



Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу
Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу
машин ім.В.Я. Аніловича**

ОПІР МАТЕРІАЛІВ.

**ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СКЛАДЕНИХ ПЕРЕРІЗІВ**

**Методичні вказівки до проведення практичних занять
та індивідуальні завдання**

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної, заочної та дистанційної форм навчання
спеціальності 133 Галузеве машинобудування
та спеціальності 208 Агроінженерія

Харків
2019

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу машин
ім.В.Я. Аніловича

ОПР МАТЕРІАЛІВ.

ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКЛАДЕНИХ ПЕРЕРІЗІВ

Методичні вказівки до проведення практичних занять
та індивідуальні завдання

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної, заочної та дистанційної форм навчання
спеціальності 133 Галузеве машинобудування
та спеціальності 208 Агроінженерія

Затверджено
рішенням Науково-методичної
ради ННІ ТС ХНТУСГ
Протокол №7
від 10 травня 2019р

Харків
2019

УДК 539.3/6
О 61

Схвалено на засіданні
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича
Протокол №8 від "08" травня 2019 р.

Опір матеріалів. Геометричні характеристики складених перерізів: метод вказівки до проведення практичних занять та індивідуальні завдання для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заоч. та дистанц. форм навч., спец. 133 Галузеве машинобудування та спеціальності 201 Агроінженерія / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: О.С.Грінченко, В.Б.Савченко, Є.І.Калінін, О.А.Свіргун, О.А.Концевич. - Харків : [б. в.], 2019. - 36с.

Методичні вказівки "Опір матеріалів. Геометричні характеристики складених перерізів" розроблено з метою надання практичних навичок студентами під час виконання ними практичних завдань з дисципліни опір матеріалів (механіка матеріалів і конструкцій). Видання включає приклади вирішення задач з необхідними теоретичними положеннями і практичними поясненнями. Методичні вказівки містять також індивідуальні завдання, які можуть бути використані слухачами як на практичних заняттях, так і в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування та спеціальності 201 Агроінженерія

Рецензенти:

В. М. Грищенко, канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки і міцності НТУ "ХП"

С. О. Поляшенко, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

Відповідальний за випуск (зав.каф.): В. Г. Кухтов, д-р. техн. наук, проф.

© О.С.Грінченко, В.Б.Савченко,
Є.І.Калінін, О.А.Свіргун,
О.А.Концевич, ХНТУСГ, 2019

Розрахунково-графічне завдання №1.

Загальні положення

В залежності від виду навантаження, на який працюють різні елементи конструкції, їхня жорсткість та міцність може залежати від різних геометричних характеристик поперечних перерізів. Наприклад, при розтяганні (стисканні) в розрахунках використовують площу поперечного перерізу F , при згині - осьові моменти інерції I_x та I_y , а при крученні - полярний момент інерції I_p . Крім того в залежності від виду і умов розрахунку можуть також використовуватись інші геометричні характеристики перерізів. Тому при виконанні інженерних розрахунків необхідно вміння розраховувати різні види геометричних характеристик перерізів.

Геометричні характеристики таких стандартних профілів як двотавр, швелер або кутник, наведені в довідковій літературі [2, 3]. Характеристики перерізів простої форми можна розрахувати за допомогою достатньо простих формул, приклади використання яких будуть наведені нижче. При визначенні геометричних характеристик перерізів складної форми зазвичай спочатку розбивають їх на декілька простих фігур, визначають характеристики кожної з них окремо, а потім використовують залежності, які дозволяють отримати необхідні характеристики складеного перерізу.

Зміст задачі. Розглядається переріз, який складається з двох частин: стандартного профілю (швелер, двотавр або кутник) і труби прямокутного перерізу. Схему перерізу слід вибрати у відповідності до індивідуального шифру з додатку А.

Мета роботи. Визначити геометричні характеристики складеного перерізу:

- положення центральних осей;
- значення центральних осьових і відцентрового моментів інерції I_x , I_y , I_{xy} ;
- положення головних осей;
- значення головних осьових моментів інерції перерізу I_{max} , і I_{min} .

Правила оформлення. Розрахунково-графічне завдання оформлюють на листах формату А4, що мають рамку. Титульний лист повинен містити назву завдання, прізвище і номер групи студента, а також прізвище викладача, який приймає завдання. На першій сторінці угорі приклеюється картка з вихідними даними, а потім приводиться текст пояснювальної записки. Графічна частина завдання виконується з використанням креслярських інструментів. Допускається оформлення графічної частини завдання на міліметровій папері.

1. Приклад виконання завдання за шифром 302 (двотавр)

Вигляд картки з вихідними даними:

Група: 015СТ

Студент: Петренко П.П.

Шифр: 302

Расчетно-графическое задание №1

"Геометрические характеристики составных сечений"

Рисунок №3. Смещение профилей $e = -0,75$ см.

Параметры прямоугольного сечения трубы (см): $B = 5$; $B_1 = 2,6$; $H = 7,5$; $H_1 = 5,1$

Параметры двутавра

$h = 18$ см; $F = 23,4$ см²; $I_x = 82,6$ см⁴; $I_y = 1290$ см⁴.

1.1. За вихідним даними будемо розрахункову схему перерізу, яка наведена на рисунку 1.1а.

В методичних вказівках рисунки 1.1а, 1.1б, 1.1в і 1.1г показують послідовність дій, які необхідно виконати в ході вирішення задачі. Графічна частина виконаного в повному обсязі завдання зображена на рисунку 1.2.

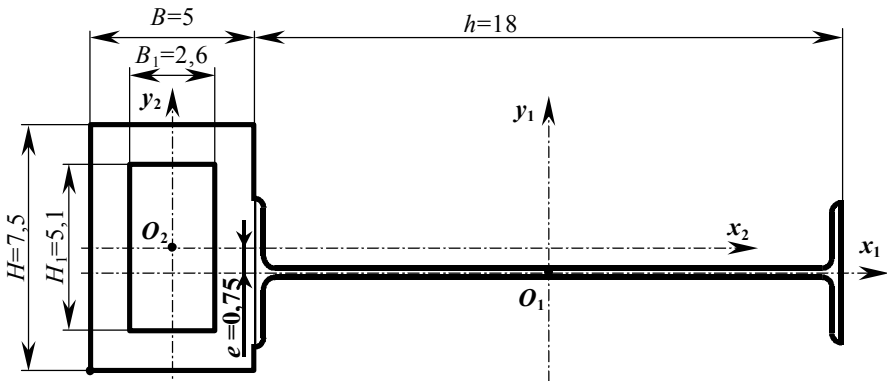
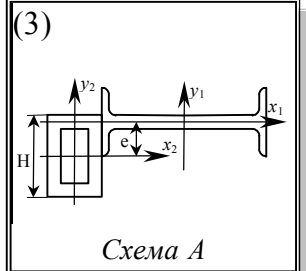


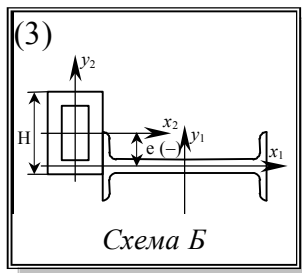
Рис.1.1а. Розрахункова схема за варіантом 302.

Пояснення. В картці вихідних даних вказаний рисунок №3. Отже, з додатку А вибираємо початкову схему (3). На схемі (схема А) показано взаємне розташування двотавру (профіль №1 з осями x_1 і y_1) і труби прямокутного перерізу (профіль №2 з осями x_2 і y_2). Щоб уникнути помилок не рекомендується під час вирішення завдання змінювати нумерацію і по-



ложення осей. В додатку А на всіх рисунках показано додатне значення зміщення e .

Зазвичай при побудові розрахункової схеми виникають складнощі, якщо в картці вихідних даних вказано від'ємне значення e . Як видно з початкової схеми, e – це величина зміщення осей другої фігури відносно першої. Для того, щоб зрозуміти як відобразити на схемі зміщення з від'ємним значенням, достатньо уявити собі, що осі починають зближуватися (наприклад прямокутний профіль рухається вгору). При цьому величина зміщення спочатку зменшується, а потім пройшовши через 0 (при збігу осей), стає від'ємним. В результаті одержуємо варіант рисунка, показаний на схемі Б.



Знак зміщення e , враховується тільки при побудові розрахункової схеми. У всіх подальших розрахунках e додатне.

1.2. Вибираємо допоміжні осі координат xOy і в них визначаємо координати центрів ваги обох профілів. Розраховані значення відображаємо на рисунку (рис.1.1б).

$$x_{c1} = B + \frac{h}{2} = 5 + \frac{18}{2} = 14 \text{ см};$$

$$x_{c2} = \frac{B}{2} = 2,5 \text{ см};$$

$$y_{c1} = \frac{H}{2} - |e| = \frac{7,5}{2} - 0,75 = 3 \text{ см};$$

$$y_{c2} = \frac{H}{2} = \frac{7,5}{2} = 3,75 \text{ см}.$$

Допоміжні координатні осі можуть бути вибрані довільно. Проте можна рекомендувати розташовувати їх так, щоб центри ваги фігур, які входять в складений переріз, знаходилися в першому квадранті координатної площини. При цьому координати центрів ваги будуть додатними, що зменшує імовірність випадкової помилки. В розглянутому прикладі за початок координат допоміжних осей (точка O) обрано нижній лівий кут прямокутного профілю.

Наведені вище формули для визначення x_{c1} , y_{c1} , x_{c2} і y_{c2} виведені з рисунку розглянутої розрахункової схеми і не можуть бути використані для розрахунку інших розрахункових схем.

