

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА
ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ**

до практичних робіт з дисципліни «Теоретична механіка»
для студентів денної форми навчання спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Запоріжжя
2024

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни “Теоретична механіка” для студентів денної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укл.: А. Д. Фурсіна, В.Г. Шевченко, Г. М. Рудь. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», Запорізький авіаційний коледж ім. О.Г. Івченка. 2024 – 13 с.

Укладачі: А. Д. Фурсіна, доцент, к.т.н., НУЗП
В.Г. Шевченко, доцент, к.т.н., зав.каф. теор. та
прикладної механіки НУЗП
Г. М. Рудь, викладач ЗАК

Рецензент: В. І. Пожуєв, д.т.н., професор

Затверджено
на засіданні кафедри теоретичної
та прикладної механіки
Протокол № 5
від « 6 » грудня 2024 року
Рекомендовано до видання
НМК Електротехнічного
факультету
Протокол № 3
від « 27 » грудня 2024 року

ЗМІСТ

1. Правила оформлення практичних робіт	4
2. Загальні положення	5
3. Теоретичні відомості	5
3.1 Визначення зусиль в шарнірно закріплених стержневих системах	5
4. Умови задач та вихідні дані	6
5. Приклад розрахунку стержневої системи	9
5.1 Визначення внутрішніх нормальних сил в стержнях системи	9
5.2 Підбір перерізу першого стержня	10
5.3 Підбір перерізу другого стержня	11
Література	13

1 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Розрахунково-графічну роботу треба оформлювати на стандартних аркушах А4 (210x297), писати на одній стороні аркуша і залишати поля: ліворуч – 20 мм, праворуч – 15 мм. Аркуші нумерують включаючи і титульний.

Умову кожної задачі слід записувати повністю, необхідні рисунки виконати олівцем, акуратно, без помарок та виправлень. Рішення повинно супроводжуватися стислими, послідовними і грамотними, без скорочення слів, поясненнями і кресленнями. Розрахункові формули приводяться у загальному вигляді, потім в них підставляються числові значення і записується кінцевий результат (із зазначенням одиниць розмірності). Після цього додається послідовна розшифровка і пояснення кожної з величин, яка входить до формули, якщо вона не зустрічалась в попередніх розрахунках.

Практичні роботи, що виконані неохайно, без дотримання пред'явлених вимог, або не свого варіанту, не зараховуються.

Студенти, які не виконали практичні роботи та не виправили відмічені рецензентом помилки, вважаються боржниками.

2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Хороше засвоєння курсу теоретичної механіки вимагає не тільки глибокого вивчення теорії, але і набуття навичок в рішенні задач. Мета практичних робіт полягає, в першу чергу, в поглибленому засвоєнні теоретичного курсу, закріпленні навичок практичних розрахунків конструкцій, які зазнають навантажень різного типу та чіткому оформленні результатів цих розрахунків.

На основних законах та принципах теоретичної механіки базуються майже всі загально-інженерні дисципліни, а отже теоретична механіка є однією із найбільш важливих фізико-математичних дисциплін, яка відіграє суттєву роль в підготовці інженерів будь-яких спеціальностей. Теоретична механіка широко застосовується в авіації, космонавтиці, машинобудуванні, кібернетиці і т.д. На базі теоретичної механіки виникло багато наук, які успішно розвиваються, такі , як опір матеріалів, теорія пружності, гідродинаміка, газова динаміка та інші.

Задача по визначенню зусиль в стержнях належить до питань першого розділу теоретичної механіки – статички. В статичці розглядаються властивості сил, прикладених до твердого тіла. Статика базується на аксіомах, із яких за законами логіки, вводячи нові поняття, отримують всі необхідні наслідки в зручній для застосування формі.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.1 Визначення зусиль в шарнірно закріплених стержневих системах

При розтяганні-стисканні в будь-якому перерізі бруса виникає тільки один внутрішній силовий фактор – нормальна (повздовжня) сила N . Для визначення нормальної сили користуються методом перерізів. Нормальна сила, яка виникає в даному перерізі, чисельно дорівнює алгебраїчній сумі проєкцій всіх зовнішніх сил, діючих по один бік від даного перерізу, на повздовжню вісь бруса z . Повздовжня сила N вважається додатною, якщо вона спрямована від перерізу i , отже, викликає розтяг. Повздовжня сила N вважається від'ємною, якщо вона спрямована до перерізу i , отже, викликає стискання. За результатами розрахунків будуються епюри поздовжніх сил.

В конструкціях з шарнірно з'єднаних стержнів в поперечних перерізах кожного стержня виникають нормальні сили, що дорівнюють реакціям в стержнях. Тому будувати епюри немає потреби.

Визначивши внутрішні зусилля N , можна знайти нормальні напруження σ в поперечних перерізах стержнів:

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (3.1)$$

де N – повздовжня сила в перерізі, Н;

A – площа поперечного перерізу, мм^2 .

