×75×8
12	16	—	80×80×6	24.	30	—	90×90×8
13	18	—	90×90×8	25.	24	—	40×40×5

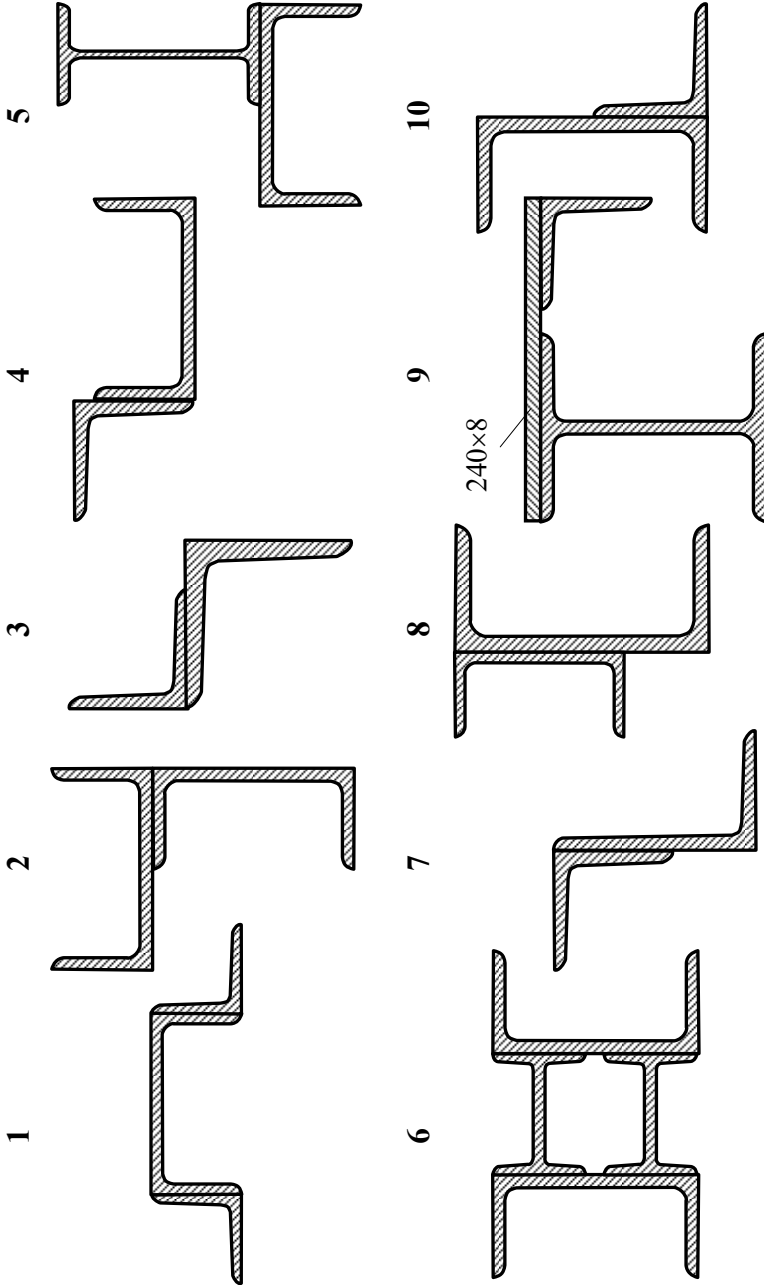
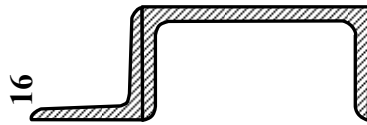
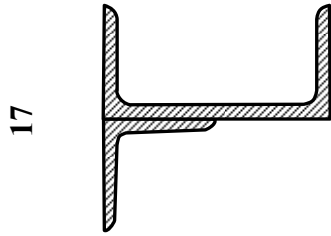
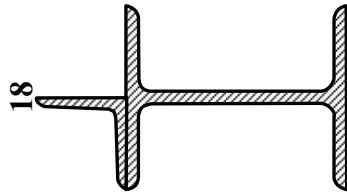
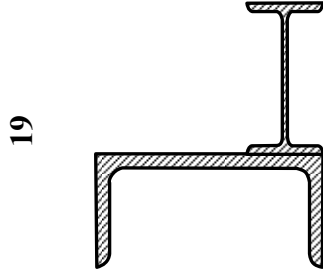