Важливо! Тут і надалі не рекомендується знімати значення відстаней (координат) з рисунка, оскільки графічний спосіб їх визначення не за-

безпечує необхідну точність розрахунку. Графічно можна лише перевірити правильність розрахованих значень

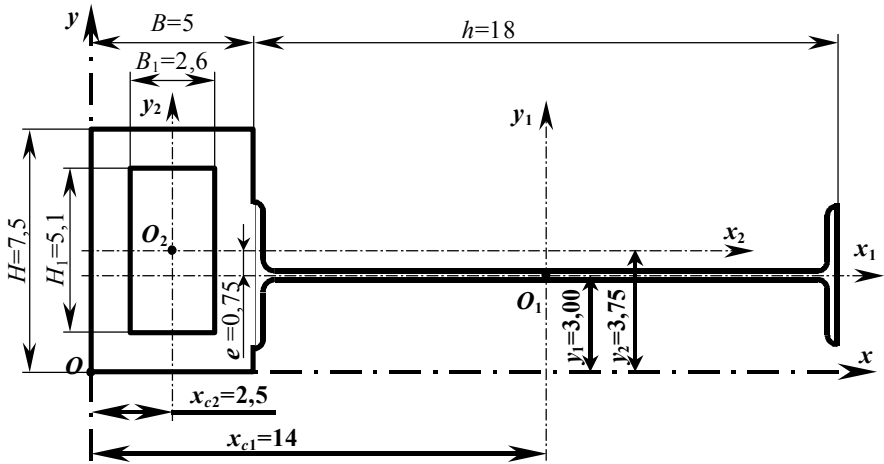


Рис.1.1б. Вибір допоміжних осей і визначення координат центрів ваги профілів.

1.3. Обчислюємо координати спільного центру ваги S складеного перерізу. Для цього заздалегідь визначаємо площі перерізів F_1 і F_2 профілів, які входять до складеного перерізу.

$$F_1 = 23,4 \text{ см}^2 ;$$

$$F_2 = B \cdot H - B_1 \cdot H_1 = 5 \cdot 7,5 - 2,6 \cdot 5,1 = 24,24 \text{ см}^2 ;$$

$$x_c = \frac{F_1 \cdot x_{c1} + F_2 \cdot x_{c2}}{F_1 + F_2} = \frac{23,4 \cdot 14 + 24,24 \cdot 2,5}{23,4 + 24,24} = 8,15 \text{ см} ;$$

$$y_c = \frac{F_1 \cdot y_{c1} + F_2 \cdot y_{c2}}{F_1 + F_2} = \frac{23,4 \cdot 3 + 24,24 \cdot 3,75}{23,4 + 24,24} = 3,38 \text{ см} .$$

На рисунку зображуємо центральні осі складеного перерізу $ХСУ$ (рис.1.1в)

Площа перерізу стандартного профілю (в даному випадку двотавра) надається в картці вихідних даних, де позначена як F . Площа перерізу

прямокутної труби розраховується як різниця площ зовнішнього і внутрішнього прямокутників.

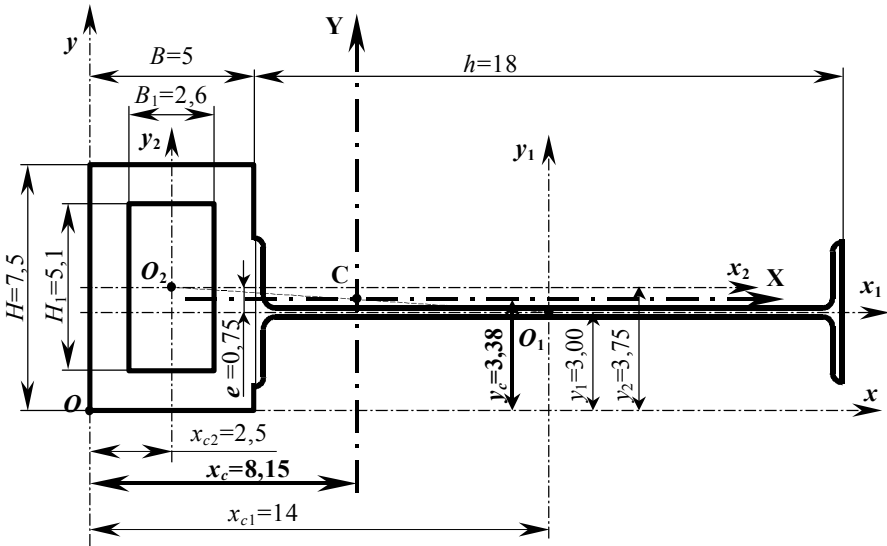


Рис.1.1в. Визначення центральних осей складеного перерізу

1.4. Визначимо координати центрів ваги складових фігур перерізу в системі центральних осей складеного перерізу:

$$a_1 = y_{c1} - y_c = 3 - 3,38 = -0,38 \text{ см};$$

$$b_1 = x_{c1} - x_c = 14 - 8,15 = 5,85 \text{ см};$$

$$a_2 = y_{c2} - y_c = 3,75 - 3,38 = 0,37 \text{ см};$$

$$b_2 = x_{c2} - x_c = 2,5 - 8,15 = -5,65 \text{ см}.$$

Розраховані відстані зображуємо на рисунку (див. рис.1.1а).

Не дивлячись на те, що на рисунку 1.1г значення a_i та b_i є відстанями між осями, їм приписують знаки “+” або “-”, відповідні знакам координат точок O_1 і O_2 в системі центральних осей X_1Y_1 . З чотирьох координат завжди дві будуть додатними, а дві - від’ємними.

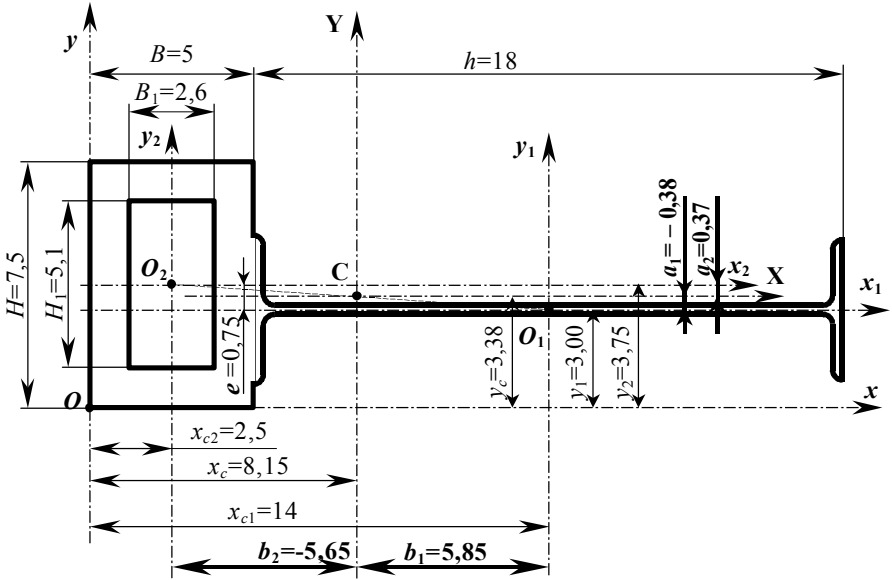


Рис.1.1г. Відстані між центральними осями складеного перерізу і фігур, з яких він складається

1.5. Значення осьових I_{xc} , I_{yc} і відцентрового I_{xcyc} моментів інерції складеного перерізу визначаються за формулами:

$$I_{xc} = I_{x1} + F_1 \cdot a_1^2 + I_{x2} + F_2 \cdot a_2^2;$$

$$I_{yc} = I_{y1} + F_1 \cdot b_1^2 + I_{y2} + F_2 \cdot b_2^2;$$

$$I_{xcyc} = I_{x1y1} + F_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + I_{x2y2} + F_2 \cdot a_2 \cdot b_2,$$

де F_1 і F_2 – площі перерізів першої і другої фігур, що входять до перерізу (див. пункт 1.3);

I_{x1} , I_{y1} , I_{x2} , I_{y2} – власні осьові моменти інерції першої і другої фігур, що входять до перерізу;

I_{x1y1} , I_{x2y2} – власні відцентрові моменти інерції першої і другої фігур, що входять до перерізу.

Вибираємо з вихідних даних необхідні значення і визначаємо власні осьові і відцентрові моменти інерції першої і другої фігур:

$$I_{x1} = 82,6 \text{ см}^4; \quad I_{y1} = 1290 \text{ см}^4; \quad I_{x1y1} = 0;$$

Власні осьові моменти інерції першого профілю I_{x1} і I_{y1} (в даному випадку двотавра) наведені в картці вихідних даних, де позначені як I_x та I_y .

$$I_{x2} = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{B_1 \cdot H_1^3}{12} = \frac{5 \cdot 7,5^3}{12} - \frac{2,6 \cdot 5,1^3}{12} = 147,04 \text{ см}^4;$$

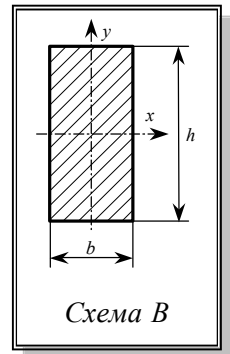
$$I_{y2} = \frac{B^3 \cdot H}{12} - \frac{B_1^3 \cdot H_1}{12} = \frac{5^3 \cdot 7,5}{12} - \frac{2,6^3 \cdot 5,1}{12} = 70,66 \text{ см}^4;$$

$$I_{x2y2} = 0.$$

Для прямокутного перерізу (схема В) осьові моменти інерції перерізу визначаються по формулах:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12}.$$

Зверніть увагу, що в цих формулах в куб підноситься розмір перпендикулярний осі, відносно якої обчислюється осьовий момент інерції. Якщо необхідно обчислити осьовий момент інерції для труби прямокутного профілю, то принцип його обчислення такий самий, як і для обчислення площі – від осьового моменту інерції зовнішнього прямокутника віднімають осьовий момент інерції внутрішнього прямокутника.



Відцентровий момент інерції перерізу (I_{xy}) може дорівнювати нулю, бути додатнім або від'ємним. Нульове значення ($I_{xy} = 0$) мають перерізи, для яких хоча б одна з розглядуваних центральних осей (x або y) є віссю симетрії. Це справедливо для швелера, двотавра або прямокутника. Для інших фігур власний відцентровий момент інерції перерізу необхідно обчислювати за формулами (див. приклад рішення задачі з кутником).

