



**Міністерство освіти і науки України**

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

**Навчально-науковий інститут  
переробних і харчових виробництв**

**Кафедра фізики і теоретичної механіки**

**ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА**

**СТАТИКА.  
СИСТЕМА ЗБІЖНИХ СИЛ У ПРОСТОРИ**

**Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт**

**для студентів денної та заочної форм навчання  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,  
спеціальностей**

**133 Галузеве машинобудування  
208 Агроінженерія  
274 Автомобільний транспорт**

**Харків  
2020**

Міністерство освіти і науки України  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут переробних і харчових  
виробництв

Кафедра фізики і теоретичної механіки

**ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА**

**СТАТИКА.  
СИСТЕМА ЗБІЖНИХ СИЛ У ПРОСТОРИ**

Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт

для студентів денної та заочної форм навчання  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальностей  
133 Галузеве машинобудування  
208 Агроінженерія  
274 Автомобільний транспорт

Затверджено рішенням  
Науково-методичної ради  
ННІ ПХВ ХНТУСГ  
Протокол № 5  
від 26 . 11 . 2020 р.

Харків  
2020

## УДК 531/534 (075.8)

Схвалено на засіданні кафедри фізики і теоретичної механіки  
протокол № 3 від 12 листопада 2020 р.

Теоретична механіка. Статика. система збіжних сил у просторі: методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальностей 133 Галузеве машинобудування, 208 Агроінженерія, 274 Автомобільний транспорт; Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка ; уклад.: В. В. Бурлака, В. П. Ольшанський, М. В. Сліпченко. – Харків : [б. в.], 2020.–22 с.

Методичні вказівки призначені для отримання навичок при виконанні практичної роботи з навчальної дисципліни «Теоретична механіка».

В роботі наведені визначення системи збіжних сил у просторі, визначення проєкції сили на вісь, а також розглянуто подвійне проєктування, для випадків, коли силу спочатку необхідно спроєктувати на площину, а вже потім на вісь. Наведено аналітичні умови рівноваги просторової системи збіжних сил, а також наведено алгоритм розв'язку задач зі застосуванням вказаних умов рівноваги. Для закріплення навичок наведено приклади розв'язку задач, а також запропоновані приклади задач для самостійного розвитку.

Методичні вказівки призначені для студентів вищих навчальних закладів технічних спеціальностей.

### Рецензенти:

**О. І. Завгородній**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри вищої математики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**М. Л. Шуляк**, д-р техн. наук, доц., в. о. професора кафедри тракторів і автомобілей Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Відповідальний за випуск: М. В. Сліпченко**, канд. техн. наук., доцент

© Бурлака В. В., Ольшанський В. П., Сліпченко М. В., 2020

© ХНТУСГ, 2020

# СИСТЕМА ЗБІЖНИХ СИЛ У ПРОСТОРИ

## Зміст

1. Система збіжних сил у просторі.
2. Аналітичні умови рівноваги просторової системи збіжних сил.
3. Порядок розв'язування задач.
4. Приклади розв'язування задач.
5. Задачі для самостійного розв'язування

### 1. Система збіжних сил у просторі

*Система сил називається просторовою, якщо лінії дії сил, що прикладені до тіла, не лежать в одній площині.*

Просторова система збіжних сил зводиться до рівнодіючої  $\vec{R}$ , яка прикладена до точки перетину ліній дії складових сил систем, і зображається замикаючою стороною просторового силового многокутника, що побудований на цих силах, тобто:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{k=1} \vec{F}_k.$$

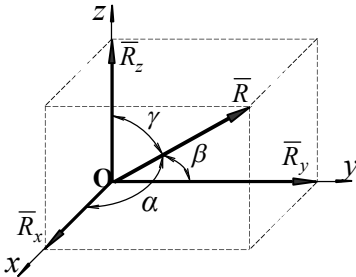


Рис.3.1.

Силу  $\vec{R}$  можна розкласти на три взаємно перпендикулярні складові за осями просторової системи координат (рис.3.1). Сила  $\vec{R}$  являє собою діагональ паралелепіпеда, а його сторони - складові сили.

Нехай сила  $\vec{R}$  утворює з осями прямокутної системи координат кути  $\alpha, \beta, \gamma$ . Розкладемо силу  $R$  на три складові -

$\bar{R}_x, \bar{R}_y, \bar{R}_z$ . Модулі цих складових являють собою проекції  $R_x, R_y, R_z$  сили  $\bar{R}$  на осі координат.