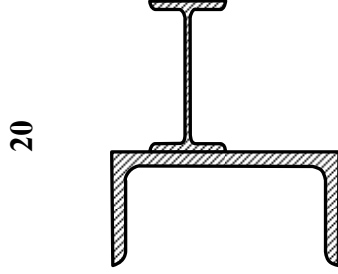
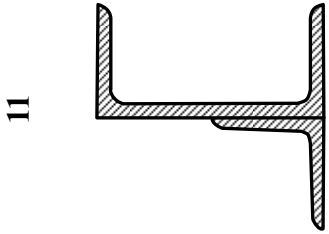
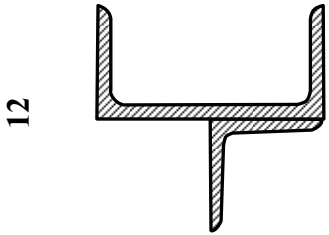
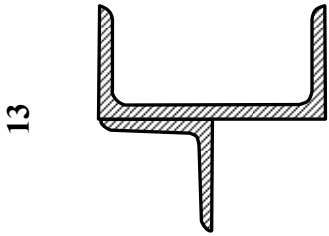
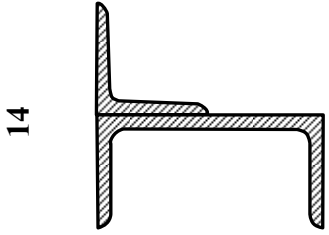
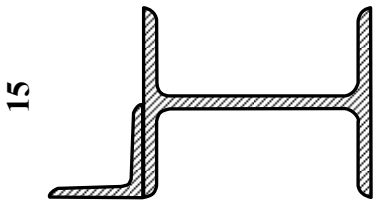
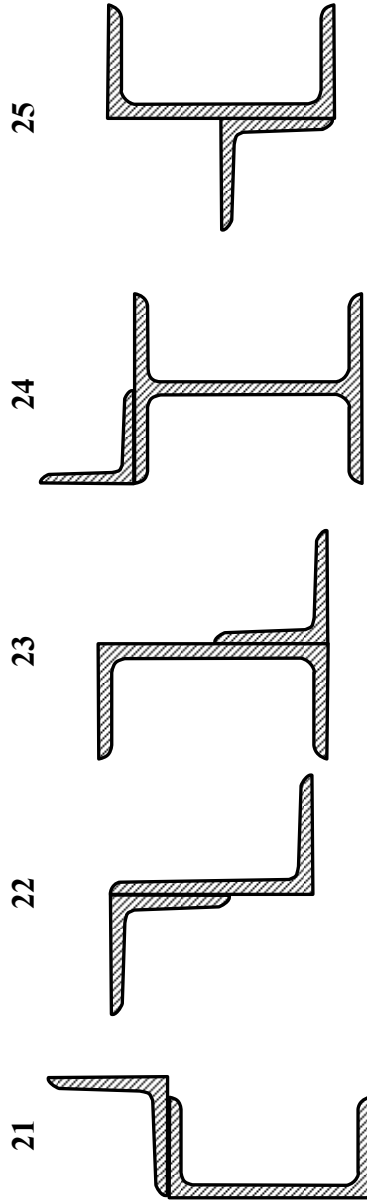