Розраховуємо значення осьових I_{xc} , I_{yc} і відцентрового I_{xcyc} моментів інерції складеного перерізу:

$$\begin{aligned} I_{xc} &= I_{x1} + F_1 \cdot a_1^2 + I_{x2} + F_2 \cdot a_2^2 = \\ &= 82,6 + 23,4 \cdot (-0,38)^2 + 147,04 + 24,24 \cdot 0,37^2 = 236,34 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{yc} &= I_{y1} + F_1 \cdot b_1^2 + I_{y2} + F_2 \cdot b_2^2 = \\ &= 1290 + 23,4 \cdot 5,85^2 + 70,66 + 24,24 \cdot (-5,65)^2 = 2935,27 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$I_{xcyc} = I_{x_1y_1} + F_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + I_{x_2y_2} + F_2 \cdot a_2 \cdot b_2 =$$

$$= 23,4 \cdot (-0,38) \cdot 5,85 + 24,24 \cdot 0,37 \cdot (-5,65) = -102,69 \text{ см}^4.$$

Аналіз цих розрахунків показує, що осьові моменти інерції завжди додатні (а і b підносяться в квадрат), а відцентровий може бути додатним або від'ємним в залежності від розташування складових перерізу відносно центральних осей.

1.6. Визначаємо положення головних центральних осей U і V складеного перерізу і зображаємо осі на рисунку (рис.1.2). Для цього визначаємо величину і знак кута α , на який слід повернути центральні осі X та Y .

$$\alpha = 0,5 \cdot \arctg \left(-\frac{2 \cdot I_{xcyc}}{I_{xc} - I_{yc}} \right) = 0,5 \cdot \arctg \left(-\frac{2 \cdot (-102,69)}{236,34 - 2935,27} \right) = -2,176^\circ.$$

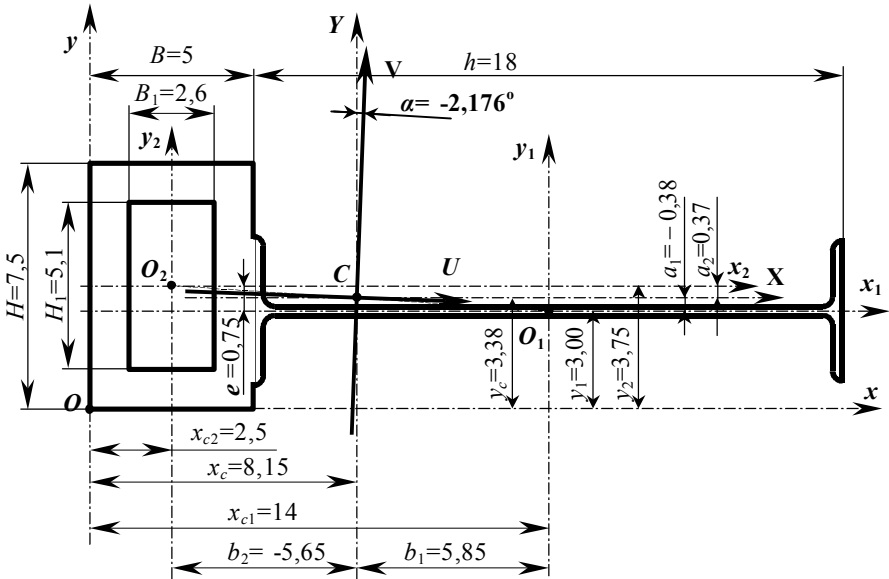


Рис.1.2. Графічна частина розрахунково-графічного завдання.

Головними центральними називають такі осі, відносно яких відцентровий момент інерції дорівнює нулю, а осьові центральні моменти інерції приймають екстремальні (максимальне і мінімальне) значення I_{max} , I_{min} . Головні осі повернені відносно центральних осей складеного перерізу на кут α , додатне значення якого відкладається проти годинникової

стрілки. В розглянутому прикладі осі повертаємо на кут $\alpha = -2,176^\circ$ за годинниковою стрілкою, оскільки кут від'ємний.

1.7. Обчислюємо головні моменти інерції складеного перерізу:

$$I_{\frac{\max}{\min}} = \frac{I_{xc} + I_{yc}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_{xc} - I_{yc})^2 + 4 \cdot I_{xcyc}^2};$$

$$I_{\frac{\max}{\min}} = \frac{236,34 + 2935,27}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(236,34 - 2935,27)^2 + 4 \cdot (-102,69)^2};$$

$$I_U = I_{\max} = 1585,805 + 1353,355 = 2939,16 \text{ см}^4;$$

$$I_V = I_{\min} = 1585,805 - 1353,355 = 232,45 \text{ см}^4.$$

Оскільки I_{\max} та I_{\min} є осьовими моментами інерції, вони не можуть бути від'ємними.

1.8. Перевірка правильності розрахунку по п.1.7:

$$I_{xc} + I_{yc} = I_{\max} + I_{\min};$$

$$236,34 + 2935,27 = 2939,16 + 232,45.$$

Обчислення виконані правильно.

При перевірці використовується властивість, відповідно до якої сума осьових моментів інерції перерізу відносно будь-яких центральних координатних осей є величиною постійною. Однак, якщо осьові моменти I_{xc} і (або) I_{yc} були **визначені невірно**, то при неправильному в цілому рішенні задачі, така перевірка може дати позитивний результат.

2. Приклад виконання завдання за шифром 502 (швеллер)

Вигляд картки з вихідними даними:

Група: 015СТ	Студент: Петренко П.П.	Шифр: 502
Расчетно-графическое задание №1		
"Геометрические характеристики составных сечений"		
Рисунок №5. Смещение профилей $e = -1,25$ см.		
Параметры прямоугольного сечения трубы (см): $B = 5$; $B_1 = 2,6$; $H = 7,5$; $H_1 = 5,1$		
Параметры швеллера		
$h = 18$ см; $F = 20,7$ см ² ; $I_x = 1090$ см ⁴ ; $I_y = 86$ см ⁴ ; $Z_0 = 1,9$ см.		

2.1. За вихідним даними будуємо розрахункову схему перерізу, яка наведена на рисунку 2.1а.

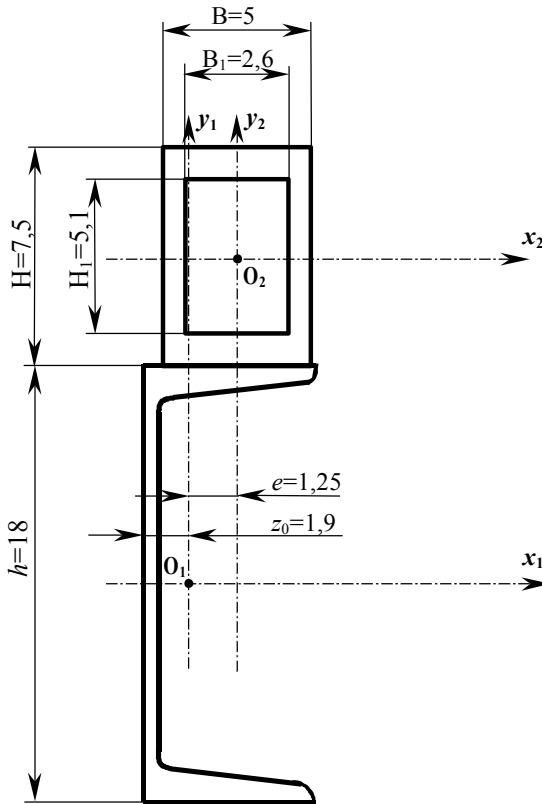
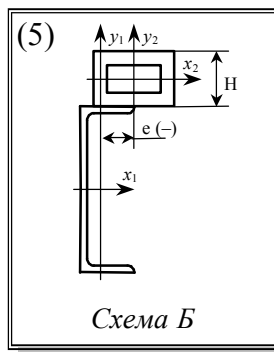
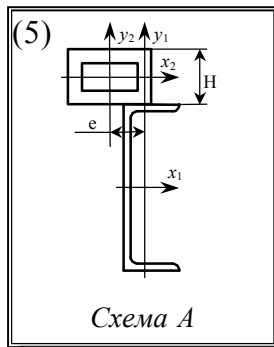


Рис.2.1а. Розрахункова схема за варіантом 502.

Пояснення. В методичних вказівках рисунки 2.1а, 2.1б, 2.1в і 2.1г показують послідовність дій, які необхідно виконати в ході вирішення задачі. Графічна частина виконаного в повному обсязі завдання зображена на рисунку 2.2 .

В картці вихідних даних вказаний рисунок №5. Отже, з додатку А вибираємо початкову схему (5). На цій схемі (схема А) показано взаємне розташування швелера (профіль №1 з осями x_1 і y_1) і труби прямокутного перерізу (профіль №2 з осями x_2 і y_2). Щоб уникнути помилок не рекомендується під час вирішення завдання змінювати нумерацію і положення осей. В додатку А на всіх рисунках показано додатне значення зміщення e .

Зазвичай при побудові розрахункової схеми виникають складнощі, якщо в картці вихідних даних вказано від'ємне значення e . Як видно з початкової схеми, e – це величина зміщення осей другої фігури відносно першої. Для того, щоб зрозуміти як відобразити на схемі зміщення з від'ємним значенням, достатньо уявити собі, що осі починають зближуватися (наприклад прямокутний профіль рухається вправо). При цьому величина зміщення спочатку зменшується, а потім пройшовши через 0 (при збігу осей), стає від'ємним. В результаті одержуємо варіант рисунка, показаний на схемі Б.



Знак зміщення e , враховується тільки при побудові розрахункової схеми. У всіх подальших розрахунках e додатне.