Модуль і напрям сили  $\bar{R}$  за відомими проекціями на три взаємно перпендикулярні осі  $Ox, Oy, Oz$  визначаються наступним чином:

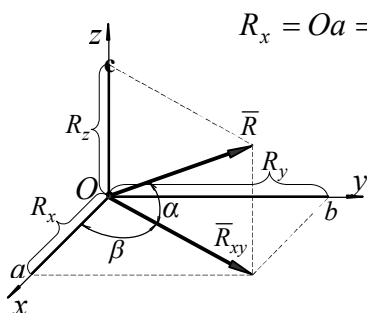
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2};$$

$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R}; \quad \cos \beta = \frac{R_y}{R}; \quad \cos \gamma = \frac{R_z}{R}.$$

В деяких випадках при визначенні проекції сили на координатну вісь невідомий є кут між силою і віссю, але відомими є кут між силою і координатною площиною та кут між віссю і проекцією сили на площину (рис.3.2).

В цьому випадку для визначення проекції  $R_x$  сили  $\bar{R}$  на вісь  $Ox$  необхідно:

- знайти проекцію  $\bar{R}_{xy}$  сили  $\bar{R}$  на координатну площину  $Oxy$ :  $R_{xy} = R \cos \alpha$ ,
- обчислити проекцію вектора  $\bar{R}_{xy}$  на вісь  $Ox$ :



$$R_x = Oa = R_{xy} \cos \beta = R \cos \alpha \cos \beta.$$

Таке проектування сили на вісь носить назву **подвійного проектування**.

Рис. 2.

Аналогічно, проекція сили на вісь  $Oy$ :

$$R_y = Ob = R_{xy} \sin \beta = R \cos \alpha \sin \beta. \bar{R}$$

Проекція сили  $\bar{R}$  на вісь  $z$ :

$$R_z = Oc = R \sin \alpha .$$

## 2. Аналітичні умови рівноваги просторової системи збіжних сил

Аналітичні умови рівноваги просторової системи збіжних сил виражаються трьома рівняннями:

$$\begin{cases} R_x = \sum F_{kx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0; \\ R_y = \sum F_{ky} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0; \\ R_z = \sum F_{kz} = F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = 0. \end{cases}$$

і формулюються так: *просторова система збіжних сил знаходиться в рівновазі, якщо алгебраїчна сума проєкцій усіх сил на кожен з трьох координатних осей дорівнює нулю.*

## 3. Порядок розв'язування задач

Задачі цього розділу рекомендується розв'язувати в наступному порядку:

1. Виділити об'єкт рівноваги, обираючи ту частину конструкції, до якої прикладені активні сили.
2. Встановити, які активні сили прикладені до об'єкту рівноваги, що розглядається.
3. Вказати можливі напрями реакцій.
4. Обрати систему координат, віддаючи перевагу прямокутній.
5. Скласти рівняння рівноваги в проєкціях на осі обраної системи координат.

6. Розв'язати отриману систему рівнянь відносно невідомих величин.

#### 4. Приклади розв'язування задач

##### Задача № 1

Тіло вагою  $Q=100$  Н (рис.3.3) утримується невагомою стрілою  $AO$ , яка закріплена шарнірно в точці  $A$  і нахилена під кутом  $45^\circ$  до вертикалі, та двома горизонтальними рівними за довжиною ланцюгами  $BO$  і  $CO$ ;  $\angle CBO = \angle BCO = 45^\circ$ .

**Визначити** зусилля в стрілі та натяг  $\bar{T}_B$  і  $\bar{T}_C$  ланцюгів.

**Розв'язування.** Для визначення реакцій розглянемо рівновагу вузла  $O$ . До вузла прикладена сила  $\bar{Q}$  та реакції в'язей  $OA$ ,  $OB$  і  $OC$ .

Реакції ланцюгів  $OC$  та  $OB$  напрямимо вздовж ланцюгів від точки  $O$  до

точок  $B$  і  $C$ . Реакцію  $\bar{S}$  стріли  $OA$ , розглядаючи її як ідеальний стержень, напрямимо від точки  $O$  вздовж стріли, приймаючи, що вона розтягнута.

Таким чином, вузол  $O$  знаходиться в рівновазі під дією просторової системи чотирьох збіжних сил:  $\bar{Q}$ ;  $\bar{T}_C$ ;  $\bar{T}_B$ ;  $\bar{S}$ .