Рисунок 1.2 – Розрахункові схеми



Продовження рисунка 1.2



Продовження рисунка 1.2

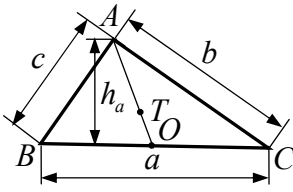
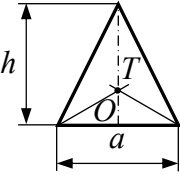
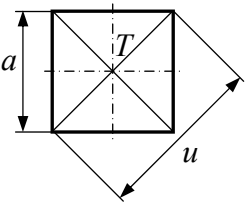
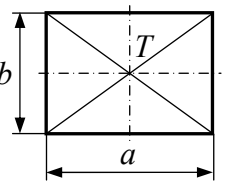
ЛІТЕРАТУРА

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. М., Высшая школа, 1990. – 605 с.
2. Айзенберг Т.Б. Воронцов И.М., Осецкий В.М. Руководство к решению задач по теоретической механике. М., Высшая школа, 1988. – 419 с.
3. Тарг С.М. Курс теоретической механики. М., Наука, 1967. – 480 с.
4. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика. М., Наука, 1964. – 664 с.
5. Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Є.С. Уманський. Опір матеріалів. – К.: Вища школа. – 1993. – 592 с.
6. Н.М. Беляев. Сопротивление материалов. – М.: Наука. – 1996. – 607 с.
7. Феодосьев В.И., Сопротивление материалов. – М.: Наука. – 1999. – 559 с.
8. В.С. Кравчук, О.Ф. Дашенко, Л.В. Коломієць, О.М. Лимаренко. Основи опору матеріалів. – Одеса: Стандартъ. – 2014. – 322 с.

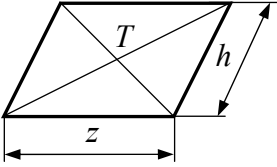
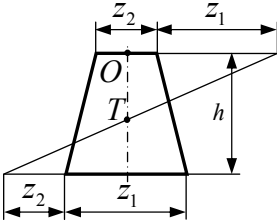
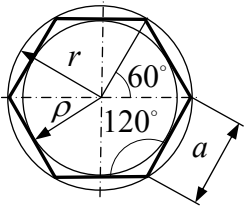
Додаток А

Площі і центри ваги плоских фігур

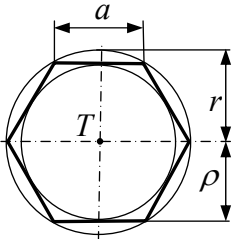
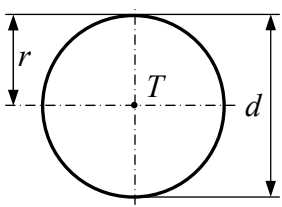
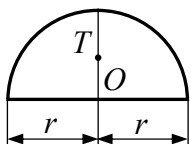
Таблиця А.1

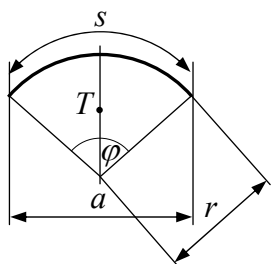
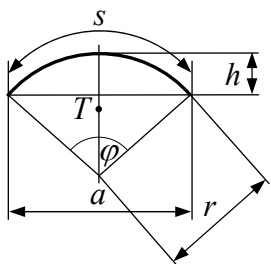
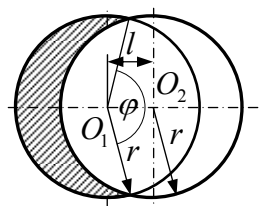
Фігура	Площа	Центр ваги
Трикутник 	$F = \frac{1}{2} a h_a$	$BO = OC ;$ $TO = \frac{1}{3} AO .$ Центр ваги – в точці перетину медіан
Рівнобічний трикутник 	$F = \frac{1}{2} a h = \frac{1}{4} a^2 \sqrt{3} ;$ $h = \frac{1}{2} a \sqrt{3}$	$TO = \frac{1}{3} h = \frac{1}{6} a \sqrt{3}$
Квадрат 	$F = a^2 = \frac{1}{2} u^2 ;$ $a = 0.7071 u = \sqrt{F} ;$ $u = 1.414 a = 1.414 \sqrt{F}$	Центр ваги – в точці перетину осей і діагоналей
Прямокутник 	$F = ab = a \sqrt{u^2 - a^2} =$ $= b \sqrt{u^2 - b^2} ;$ $u = \sqrt{a^2 + b^2}$	Центр ваги – в точці перетину осей і діагоналей