2.2. Вибираємо допоміжні осі координат xoy і в них визначаємо координати центрів ваги обох профілів. Розраховані значення відображаємо на рисунку (рис.2.1б).

$$x_{c1} = z_0 = 1,9 \text{ см};$$

$$x_{c2} = z_0 + e = 1,9 + 1,25 = 3,15 \text{ см};$$

$$y_{c1} = \frac{h}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ см};$$

$$y_{c2} = h + \frac{H}{2} = 18 + \frac{7,5}{2} = 21,75 \text{ см}.$$

Допоміжні координатні осі можуть бути вибрані довільно. Проте можна рекомендувати розташовувати їх так, щоб центри ваги фігур,

які входять в складений переріз, знаходилися в першому квадранті координатної площини. При цьому координати центрів ваги будуть додатними, що зменшує імовірність випадкової помилки. В розглянутому прикладі за початок координат допоміжних осей (точка O) обрано нижній лівий кут швелера.

Наведені вище **формули** для визначення x_{c1} , y_{c1} , x_{c2} і y_{c2} виведені з рисунку розглянутої розрахункової схеми і **не можуть бути використані для розрахунку інших розрахункових схем.**

Важливо! Тут і надалі не рекомендується знімати значення відстаней (координат) з рисунка, оскільки графічний спосіб їх визначення не забезпечує необхідну точність розрахунку. Графічно можна лише перевірити правильність розрахованих значень.

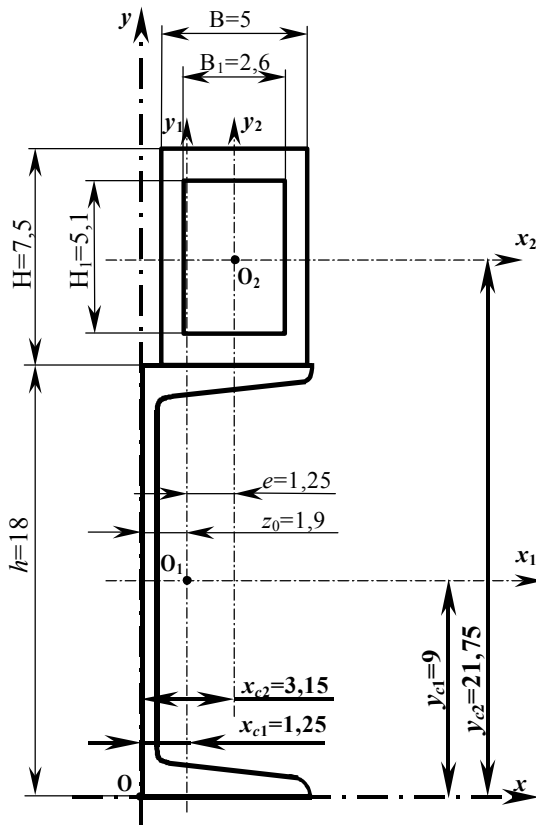


Рис.2.16. Вибір допоміжних осей і визначення координат центрів ваги профілів.

2.3. Обчислюємо координати спільного центру ваги **C** складеного перерізу. Для цього заздалегідь визначаємо площі перерізів F_1 і F_2 профілів, які входять до складеного перерізу.

$$F_1=20,7 \text{ см}^2 ; \quad F_2=B \cdot H - B_1 \cdot H_1 = 5 \cdot 7,5 - 2,6 \cdot 5,1 = 24,24 \text{ см}^2;$$

$$x_c = \frac{F_1 \cdot x_{c1} + F_2 \cdot x_{c2}}{F_1 + F_2} = \frac{20,7 \cdot 1,9 + 24,24 \cdot 3,15}{20,7 + 24,24} = 2,574 \text{ см};$$

$$y_c = \frac{F_1 \cdot y_{c1} + F_2 \cdot y_{c2}}{F_1 + F_2} = \frac{20,7 \cdot 9 + 24,24 \cdot 21,75}{20,7 + 24,24} = 15,877 \text{ см}.$$

На рисунку зображуємо центральні осі складеного перерізу **ХСУ** (рис.2.1в)

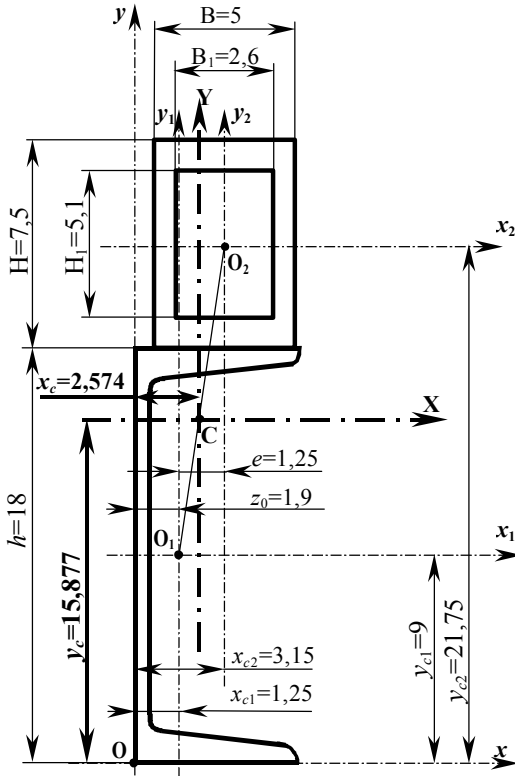


Рис.2.1в. Визначення центральних осей складеного перерізу

Площа перерізу стандартного профілю (в даному випадку швелера) надається в картці вихідних даних, де позначена як **F**. Площа перерізу прямокутної труби розраховується як різниця площ зовнішнього і внутрішнього прямокутників.

2.4. Визначаємо координати центрів ваги складових фігур перерізу в системі центральних осей складеного перерізу:

$$a_1 = y_{c1} - y_c = 9 - 15,877 = -6,877 \text{ см};$$

$$b_1 = x_{c1} - x_c = 1,9 - 2,574 = -0,674 \text{ см};$$

$$a_2 = y_{c2} - y_c = 21,75 - 15,877 = 5,873 \text{ см};$$

$$b_2 = x_{c2} - x_c = 3,15 - 2,574 = 0,576 \text{ см}.$$

Розраховані відстані зображуємо на рисунку (див. рис.2.12).

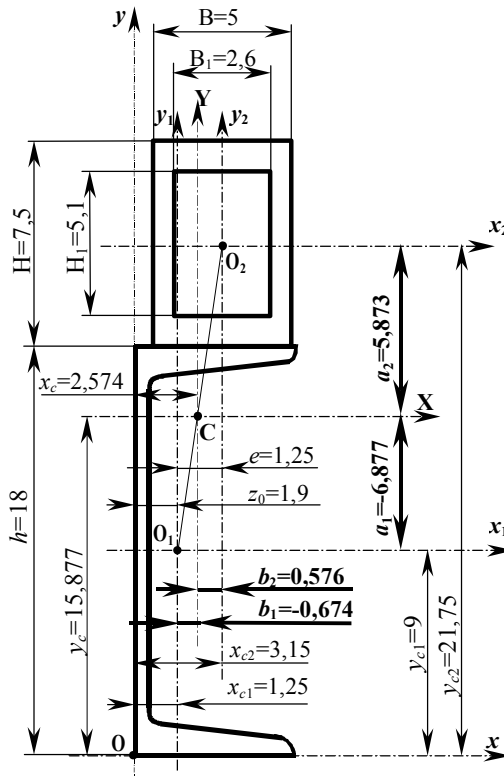


Рис.2.12. Відстані між центральними осями складеного перерізу і фігур, з яких він складається

Не дивлячись на те, що на рисунку 2.1г значення a_i та b_i є відстанями між осями, їм приписують знаки “+” або “-”, відповідні знакам координат точок O_1 і O_2 в системі центральних осей XCY . З чотирьох координат завжди дві будуть додатними, а дві - від'ємними.

2.5. Значення осьових I_{xc} , I_{yc} і відцентрового I_{xcyc} моментів інерції складеного перерізу визначаються за формулами:

$$I_{xc} = I_{x1} + F_1 \cdot a_1^2 + I_{x2} + F_2 \cdot a_2^2;$$

$$I_{yc} = I_{y1} + F_1 \cdot b_1^2 + I_{y2} + F_2 \cdot b_2^2;$$

$$I_{xcyc} = I_{x1y1} + F_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + I_{x2y2} + F_2 \cdot a_2 \cdot b_2,$$

де F_1 і F_2 – площі перерізів першої і другої фігур, що входять до перерізу (див. пункт 2.3);

I_{x1} ; I_{y1} ; I_{x2} ; I_{y2} – власні осьові моменти інерції першої і другої фігур, що входять до перерізу;

I_{x1y1} ; I_{x2y2} – власні відцентрові моменти інерції першої і другої фігур, що входять до перерізу.

Вибираємо з вихідних даних необхідні значення і визначаємо власні осьові і відцентрові моменти інерції першої і другої фігур:

$$I_{x1} = 82,6 \text{ см}^4; \quad I_{y1} = 1290 \text{ см}^4; \quad I_{x1y1} = 0;$$

$$I_{x2} = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{B_1 \cdot H_1^3}{12} = \frac{5 \cdot 7,5^3}{12} - \frac{2,6 \cdot 5,1^3}{12} = 147,04 \text{ см}^4;$$

$$I_{y2} = \frac{B^3 \cdot H}{12} - \frac{B_1^3 \cdot H_1}{12} = \frac{5^3 \cdot 7,5}{12} - \frac{2,6^3 \cdot 5,1}{12} = 70,66 \text{ см}^4;$$

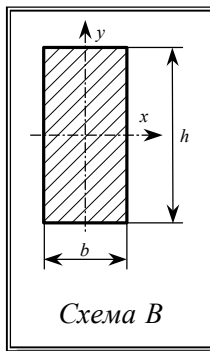
$$I_{x2y2} = 0.$$

Власні осьові моменти інерції першого профілю I_{x1} і I_{y1} (в даному випадку швелера) наведені в картці вихідних даних, де позначені як I_x та I_y .