Розрахунки на міцність при розтяганні-стисканні стержнів виконуються за умовою міцності

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma], \quad (3.2)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$.

За умовою міцності можна виконати перевірочний розрахунок стержня або, визначивши потрібну площу, підібрати переріз відповідного розміру (проектний розрахунок).

4 УМОВИ ЗАДАЧ ТА ВИХІДНІ ДАНІ

Розрахунок стержневих систем

Для заданої стержневої системи необхідно:

- 1) визначити реакції стержнів, що утримують вантажі F_1 та F_2 ;
- 2) підібрати для одного зі стержнів круглий переріз, для іншого – переріз, що складається з двох рівнобічних кутників.

Допустима напруження для матеріалу стержнів $[\sigma] = 120 \text{ Н/мм}^2$.

Вихідні дані та схеми навантаження – дивись таблицю 1.1 та рисунок 1.1.

Таблиця 4.1

Варіант	Схема	F1, кН	F2, кН	α , град	β , град	γ , град
1	1	50	70	40	40	-
2	2	40	60	30	20	60
3	3	20	90	50	75	-
4	4	50	60	65	90	-
5	5	110	40	45	25	25
6	6	80	110	40	30	-
7	7	150	110	42	22	-
8	8	80	70	40	35	105
9	9	30	180	45	30	-
10	10	120	80	20	55	30
11	1	80	90	30	40	-
12	2	50	80	40	20	70
13	3	80	120	40	70	-
14	4	40	90	50	80	-
15	5	120	15	40	30	50
16	6	80	120	20	60	-
17	7	90	120	35	30	-
18	8	100	60	30	45	120
19	9	70	200	30	50	-
20	10	90	150	25	50	45
21	1	70	20	60	40	-
22	2	70	40	30	40	60
23	3	30	70	30	45	-
24	4	190	60	40	90	-
25	5	150	70	60	20	45
26	6	40	120	30	50	-
27	7	70	140	30	15	-
28	8	120	50	50	40	110
29	9	60	150	50	20	-
30	10	60	130	40	45	35

5 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СТЕРЖНЕВОЇ СИСТЕМИ

Для заданої стержневої системи необхідно:

а) визначити реакції стержнів, що утримують вантажі F_1 та F_2 ;

б) підібрати для одного зі стержнів круглий переріз, для іншого – переріз, що складається з двох рівнобічних кутників.

Допустиме напруження для матеріалу стержнів $[\sigma] = 120 \text{ Н/мм}^2$.

Вихідні дані:

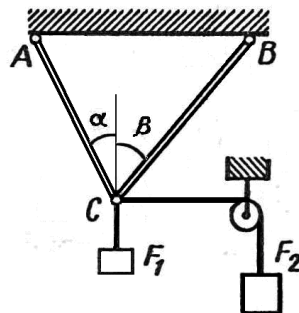
$$F_1 = 80 \text{ кН}$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$F_2 = 100 \text{ кН}$$

$$[\sigma] = 120 \text{ Н/мм}^2$$

$$\alpha = 30^\circ$$



Розв'язок 5.1

5.1 Визначення внутрішніх нормальних сил в стержнях системи

Розглядаючи рівновагу шарніра A , звільняємось від зв'язків (стержнів) та замінюємо їхню дію на шарнір силами реакцій R_1 і R_2 .

Будуємо розрахункову схему задачі (рисунк 5.2), обираємо осі координат.

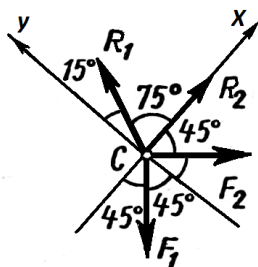


Рисунок 5.2

Складаємо рівняння рівноваги:

$$\sum F_{\text{кх}} = 0: R_2 + R_1 \cdot \cos 75^\circ + F_2 \cos 45^\circ - F_1 \cos 45^\circ = 0; \quad (5.1)$$

$$\sum F_{\text{кy}} = 0: R_1 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cos 45^\circ - F_2 \cos 45^\circ = 0. \quad (5.2)$$

Із рівняння (5.2) визначаємо R_1

$$R_1 = \frac{F_1 \cos 45^\circ + F_2 \cos 45^\circ}{\cos 15^\circ} = \frac{80 \cos 45^\circ + 100 \cos 45^\circ}{\cos 15^\circ} = 131.77 \text{ кН.}$$

Із рівняння (5.1) визначаємо R_2

$$\begin{aligned} R_2 &= -R_1 \cos 75^\circ - F_2 \cos 45^\circ + F_1 \cos 45^\circ = \\ &= -131.77 \cos 75^\circ - 100 \cos 45^\circ + 80 \cos 45^\circ = -48.25 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Сили реакції стержнів дорівнюють внутрішнім нормальним силам в стержнях системи:

$$N_1 = R_1 = 131.77 \text{ кН}; \quad N_2 = R_2 = -48.25 \text{ кН}.$$

5.2 Підбір перерізу першого стержня

Для першого стержня обираємо круглий переріз та визначаємо його діаметр.