Продовження таблиці А.1

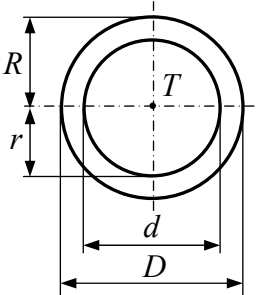
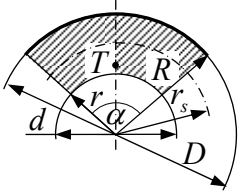
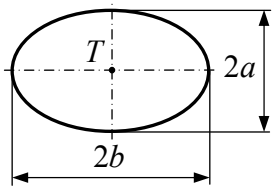
Фігура	Площа	Центр ваги
Паралелограм 	$F = zh$	Центр ваги – в точці перетину осей і діагоналей
Трапеція 	$F = \frac{z_1 + z_2}{2} h$	$TO = \frac{1}{3} h \frac{2z_1 + z_2}{z_1 + z_2}$
Правильний шестикутник 	$F = 2.5981a^2 =$ $= 3.4641\rho^2;$ $r = a = 1.1547\rho;$ $\rho = 0.8660a$	Центр ваги – у центрі шестикутника

Продовження таблиці А.1

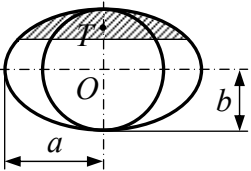
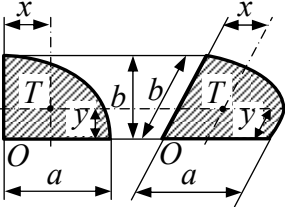
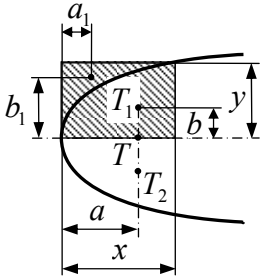
Фігура	Площа	Центр ваги
Правильний n-кутник 	$F = \frac{n}{2} r^2 \sin \frac{360^\circ}{n} =$ $= n \rho^2 \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n} =$ $= n \frac{a^2}{4} \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{n}.$	Центр ваги – у центрі багатокутника, тобто у точці перетину осей і діагоналей
Коло 	$F = \pi r^2 = 3.1416 r^2 =$ $= \frac{1}{4} \pi d^2 = 0.7854 d^2;$ периметр: $2\pi r = 6.2832 r =$ $= \pi d = 3.1416 d.$	Центр ваги – у центрі кола, тобто в точці перетину осей (діаметрів)
Напівколо 	$F = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{1}{8} \pi d^2 =$ $= 0.393 d^2$	$TO = \frac{4r}{3\pi} = 0.4244 r$