Для прямокутного перерізу (схема В) осьові моменти інерції перерізу визначаються по формулах:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12}.$$

Зверніть увагу, що в цих формулах в куб підноситься розмір перпендикулярний осі, відносно якої обчислюється осьовий момент інерції. Якщо необхідно обчислити осьовий момент інерції для труби прямо-



кутного профілю, то принцип його обчислення такий самий, як і для обчислення площі – від осьового моменту інерції зовнішнього прямокутника віднімають осьовий момент інерції внутрішнього прямокутника.

Відцентровий момент інерції перерізу (I_{xy}) може дорівнювати нулю, бути додатнім або від'ємним. Нульове значення ($I_{xy} = 0$) мають перерізи, для яких хоча б одна з розглядуваних центральних осей (x або y) є віссю симетрії. Це справедливо для швелера, двотавра або прямокутника. Для інших фігур власний відцентровий момент інерції перерізу необхідно обчислювати за формулами (див. приклад рішення задачі з кутником).

Розраховуємо значення осьових I_{xc} , I_{yc} і відцентрового I_{xcyc} моментів інерції складеного перерізу:

$$\begin{aligned} I_{xc} &= I_{x1} + F_1 \cdot a_1^2 + I_{x2} + F_2 \cdot a_2^2 = \\ &= 1090 + 20,7 \cdot 6,877^2 + 147,04 + 24,24 \cdot (-5,873)^2 = 3052,1 \text{ см}^4; \\ I_{yc} &= I_{y1} + F_1 \cdot b_1^2 + I_{y2} + F_2 \cdot b_2^2 = \\ &= 86 + 20,7 \cdot 0,674^2 + 70,66 + 24,24 \cdot (-0,576)^2 = 174,1 \text{ см}^4; \\ I_{xcyc} &= I_{x1y1} + F_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + I_{x2y2} + F_2 \cdot a_2 \cdot b_2 = \\ &= 20,7 \cdot 0,674 \cdot 6,877 + 24,24 \cdot (-0,576) \cdot (-5,873) = 177,95 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Аналіз цих розрахунків показує, що осьові моменти інерції завжди додатні (а і b підносяться в квадрат), а відцентровий може бути додатним або від'ємним в залежності від розташування складових перерізу відносно центральних осей.

2.6. Визначаємо положення головних центральних осей U і V складеного перерізу і зображаємо осі на рисунку (див. рис.2.2). Для цього визначаємо величину і знак кута α , на який слід повернути центральні осі X та Y .

$$\alpha = 0,5 \cdot \arctg \left(-\frac{2 \cdot I_{xcyc}}{I_{xc} - I_{yc}} \right) = 0,5 \cdot \arctg \left(-\frac{2 \cdot 177,95}{3052,1 - 174,1} \right) = -3,5^\circ.$$

Головними центральними називають такі осі, відносно яких відцентровий момент інерції дорівнює нулю, а осьові центральні моменти інерції приймають екстремальні (максимальне і мінімальне) значення I_{max} , I_{min} . Головні осі повернені відносно центральних осей складеного перерізу на кут α , додатне значення якого відкладається проти годинникової стрілки. В розглянутому прикладі осі повертаємо на кут $\alpha = -3,5^\circ$ за годинниковою стрілкою, оскільки кут від'ємний.

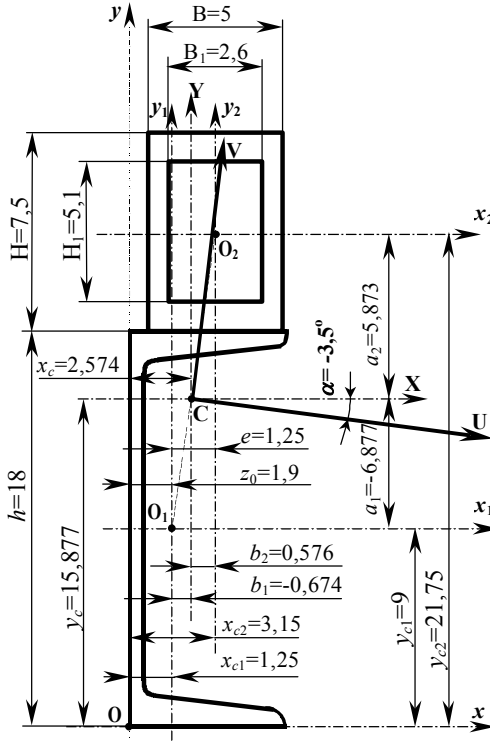


Рис.2.2. Графічна частина розрахунково-графічного завдання.

2.7. Обчислюємо значення головних моментів інерції складеного перерізу:

$$I_{\frac{\max}{\min}} = \frac{I_{xc} + I_{yc}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_{xc} - I_{yc})^2 + 4 \cdot I_{xcyc}^2};$$

$$I_{\frac{\max}{\min}} = \frac{3052,1 + 174,1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(3052,1 - 174,1)^2 + 4 \cdot 177,95^2};$$

$$I_U = I_{\max} = 1613,1 + 1449,98 = 3063,08 \text{ см}^4;$$

$$I_V = I_{\min} = 1613,1 - 1449,98 = 163,12 \text{ см}^4.$$

Оскільки I_{\max} та I_{\min} є осьовими моментами інерції, вони не можуть бути від'ємними.

2.8. Перевірка правильності розрахунку по п.2.7:

$$I_{xc} + I_{yc} = I_{\max} + I_{\min};$$

$$3052,1 + 174,1 = 3063,1 + 163,1.$$

Обчислення виконані правильно.

*При перевірці використовується властивість, відповідно до якої сума осьових моментів інерції перерізу відносно будь-яких центральних координатних осей є величиною постійною. Однак, якщо осьові моменти I_{xc} і (або) I_{yc} були **визначені невірно**, то при неправильному в цілому рішенні задачі, така перевірка може дати позитивний результат.*

3. Приклад виконання завдання за шифром 902 (кутник)

Вигляд картки з вихідними даними:

Група: 015СТ

Студент: Петренко П.П.

Шифр: 902

Расчетно-графическое задание №1

"Геометрические характеристики составных сечений"

Рисунок №9. Смещение профилей $e = -2,25$ см.

Параметры прямоугольного сечения трубы (см): $B = 5$; $B_1 = 2,6$; $H = 7,5$; $H_1 = 5,1$

Параметры равнобокого уголка

$b = 10$ см; $F = 19,2$ см²; $I_x = 284$ см⁴; $I_y = 74,1$ см⁴; $I_x = I_y = 179$ см⁴; $Z_0 = 2,83$ см.

3.1. За вихідними даними будемо розрахункову схему перерізу, яка наведена на рисунку 3.1а.

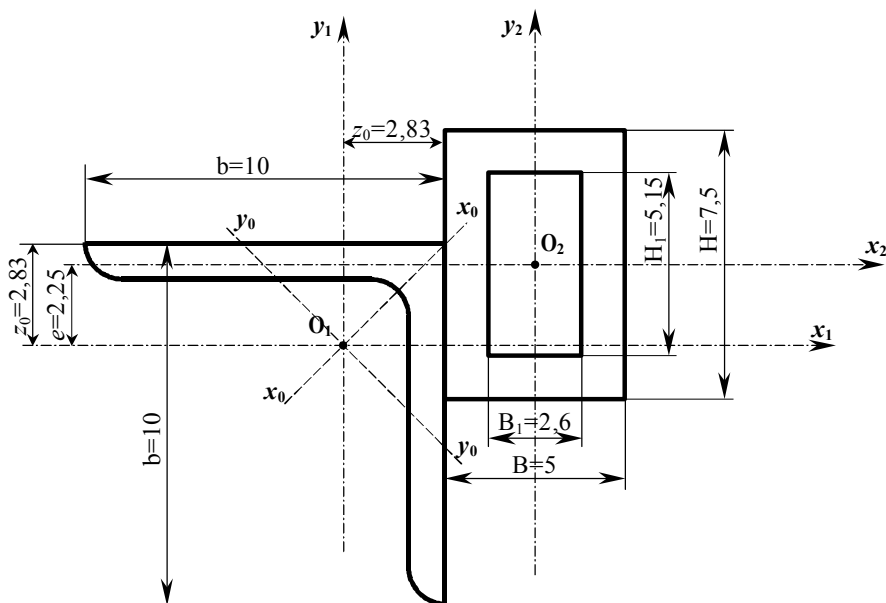
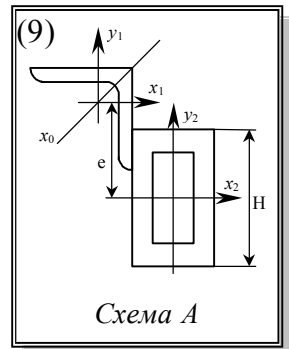


Рис.3.1а. Розрахункова схема за варіантом 902.

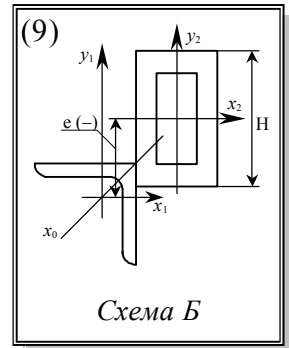
Пояснення. В методичних вказівках рисунки 3.1а, 3.1б, 3.1в і 3.1г показують послідовність дій, які необхідно виконати в ході вирішення задачі. Графічна частина виконаного в повному обсязі завдання зображена на рисунку 3.2.

В картці вихідних даних вказаний рисунок №9. Отже, з додатку А

вибираємо початкову схему (9). На цій схемі (схема А) показано взаємне розташування кутника (профіль №1 з осями x_1 і y_1) і труби прямокутного перерізу (профіль №2 з осями x_2 і y_2). Щоб уникнути помилок не рекомендується під час вирішення завдання змінювати нумерацію і положення осей. В додатку А на всіх рисунках показано додатне значення зміщення e .