Виконуємо проектний розрахунок стержня

За умовою міцності при розтягу-стисканні:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma], \quad (5.3)$$

де σ – нормальне напруження в перерізі стержня, Н/мм²;

N – нормальна сила в перерізі, Н;

A – площа поперечного перерізу, мм²;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, Н/мм².

Користуючись формулою (5.3), визначаємо потрібну площу перерізу стержня:

$$A_1 = \frac{N_1}{[\sigma]} = \frac{131.77 \cdot 10^3}{120} = 1098.08^2 \text{ мм}.$$

Для круглого перерізу $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, звідки визначаємо потрібний діаметр стержня:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1098.08}{3.14}} = 37.4 \text{ мм.}$$

Округляємо діаметр до стандартного значення:

$$d_{1cm} = 38 \text{ мм.}$$

Для прийнятого профілю з $d_{1cm} = 38$ мм визначимо відсоток перевантаження:

$$A_1 = \frac{\pi d_{1cm}^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 38^2}{4} = 1133.54 \text{ мм}^2;$$

$$\sigma_{1cm} = \frac{N_1}{A_{1cm}} = \frac{131.77 \cdot 10^3 \text{ Н}}{1133.54 \text{ мм}^2} = 116.2 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\Delta_{1cm} = \frac{|\sigma_{1cm} - [\sigma]|}{[\sigma]} \cdot 100 \% = \frac{|116.2 - 120|}{120} \cdot 100 \% = 3.17 \% < 10 \% -$$

недовантаження в межах допустимого, тобто брус є економічним.

5.3 Підбір перерізу другого стержня

Для другого стержня обираємо переріз, що складається з двох рівнобічних кутників.

Виконуємо проєктний розрахунок стержня

Користуючись формулою (5.3), визначаємо потрібну площу перерізу другого стержня:

$$A_2 = \frac{N_2}{[\sigma]} = \frac{48.25 \cdot 10^3}{120} = 402.08 \text{ мм}^2.$$

Потрібна площа перерізу одного кутника

$$A_2^* = \frac{A_2}{2} = \frac{402.08}{2} = 201.04 \text{ мм}^2 = 2.01 \text{ см}^2$$

За таблицею сортamentів обираємо кутник № 3,6 (36 × 3) з площею перерізу $A_1 = 2.1 \text{ см}^2 = 210 \text{ мм}^2$.

Для прийнятого профілю визначаємо відсоток недовантаження:

$$\sigma_{2 \text{ см}} = \frac{N_2}{2 \cdot A_1} = \frac{48.25 \cdot 10^3 \text{ Н}}{2 \cdot 210 \text{ мм}^2} = 114.88 \text{ Н/мм}^2 ;$$

$$\Delta_2 = \frac{|\sigma_{2 \text{ см}} - [\sigma]|}{[\sigma]} \cdot 100 \% = \frac{|114.88 - 120|}{120} \cdot 100 \% = 4.27 \% < 10 \% -$$

недовантаження в межах допустимого, тобто брус є економічним.

Висновок: Для першого стержня заданої стержневої системи обрано круглий переріз з діаметром 38 мм, для другого стержня – переріз, складений з двох рівнобічних кутників 36 × 3. При цьому недовантаження обох стержнів не перевищує допустимі 10 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. С.М. Тарг. Скорочений курс теоретичної механіки . -К.: В. шк. - 2001. -478 с.
2. М.М. Нікітін. Курс теоретичної механіки. .-К.: В.шк. -2011. -608 с.
3. Теоретична та прикладна механіка = Theoretical and Applied Mechanics: навчальний посібник : в 4 ч. Частина I. Теоретична механіка/ Шевченко В.Г., Фурсіна Ф.Д., Шумикін С.О., Кружнова С.Ю. – Запоріжжя – Просвіта, 2022. – 188с.
4. Збірник завдань для курсових робіт з теоретичної механіки. / Під ред. Яблонського А. А. – К.:Наукова думка. - 2002. — 382 с.
5. Методичні вказівки і завдання до практичних робіт з курсу «Теоретична та прикладна механіка» для студентів денної форми навчання спеціальностей: 131 «Прикладна механіка» (частина 1, частина 2) (В. Г. Шевченко, А. Д. Фурсіна, С. Ю. Кружнова) - Запоріжжя: НУЗП. - 2019. - 26 с.; 22 с.
6. Методичні вказівки і завдання до виконання розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Технічна механіка» для студентів денної форми навчання галузі знань 173 «Авіоніка». Спеціалізація «Електротехнічні комплекси та системи літальних апаратів» / Укл. :А.Д. Фурсіна, С.Ю. Кружнова. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 14 с.