Фігура	Площа	Центр ваги																				
Круговий сектор φ – центральний кут; a – довжина хорди 	$F = \frac{1}{2}sr = \frac{1}{360}\varphi^{\circ}\pi r^2;$ $s = r\varphi^{\circ}\frac{\pi}{180} = 0.01745r\varphi^{\circ};$ $\varphi^{\circ} = \frac{57.296s}{r};$ $r = \frac{2F}{s} = \frac{57.296s}{\varphi^{\circ}}$	$TO = \frac{2}{3}r \sin \frac{\sin \varphi^{\circ}}{2} = \frac{2}{3} \frac{ra}{s} = \frac{r^2 a}{3F} = 38.197r \sin \frac{\sin \varphi^{\circ}}{2}.$ При $\varphi^{\circ} = 90^{\circ}$: $TO = 0.600r$; при $\varphi^{\circ} = 60^{\circ}$: $TO = 0.6366r$.																				
Круговий сегмент φ – центральний кут; 	$F = \frac{r(s-a) + ah}{2};$ $a = 2\sqrt{h(2r-h)};$ $h = r - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4r^2 - a^2}$	$TO = \frac{a^3}{12F} = \frac{2}{3}r^3 \frac{\sin^3 \frac{\varphi^{\circ}}{2}}{F}$																				
	$F = r^2 \left(\pi + \sin \varphi - \frac{\varphi^{\circ}\pi}{180} \right) = r^2 \eta$																					
	<table><tr><td>$\frac{l}{d}$</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.8</td><td>0.9</td></tr><tr><td>η</td><td>0.4</td><td>0.79</td><td>1.18</td><td>1.56</td><td>1.91</td><td>2.25</td><td>2.55</td><td>2.81</td><td>3.02</td></tr></table>	$\frac{l}{d}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	η	0.4	0.79	1.18	1.56	1.91	2.25	2.55	2.81	3.02	
$\frac{l}{d}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9													
η	0.4	0.79	1.18	1.56	1.91	2.25	2.55	2.81	3.02													

Продовження таблиці А.1

Фігура	Площа	Центр ваги
Кругове кільце 	$F = \pi(R^2 - r^2) =$ $= \frac{1}{4}\pi(D^2 - d^2) =$ $= 0.7854(D^2 - d^2)$	Центр ваги – у центрі кіл, що обмежують кругове кільце, тобто в точці перетину осей (діаметрів)
Сектор кругового кільця 	$F = \frac{\alpha \cdot \pi}{360}(R^2 - r^2) =$ $= 0.00873\alpha(R^2 - r^2).$ При $\alpha = 180^\circ$ $F = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{2} =$ $= 1.5708(R^2 - r^2).$	$OT = 38.197 \times$ $\times \frac{(R^3 - r^3) \sin \frac{\alpha}{2}}{(R^2 - r^2) \frac{\alpha}{2}}.$ При $\alpha = 180^\circ$ $OT = \frac{4(R^3 - r^3)}{3\pi(R^2 - r^2)} =$ $= 0.424 \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}.$
Еліпс 	$F = \pi \cdot a \cdot b = 3.1416a \cdot b =$ $= 3.1416 \times$ $\times \sqrt{2(a^2 + b^2)} \frac{(a - b)^2}{2.2}$	Центр ваги – у середині еліпса, тобто в точці перетину його осей

Продовження таблиці А.1

Фігура	Площа	Центр ваги
Еліптичний сегмент 	Площа еліптичного сегмента визначається добутком відношення a/r на площу відповідного кругового сегмента $F_{ел} = \frac{a}{r} F_{кр}$	Центр ваги еліптичного сегмента співпадає з центром ваги кругового сегмента при $d = 2b$
Аналогічне правило справедливо і для еліпсоїда обертання		
Квadrant (четвертина) еліпса 	F – площа квадранта: $F = \frac{1}{4} \pi ab.$ F' – площа доповнення до квадранта: $F' = ab \left(1 - \frac{\pi}{4} \right).$	координати центра ваги квадранта: $x = \frac{4}{3} \cdot \frac{ba}{\pi}; \quad y = \frac{4}{3} \cdot \frac{b}{\pi};$ координати центра ваги доповнення до квадранта: $x_1 = \frac{a}{6} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right);$ $y_1 = \frac{b}{6} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)$
Параболічний напівсегмент 	$F = \frac{2}{3} xy$	відстань центра ваги параболічного напівсегмента від вершини: $a = \frac{3}{5} x; \quad b = \frac{3}{8} y;$ центр ваги доповнення до параболічного напівсегмента: $a_1 = 0.3x; \quad b_1 = 0.75y.$
Справедливо також і для випадку, коли хорда утворює із віссю косий кут.		