Зазвичай при побудові розрахункової схеми виникають складнощі, якщо в картці вихідних даних вказано від'ємне значення e . Як видно з початкової схеми, e – це величина зміщення осей другої фігури відносно першої. Для того, щоб зрозуміти як відобразити на схемі зміщення з від'ємним значенням, достатньо уявити собі, що осі починають зближуватися (наприклад прямокутний профіль рухається вгору). При цьому величина зміщення спочатку зменшується, а потім пройшовши через 0 (при збігу осей), стає від'ємним. В результаті одержуємо варіант рисунка, показаний на схемі Б.



Знак зміщення e , враховується тільки при побудові розрахункової схеми. У всіх подальших розрахунках e додатне.

3.2. Вибираємо допоміжні осі координат xoy і в них визначаємо координати центрів ваги обох профілів. Розраховані значення відображаємо на рисунку (див. рис.3.1б).

$$x_{c1} = b - z_0 = 10 - 2,83 = 7,17 \text{ см}; \quad x_{c2} = b + \frac{B}{2} = 10 + \frac{5}{2} = 12,5 \text{ см};$$

$$y_{c1} = b - z_0 = 10 - 2,83 = 7,17 \text{ см}; \quad y_{c2} = y_{c1} + e = 7,17 + 2,25 = 9,42 \text{ см}.$$

Допоміжні координатні осі можуть бути вибрані довільно. Проте можна рекомендувати розташовувати їх так, щоб центри ваги фігур, які входять в складений переріз, знаходилися в першому квадранті координатної площини. При цьому координати центрів ваги будуть додатними, що зменшує імовірність випадкової помилки. В розглянутому прикладі допоміжні осі проведено через кінці полук кутника.

Наведені вище **формули** для визначення x_{c1} , y_{c1} , x_{c2} і y_{c2} виведені з рисунку розглянутої розрахункової схеми і **не можуть бути використані**

для розрахунку інших розрахункових схем.

Важливо! Тут і надалі не рекомендується знімати значення відстаней (координат) з рисунка, оскільки графічний спосіб їх визначення не забезпечує необхідну точність розрахунку. Графічно можна лише перевірити правильність розрахованих значень.

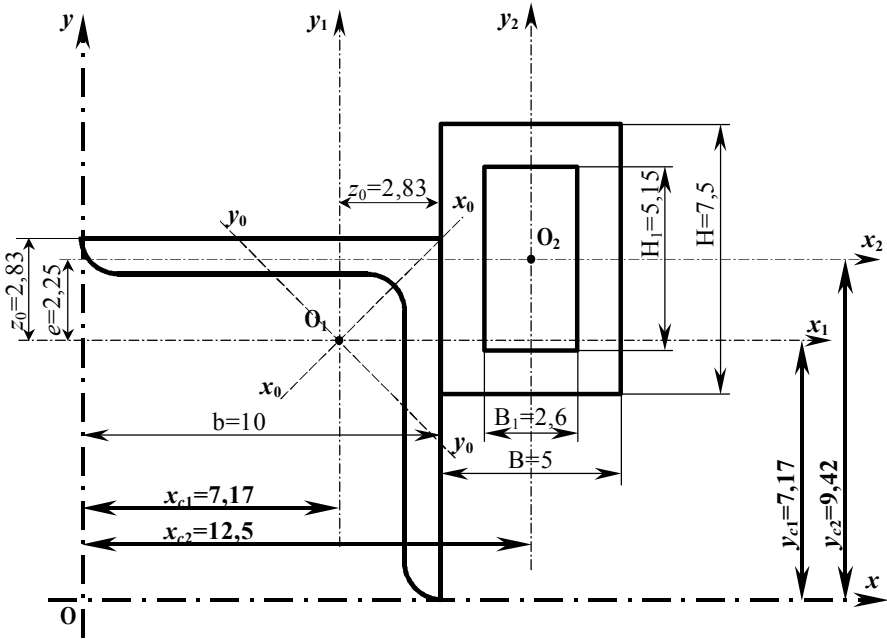


Рис.3.1б. Вибір допоміжних осей і визначення координат центрів ваги профілів.

3.3. Обчислюємо координати спільного центру ваги С складеного перерізу. Для цього заздалегідь визначаємо площі перерізів F_1 і F_2 профілів, які входять до складеного перерізу.

$$F_1 = 19,2 \text{ см}^2; \quad F_2 = B \cdot H - B_1 \cdot H_1 = 5 \cdot 7,5 - 2,6 \cdot 5,1 = 24,24 \text{ см}^2;$$

$$x_c = \frac{F_1 \cdot x_{c1} + F_2 \cdot x_{c2}}{F_1 + F_2} = \frac{19,2 \cdot 7,17 + 24,24 \cdot 12,5}{19,2 + 24,24} = 10,14 \text{ см};$$

$$y_c = \frac{F_1 \cdot y_{c1} + F_2 \cdot y_{c2}}{F_1 + F_2} = \frac{19,2 \cdot 7,17 + 24,24 \cdot 9,42}{19,2 + 24,24} = 8,43 \text{ см}.$$

На рисунку зображуємо центральні осі складеного перерізу XY (див. рис.3.1б)

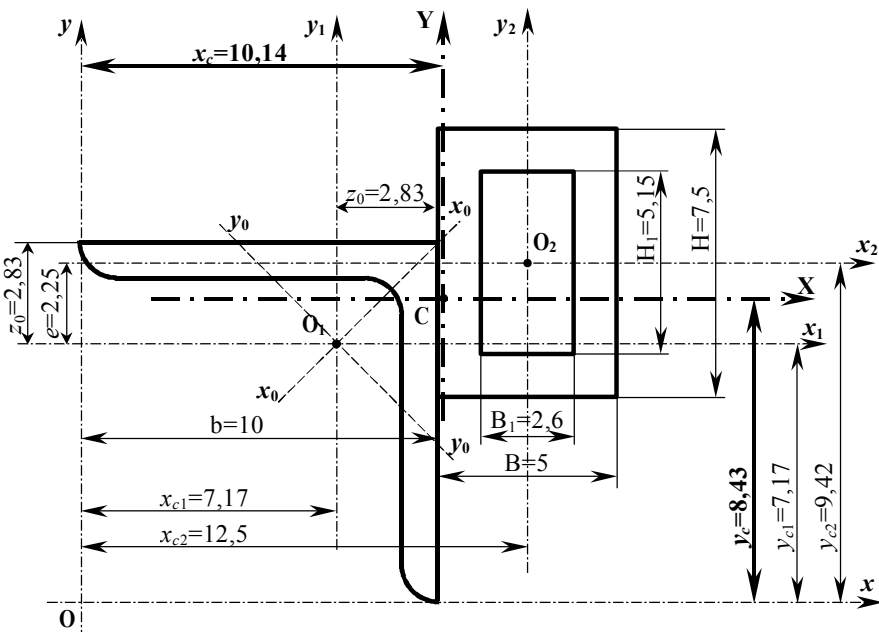


Рис.3.1в. Визначення центральних осей складеного перерізу

Площа перерізу стандартного профілю (в даному випадку кутнику) надається в картці вихідних даних, де позначена як **F**. Площа перерізу прямокутної труби розраховується як різниця площ зовнішнього і внутрішнього прямокутників.

3.4. Визначаємо координати центрів ваги складових фігур перерізу в системі центральних осей складеного перерізу:

$$a_1 = y_{c1} - y_c = 7,17 - 8,43 = -1,26 \text{ см} ;$$

$$b_1 = x_{c1} - x_c = 7,17 - 10,14 = -2,97 \text{ см} ;$$

$$a_2 = y_{c2} - y_c = 9,42 - 8,43 = 0,99 \text{ см} ;$$

$$b_2 = x_{c2} - x_c = 12,5 - 10,14 = 2,36 \text{ см} .$$

Розраховані відстані зображуємо на рисунку (див. рис.3.1з).

Не дивлячись на те, що на рисунку 3.1г значення **a_i** та **b_i** є відстанями між осями, їм приписують знаки “+” або “-”, відповідні знакам координат точок **O₁** і **O₂** в системі центральних осей **ХСУ**. З чотирьох координат завжди дві будуть додатними, а дві - від'ємними.

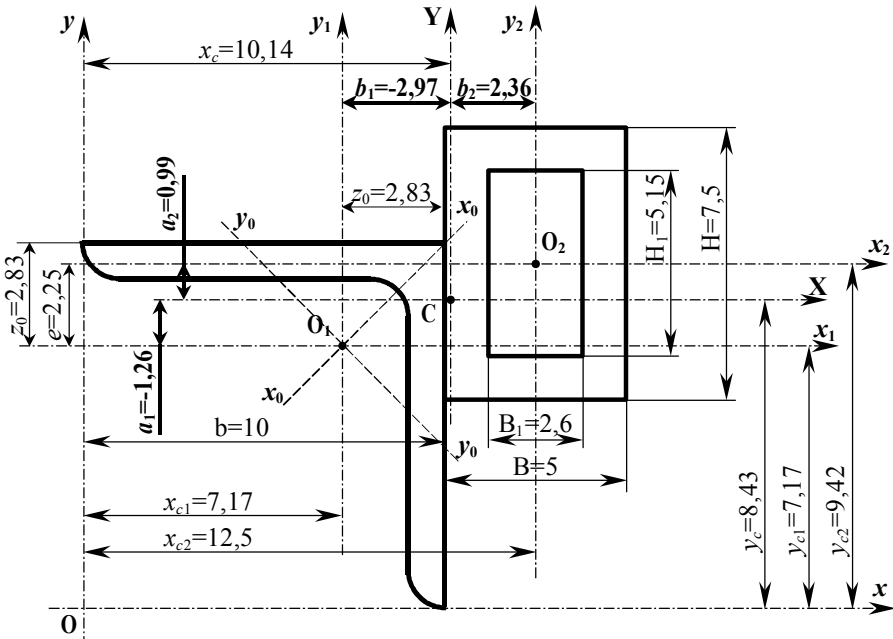


Рис.3.1г. Відстані між центральними осями складеного перерізу і фігур, з яких він складається

3.5. Значення осьових I_{xc} , I_{yc} і відцентрового I_{xcyc} моментів інерції складеного перерізу визначаються за формулами:

$$I_{xc} = I_{x1} + F_1 \cdot a_1^2 + I_{x2} + F_2 \cdot a_2^2;$$

$$I_{yc} = I_{y1} + F_1 \cdot b_1^2 + I_{y2} + F_2 \cdot b_2^2;$$

$$I_{xcyc} = I_{x1y1} + F_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + I_{x2y2} + F_2 \cdot a_2 \cdot b_2 ,,$$

де F_1 і F_2 – площі перерізів першої і другої фігур, що входять до перерізу (див. пункт 3.3);

I_{x1} , I_{y1} , I_{x2} , I_{y2} – власні осьові моменти інерції першої і другої фігур, що входять до перерізу;

I_{x1y1} , I_{x2y2} – власні відцентрові моменти інерції першої і другої фігур, що входять до перерізу.