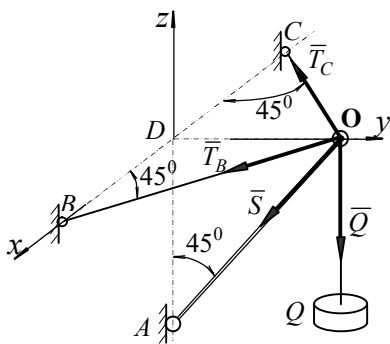


Рис. 3.3.

Для цієї системи сил можна скласти три рівняння рівноваги. Оберемо прямокутну систему координат з

початком в точці  $D$ . Вісь  $Dx$  напрямимо вздовж  $DB$ , вісь  $Dy$  – горизонтально вправо, а вісь  $Dz$  вертикально вгору.

Складемо рівняння рівноваги для отриманої системи сил в проєкціях на осі обраної системи координат:

$$1. \sum F_{kx} = T_B \cos 45^\circ - T_C \cos 45^\circ = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = -T_B \sin 45^\circ - T_C \sin 45^\circ - S \cos 45^\circ = 0;$$

$$3. \sum F_{kz} = -S \sin 45^\circ - Q = 0.$$

З рівняння (1) випливає:  $T_B = T_C$ .

З рівняння (3) дістанемо:

$$S = -\frac{Q}{\sin 45^\circ} = -\frac{100}{0,707} = -141,4 \text{ Н.}$$

Розв'язавши рівняння (2) знайдемо  $T_B$ :

$$-T_B \sin 45^\circ - T_B \sin 45^\circ = S \cos 45^\circ$$

$$T_B = \frac{S \cos 45^\circ}{2 \sin 45^\circ} = \frac{141,7 \cdot 0,707}{2 \cdot 0,707} = 70,7 \text{ Н.}$$

Оскільки при розв'язуванні задачі визначаються алгебраїчні значення реакцій, то у випадку, коли будь яка з них набуває від'ємного значення, це означає, що напрям цієї сили треба змінити на протилежний. Знак мінус при значенні  $S$  вказує на те, що стріла  $OA$  не розтягнута, а стиснута, тобто напрям реакції  $S$  в протилежний бік від показаного на рис.3.3.

**Відповідь:**  $S = -141,7 \text{ Н}; T_B = T_C = 70,7 \text{ Н.}$



## Задача № 2

Ідеальні стержні  $CA$ ,  $CB$  і  $CD$  шарнірно з'єднані в точці  $C$  (рис.3.4). Стержні  $CA$  і  $CB$  взаємно перпендикулярні, лежать в горизонтальній площині та рівні за довжиною. Кут  $\theta$  між горизонтальною площиною і стержнем  $CD$  складає  $60^\circ$ . Вузол  $C$  конструкції навантажений вертикальною силою  $Q = 100$  кН.

**Визначити** зусилля  $S_A, S_B, S_D$  в стержнях.

**Розв'язання.** Для визначення реакцій в стержнях  $CA$ ,  $CB$  і  $CD$  розглянемо рівновагу вузла  $C$ .

До вузла прикладені: задана активна сила  $\bar{Q}$  і зусилля стержнів  $\bar{S}_A, \bar{S}_B, \bar{S}_D$ , з якими стержні діють на вузол  $C$ . Реакції  $\bar{S}_A, \bar{S}_B, \bar{S}_D$  напрямимо від вузла уздовж стержнів, приймаючи, що всі стержні розтягнуті. Оскільки всі сили прикладені до точки  $C$ , то для визначення невідомих сил можна скористатися умовами рівноваги просторової системи збіжних сил.

За початок системи координат оберемо точку  $O$ , вісь  $Oz$  напрямимо вгору, перпендикулярно до площини, в якій лежать стержні  $CA$  і  $CB$ , а осі  $Ox$  і  $Oy$  паралельно до ліній дій реакцій  $\bar{S}_B$  і  $\bar{S}_A$ . При такому обранні напрямів осей

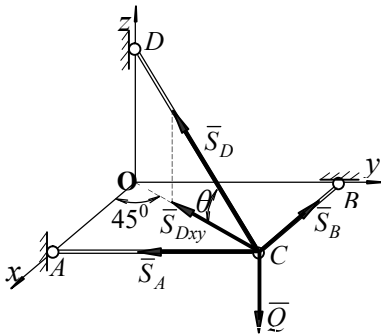


Рис. 4.

координат модулі проєкцій сил  $\bar{S}_A, \bar{S}_B$  і  $\bar{Q}$  на осі будуть дорівнювати або нулю, або величині відповідної сили.