Додаток Б

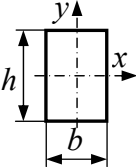
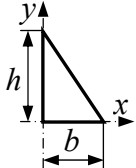
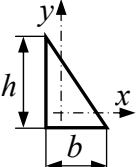
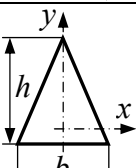
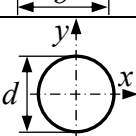
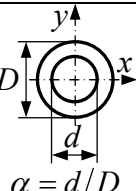
Міжнародна метрична система одиниць

Міри довжини

Назва	Скорочене позначення	Величина	Відношення до см	Відношення до основної одиниці (м)
Пікометр	<i>пм</i> ; pm	0.001 <i>нм</i>	10^{-10}	10^{-12}
Нанометр	<i>нм</i> ; nm	0.001 <i>мк</i>	10^{-7}	10^{-9}
Мікрон (мікрометр)	<i>мк</i> ; μ	0.000001 <i>м</i> =0.001 <i>мм</i>	10^{-4}	10^{-6}
Міліметр	<i>мм</i> ; mm	1000 <i>мк</i>	10^{-1}	10^{-3}
Сантиметр	<i>см</i> ; cm	0.01 <i>м</i> =10 <i>мм</i>	1	10^{-2}
Дециметр	<i>дм</i> ; dm	0.1 <i>м</i> =10 <i>см</i> =100 <i>мм</i>	10	10^{-1}
Метр	<i>м</i> ; m	100 <i>см</i> =1000 <i>мм</i>	10^2	1
Кілометр	<i>км</i> ; km	1000 <i>м</i> =1 000 000 <i>мм</i>	10^5	10^3
Мегаметр	<i>Мм</i> ; Mm	1 000 000 <i>м</i>	10^8	10^6

Додаток В

Геометричні характеристики простих перерізів

Форма перерізу	Позначення геометричних характеристик							
	F	I_x	I_y	I_{xy}	I_p	W_x	W_y	W_p
	bh	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{hb^3}{12}$	0	—	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{hb^2}{6}$	—
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{b^2h^2}{24}$	—	—	—	—
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{hb^3}{36}$	$-\frac{b^2h^2}{72}$	—	—	—	—
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{hb^3}{48}$	0	—	$\frac{bh^2}{24}$	$\frac{hb^2}{24}$	—
	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	0	$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{\pi d^3}{32}$	$\frac{\pi d^3}{16}$		
 $\alpha = d/D$	$\frac{\pi D^2}{4}(1-\alpha^2)$	$\frac{\pi D^4}{64}(1-\alpha^4)$	0	$\frac{\pi D^4}{32}(1-\alpha^4)$	$\frac{\pi D^3}{32}(1-\alpha^4)$	$\frac{\pi D^3}{16}(1-\alpha^4)$		

Додаток Г

Контрольні питання

1. Як визначається статичний момент фігури через її площу та координати центра ваги? Яка розмірність статичного моменту?
2. Чому дорівнює статичний момент площі фігури відносно осі, яка проходить через центр ваги фігури?
3. За якими формулами визначаються координати центра ваги фігури?
4. Що називається осьовим, полярним та відцентровим моментами інерції? Яка їх розмірність?
5. Як пов'язані між собою суми осьових моментів інерції відносно точки перетину цих осей?
6. Які моменти інерції завжди додатні?
7. Записати формули для визначення осьових та відцентрового моментів інерції при паралельному переносі осей.
8. Чому дорівнює осьовий момент інерції прямокутника відносно його центральної осі, паралельній основі?
9. Чому дорівнюють полярний та осьові моменти інерції кола відносно його центральних осей?
10. Які осі називаються головними центральними осями?
11. Чому вісь симетрії фігури завжди є однією із головних осей інерції?
12. Як визначається момент інерції складної фігури?
13. Як визначається кут нахилу головних осей складного перерізу?
14. Що таке момент опору перерізу?
15. Як визначається момент опору складного перерізу?