Вибираємо з вихідних даних необхідні значення і визначаємо власні осьові і відцентрові моменти інерції першої і другої фігур:

$$I_{x1} = I_{y1} = 179 \text{ см}^4; \quad I_{x0} = 284 \text{ см}^4; \quad I_{y0} = 74,1 \text{ см}^4;$$

$$I_{x_1y_1} = \frac{I_{x_0} - I_{y_0}}{2} \cdot \sin(2 \cdot \gamma),$$

де I_{x_0} и I_{y_0} – головні власні осьові моменти інерції кутника;
 γ - кут довороту осей $\gamma = -45^\circ$ (див. пояснення нижче).

$$I_{x_1y_1} = \frac{I_{x_0} - I_{y_0}}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) = \frac{284 - 74,1}{2} \cdot \sin(-45^\circ \cdot 2) = -104,95 \text{ см}^4;$$

$$I_{x_2} = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{B_1 \cdot H_1^3}{12} = \frac{5 \cdot 7,5^3}{12} - \frac{2,6 \cdot 5,1^3}{12} = 147,04 \text{ см}^4;$$

$$I_{y_2} = \frac{B^3 \cdot H}{12} - \frac{B_1^3 \cdot H_1}{12} = \frac{5^3 \cdot 7,5}{12} - \frac{2,6^3 \cdot 5,1}{12} = 70,66 \text{ см}^4;$$

$$I_{x_2y_2} = 0.$$

Власні осьові моменти інерції першого профілю I_{x_1} і I_{y_1} (в даному випадку кутника) наведені в картці вихідних даних, де позначені як I_x та I_y .

Для прямокутного перерізу (схема В) осьові моменти інерції перерізу визначаються по формулах:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12}.$$

Зверніть увагу, що в цих формулах в куб підноситься розмір перпендикулярний осі, відносно якої обчислюється осьовий момент інерції. Якщо необхідно обчислити осьовий момент інерції для труби прямокутного профілю, то принцип його обчислення такий самий, як і для обчислення площі – від осьового моменту інерції зовнішнього прямокутника віднімають осьовий момент інерції внутрішнього прямокутника.

Відцентровий момент інерції перерізу (I_{xy}) може дорівнювати нулю, бути додатнім або від'ємним. Нульове значення ($I_{xy} = 0$) мають перерізи, для яких хоча б одна з розглядуваних центральних осей (x або y) є віссю симетрії. Це справедливо для швелера, двотавра або прямокутника. Для кутника власний відцентровий момент інерції обчислюють за

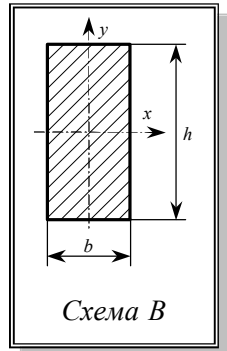


Схема В

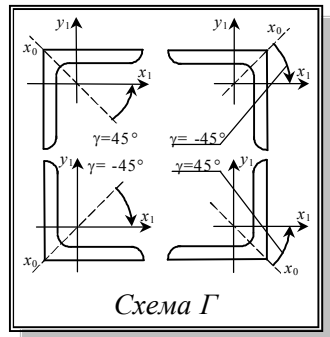


Схема Г

формулою, яка враховує кут γ , на який необхідно повернути його головні центральні осі (x_0, y_0) до співпадіння з робочими осями (x_1, y_1) . Цей кут для рівнобокого кутника дорівнює $\pm 45^\circ$ (див. схему Г), а його знак визначає знак власного відцентрового моменту інерції $I_{x_1 y_1}$.

Розрахуємо значення осьових I_{x_c} , I_{y_c} і відцентрового $I_{x_c y_c}$ моментів інерції складеного перерізу:

$$\begin{aligned} I_{x_c} &= I_{x_1} + F_1 \cdot a_1^2 + I_{x_2} + F_2 \cdot a_2^2 = \\ &= 179 + 19,2 \cdot (-1,26)^2 + 147,04 + 24,24 \cdot 0,99^2 = 380,28 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{y_c} &= I_{y_1} + F_1 \cdot b_1^2 + I_{y_2} + F_2 \cdot b_2^2 = \\ &= 179 + 19,2 \cdot (-2,97)^2 + 70,66 + 24,24 \cdot 2,36^2 = 554,03 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{x_c y_c} &= I_{x_1 y_1} + F_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + I_{x_2 y_2} + F_2 \cdot a_2 \cdot b_2 = \\ &= -104,95 + 19,27 \cdot (-1,26) \cdot (-2,97) + 0 + 24,24 \cdot 0,99 \cdot 2,36 = 23,80 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Аналіз цих розрахунків показує, що осьові моменти інерції завжди додатні (а і b підносяться в квадрат), а відцентровий може бути додатним або від'ємним в залежності від розташування складових перерізу відносно центральних осей.

3.6. Визначаємо положення головних центральних осей U і V складеного перерізу і зображаємо осі на рисунку (див. рис.3.2). Для цього визначаємо величину і знак кута α , на який слід повернути центральні осі X та Y .

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,5 \cdot \text{arctg} \left(-\frac{2 \cdot I_{x_c y_c}}{I_x - I_y} \right) = 0,5 \cdot \text{arctg} \left(-\frac{2 \cdot 23,8}{380,28 - 554,03} \right) = \\ &= 7,66^\circ. \end{aligned}$$

Головними центральними називають такі осі, відносно яких відцентровий момент інерції дорівнює нулю, а осьові центральні моменти інерції приймають екстремальні (максимальне і мінімальне) значення I_{max} , I_{min} . Головні осі повернені відносно центральних осей складеного перерізу на кут α , додатне значення якого відкладається проти годинникової стрілки. В розглянутому прикладі осі повертаємо на кут $\alpha = 7,66^\circ$ проти годинникової стрілки, оскільки кут додатний.

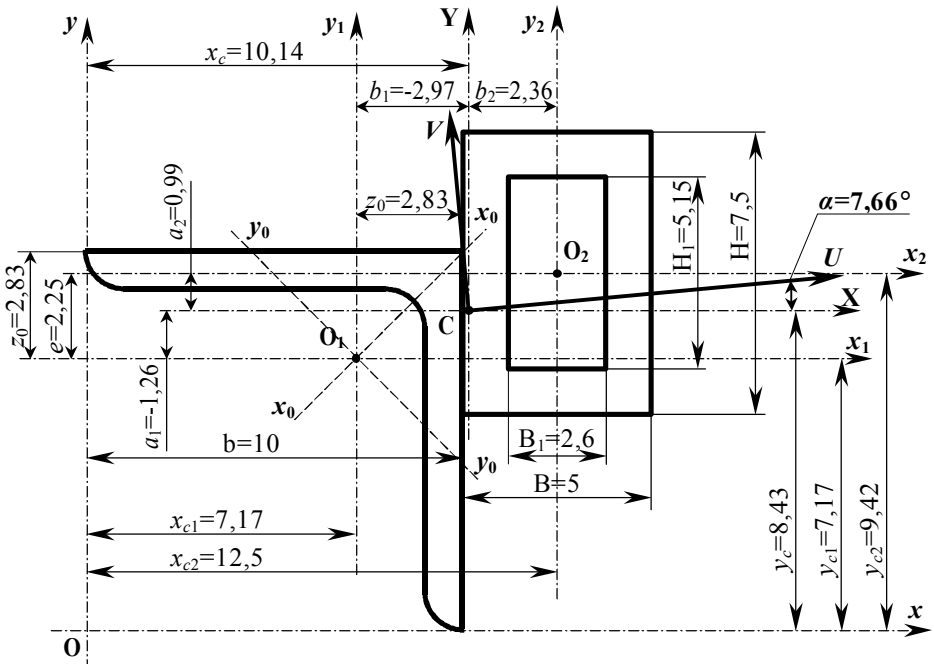


Рис.3.2. Графічна частина розрахунково-графічного завдання.

3.7. Обчислюємо значення головних моментів інерції складеного перерізу:

$$I_{\frac{\max}{\min}} = \frac{I_{x_c} + I_{y_c}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_{x_c} - I_{y_c})^2 + 4 \cdot I_{x_c y_c}^2};$$

$$I_{\frac{\max}{\min}} = \frac{380,28 + 554,03}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(380,28 - 554,03)^2 + 4 \cdot 23,8^2};$$

$$I_U = I_{\max} = 467,155 + 180,152 = 647,307 \text{ см}^4;$$

$$I_V = I_{\min} = 467,155 - 180,152 = 287,003 \text{ см}^4.$$

Оскільки I_{\max} та I_{\min} є осьовими моментами інерції, вони не можуть бути від'ємними.

3.8. Перевірка правильності розрахунку по п.3.7:

$$I_{x_c} + I_{y_c} = I_{\max} + I_{\min};$$

$$3052,1+174,1=3063,1+163,1.$$

Обчислення виконані правильно.