При проектуванні реакції  $\bar{S}_D$  на осі  $Ox$  і  $Oy$ , спочатку знайдемо її проекцію  $\bar{S}_{Dxy}$  на площину  $Oxy$ , а вже потім спроектуємо  $\bar{S}_{Dxy}$  на осі  $Ox$  і  $Oy$ , тобто скористаємося методом подвійного проектування.

Модуль вектора  $S_{Dxy}$  буде дорівнювати:

$$S_{Dxy} = S_D \cos \theta.$$

Складемо рівняння рівноваги просторової системи збіжних сил:

$$1. \sum F_{kx} = -S_B - S_{Dxy} \cos 45^0 = -S_B - S_D \cos \theta \cos 45^0 = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = -S_A - S_{Dxy} \sin 45^0 = -S_A - S_D \cos \theta \sin 45^0 = 0;$$

$$3. \sum F_{kz} = S_D \sin \theta - Q = 0.$$

З урахуванням числових значень, одержимо:

$$4. \sum F_{kx} = -S_B - S_{Dxy} \cos 60^0 \cos 45^0 = -S_B - 0,5S_D = 0;$$

$$5. \sum F_{ky} = -S_A - S_{Dxy} \cos 60^0 \sin 45^0 = -S_A - 0,35S_D = 0;$$

$$6. \sum F_{kz} = 0,866S_D - 100 = 0.$$

З рівняння (6), дістанемо:

$$S_D = \frac{100}{0,866} = 115,5 \text{ кН.}$$

З рівнянь (4) і (5) знайдемо:

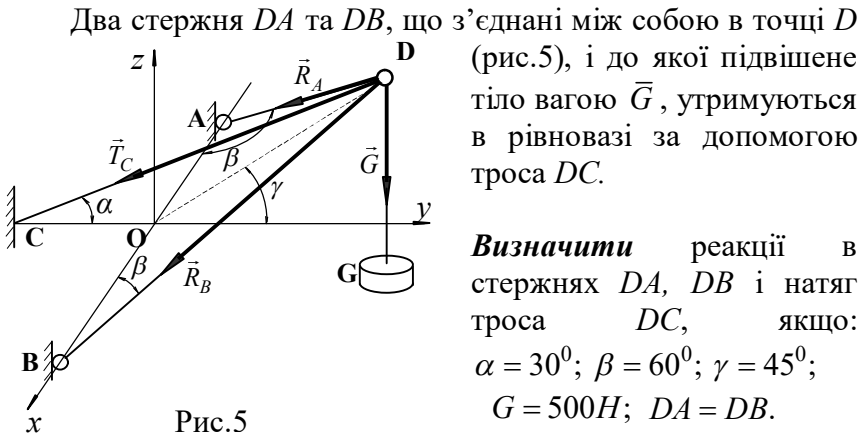
$$S_B = -0,35S_D = -0,35 \cdot 115,5 = -40,4 \text{ кН;}$$

$$S_A = -0,35S_D = -0,35 \cdot 115,5 = -40,4 \text{ кН.}$$

Оскільки значення реакцій  $S_A$  і  $S_B$  від'ємні то, напрямки цих реакцій протилежно обраним на рис.3.4, а самі стержні не розтягнуті, як приймалося перед розв'язуванням задачі, а стиснуті.

**Відповідь:**  $S_D = 115,5$  кН;  $S_A = -40,4$  кН;  $S_B = -40,4$  кН.

### Задача №3



**Розв'язування.** Розглянемо рівновагу вузла  $D$  (рис.5).

Вузол  $D$  знаходиться в рівновазі під дією наступних сил: сили тяжіння  $\bar{G}$ , що напрямлена вертикально вниз; реакцій  $\bar{R}_A$  і  $\bar{R}_B$  стержнів  $DA$  і  $DB$ ; натягу  $\bar{T}_C$  троса  $DC$ . Реакції  $\bar{R}_A$  і  $\bar{R}_B$  напрямимо від вузла  $D$ , рахуючи, що стержні розтягнуті.

Усі сили прикладені до однієї точки  $D$  і для визначення невідомих сил можна скористатися умовами рівноваги просторової системи збіжних сил.

З точкою  $O$  зв'яжемо прямокутну систему координат  $Oxyz$ . Вісь  $Oz$  напрямимо вгору, перпендикулярно до площини  $ABC$ , а осі  $Ox$  і  $Oy$  розташуємо в цій площині.