*При перевірці використовується властивість, відповідно до якої сума осьових моментів інерції перерізу відносно будь-яких центральних координатних осей є величиною постійною. Однак, якщо осьові моменти I_{xc} і (або) I_{yc} були **визначені невірно**, то при неправильному в цілому рішенні задачі, така перевірка може дати позитивний результат.*

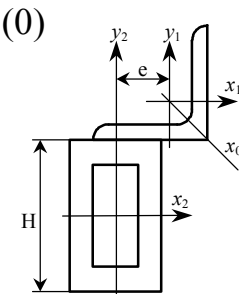
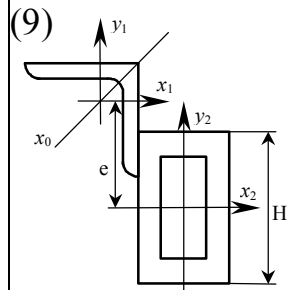
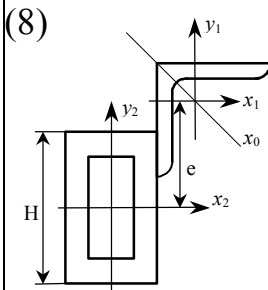
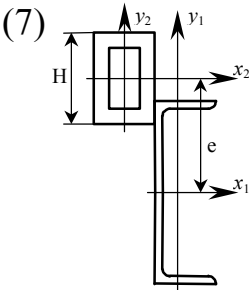
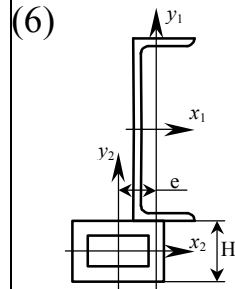
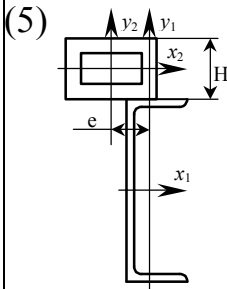
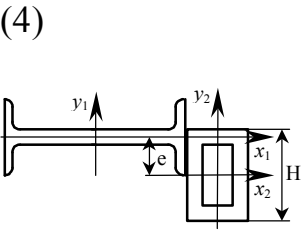
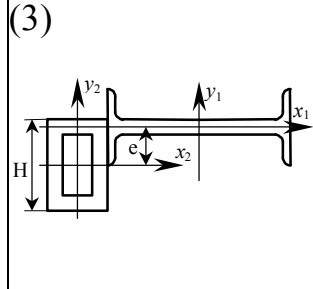
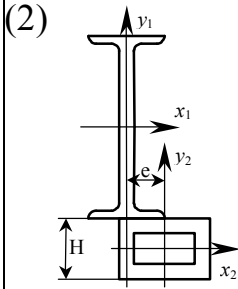
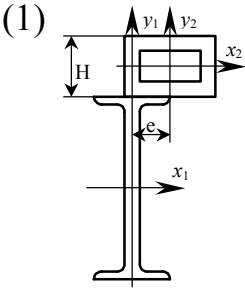
Контрольні запитання

1. Які осі називаються центральними осями інерції перерізу?
2. Які осі називаються головними осями інерції?
3. В яких випадках можна встановити положення головних центральних осей без обчислень?
4. Що називається статичним моментом перерізу відносно осі?
5. Яку розмірність має статичний момент перерізу?
6. Чому дорівнює статичний момент відносно осі, що проходить через центр ваги перерізу?
7. Як визначаються координати центру ваги простого і складного перерізів?
8. Яку розмірність мають моменти інерції перерізу?
9. Який зв'язок між осьовими і полярним моментами інерції перерізу?
10. Чому дорівнює осьовий момент інерції прямокутника відносно його головних центральних осей?
11. Чому дорівнює осьовий момент інерції прямокутника відносно осі, яка співпадає з однією з його сторін?
12. Привести залежності, за якими обчислюються осьові та відцентровий моменти інерції перерізу при паралельному переносі осей.
13. Привести формули, які виражають зміну осьових і відцентрового моментів інерції перерізу при повороті осей.
14. Які властивості мають головні центральні моменти інерції і як вони визначаються?
15. Як визначається положення головних центральних осей?

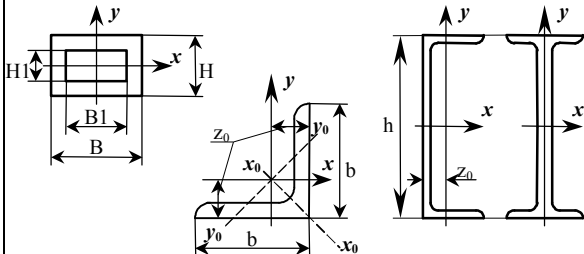
Список літератури

1. Міцність та надійність машин/ В.Я. Анілович, О.С.Грінченко, В.В. Карабін та ін.; За ред. В.Я. Аніловича.-К.: Урожай, 1996.-288 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб.для втузов.-9-е изд., перераб.- М.: Наука, 1986.- 512 с.
3. Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів: Підручник. - К.: Вища шк.,1993. - 655 с.: іл.
4. Заславский Б.В. Краткий курс сопротивления материалов: Учеб. для втузов.- М.: Машиностроение; 1986.- 328 с.

Додаток А. Варіанти розрахункових схем



Геометричні параметри профілів



Додаток Б. Порядок вибору вихідних даних

Методичні вказівки дозволяють по індивідуальному шифру сформувати вихідні дані за допомогою рисунків і таблиць, які знаходяться в додатках. Для цього під кожною цифрою шифру підписується одна з трьох букв U, V, T. Тоді букві U відповідатиме перша цифра шифру, букві V – друга, а букві T – третя.

3	0	2
U	V	T
<i>Схема Д</i>		

Наприклад для шифру 302 отримаємо $U=3$; $V=0$; $T=2$ (див. схему Д).

Номер варіанта розрахункової схеми (додаток А) визначається першою цифрою шифру ($U=3$). Для шифру 302 це розрахункова схема №3, яка містить стандартний профіль *двотавр*. Його параметри вибираються по значенню $T=2$ (див. схему Д) з другого рядка таблиці В.1. додатку В "Параметри стандартних профілів" ($h = 18$ см; $F = 23,4$ см²; $I_x = 1290$ см⁴; $I_y = 82,6$ см⁴). У зв'язку з тим, що на третій розрахунковій схемі (додаток А), двотавр розташований горизонтально, значення I_x та I_y необхідно поміняти місцями, тобто $I_x = 82,6$ см⁴; $I_y = 1290$ см⁴.

Решта параметрів розрахункової схеми може бути обчислена за формулами (обчислення виконано для шифру 302):

$d=(1+0,1 \cdot T)=(1+0,1 \cdot 2)=1,2$ см – товщина стінки прямокутного профілю

$B=5+V=5+0=5$ см;

$B_1=B-2 \cdot d=5-2 \cdot 1,2=2,6$ см;

$H=1,5 \cdot B+(-1)^V \cdot V=1,5 \cdot 5+(-1)^0 \cdot 0=7,5$ см;

$H_1=H-2 \cdot d=7,5-2 \cdot 1,2=5,1$ см;

$e=0,05 \cdot U \cdot B \cdot (-1)^U=0,05 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (-1)^3=-0,75$ см – зміщення осей профілів.

Додаток В. Параметри стандартних профілів

Таблиця В.1. Параметри двотаврів

Значення Т	h , см	F , см ²	I_x , см ⁴	I_y , см ⁴
1	16	20,2	873	58,6
2	18	23,4	1290	82,6
3	20	26,8	1840	115
4	22	30,6	2550	157
5	24	34,8	3460	198
6	27	40,2	5010	260
7	30	46,5	7080	337
8	33	53,8	9840	419
9	36	61,9	13380	516
0	40	72,6	19062	667

Таблиця В.2. Параметри швелерів

Значення Т	h , см	F , см ²	I_x , см ⁴	I_y , см ⁴	z_0 , см
1	16	18,1	747	63,3	1,8
2	18	20,7	1090	86	1,9
3	20	23,4	1520	113	2
4	22	26,7	2110	151	2,2
5	24	30,6	2900	208	2,42
6	27	35,2	4160	262	2,47
7	30	40,5	5810	327	2,52
8	33	46,5	7980	410	2,59
9	36	53,4	10820	513	2,68
0	40	61,5	15220	642	2,75

Таблиця В.3. Параметри рівнобоких кутників

Значення Т	b , см	F , см ²	I_{x0} , см ⁴	I_{y0} , см ⁴	$I_x=I_y$, см ⁴	z_0 , см
1	9	15,6	186	48,6	118	2,55
2	10	19,2	284	74,1	179	2,83
3	11	17,2	315	81,8	198	3,00
4	12,5	24,3	571	149	360	4,45
5	14	27,3	814	211	512	3,82
6	16	49,1	1866	405	1175	4,55
7	18	42,2	2093	540	1317	4,89
8	20	76,5	4560	1182	2871	5,7
9	25	97	9160	2370	5765	6,91
0	25	119,7	11125	2887	7006	7,11

ЗМІСТ

Загальні положення.....	3
1. Приклад виконання завдання за шифром 302 (двотавр).....	4
2. Приклад виконання завдання за шифром 502 (швелер).....	12
3. Приклад виконання завдання за шифром 902 (кутник).....	21
Контрольні запитання.....	30
Список літератури.....	30
Додаток А. Варіанти розрахункових схем.....	31
Додаток Б. Порядок вибору вихідних даних.....	32
Додаток В. Параметри стандартних профілів.....	33

ОПІР МАТЕРІАЛІВ.
ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СКЛАДЕНИХ ПЕРЕРІЗІВ

Методичні вказівки
до проведення практичних занять
та індивідуальні завдання

Укладачі:

ГРІНЧЕНКО Олександр Степанович,
САВЧЕНКО Володимир Борисович,
КАЛІНІН Євген Іванович,
СВІРГУН Ольга Анатоліївна
КОНЦЕВИЧ Олександр Андрійович

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Умов. друк. арк. 2,1
Наклад 100 примірників.

Віддруковано у друкарні ФОП Заночкин Д.Л.
м. Харків, вул.Плеханівська, 16.
Зам. 0305/2019. тел. 757-93-82.