Спроектувавши всі сили на осі координат, складемо рівняння рівноваги вузла  $D$ :

$$1. \sum F_{kx} = -R_A \cos \beta + R_B \cos \beta = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = -T_C \cos \alpha - R_A \sin \beta \cos \gamma - R_B \sin \beta \cos \gamma = 0;$$

$$3. \sum F_{kz} = -T_C \sin \alpha - R_A \sin \beta \sin \gamma - R_D \sin \beta \sin \gamma - G = 0.$$

З рівняння (1) дістанемо:  $R_A = R_B$ .

Виразимо з рівняння (2)  $T_C$ , як функцію від  $R_A$ :

$$T_C = 2R_A \frac{\sin \beta \cos \gamma}{\cos \alpha}.$$

Підставивши  $T_C$  в рівняння (3), дістанемо:

$$2R_A \frac{\sin \beta \cos \gamma \sin \alpha}{\cos \alpha} - 2R_A \sin \beta \sin \gamma - G = 0.$$

Звідси:

$$R_A = R_B = \frac{G}{2 \sin \beta (\cos \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha - \sin \gamma)};$$

$$R_A = R_B = \frac{500}{2 \sin 60^\circ (\cos 45^\circ \operatorname{tg} 30^\circ - \sin 45^\circ)} = -961 \text{ Н.}$$

Оскільки,  $R_A$  і  $R_B$  від'ємні, то дійсні напрями реакцій стержнів  $DA$  і  $DB$  в протилежні боки від показаних на рис.3.5, а самі стержні не розтягнуті, як було прийнято перед розв'язуванням, а стиснуті.

$$T_C = -2R_A \frac{\sin \beta \cos \gamma}{\cos \alpha} = -2(-961) \frac{\sin 60^\circ \cos 45^\circ}{\cos 30^\circ} = 1350 \text{ Н.}$$

**Відповідь:**  $R_A = R_B = 961 \text{ Н; } T_C = 1350 \text{ Н.}$

## Задача №4

Тіло  $G$  вагою  $100\text{ Н}$  (рис.6) утримується в рівновазі трьома мотузками горизонтальною  $AO$  та двома нахиленими  $BO$  і  $CO$ . Площина, в якій лежать мотузки  $BO$  і  $CO$  нахилена до горизонтальної площини під кутом  $\alpha = 45^\circ$  та перпендикулярна до вертикальної площини, що проходить через мотузку  $AO$ . Мотузки  $BO$  і  $CO$  натягнуті симетрично відносно цієї площини та утворюють з нею кут  $\beta = 30^\circ$ .

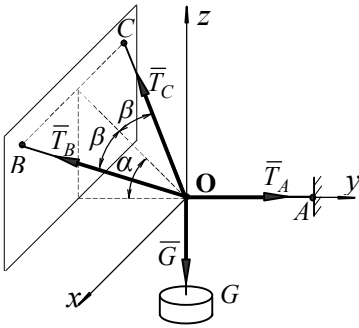


Рис. 6.

**Визначити** натяг мотузок  $AO$ ,  $BO$  і  $CO$ .

**Розв'язування.** Розглянемо рівновагу точки  $O$ .

Точка  $O$  знаходиться в рівновазі під дією:  $\vec{G}$  - сили тяжіння тіла  $G$ , яка напрямлена вертикально вниз;  $T_C, T_B$  - сил натягу мотузок  $BO$  і  $CO$ , які напрямлені до їх точок підвісу  $C$  та  $B$ ;  $T_A$  - сили натягу мотузки  $AO$ , яка напрямлена до точки підвісу  $A$ . Лінії цих усіх сил перетинаються в точці  $O$  і утворюють просторову систему збіжних сил.

Початок прямокутної системи координат розташуємо в точці  $O$ , сполучивши площину  $Oyz$  з вертикальною площиною симетрії з'єднання (рис.3.6).

Складемо рівняння рівноваги точки  $O$  в проекціях на осі координат:

1.  $\sum F_{kx} = T_B \sin \beta - T_C \sin \beta = 0;$
2.  $\sum F_{ky} = -T_B \cos \beta \cos \alpha - T_C \cos \beta \cos \alpha - T_A = 0;$
3.  $\sum F_{kz} = T_B \cos \beta \cos \alpha + T_C \cos \beta \sin \alpha - G = 0.$

З рівняння (1) випливає  $T_B = T_C$ . З урахуванням цього рівняння (2) і (3) набудуть вигляду:

$$2' \cdot \sum F_{ky} = -2T_B \cos \beta \cos \alpha + T_A = 0;$$

$$3' \cdot \sum F_{kz} = 2T_B \cos \beta \sin \alpha - G = 0.$$

З рівняння (3') дістанемо:

$$T_B = \frac{G}{2 \cos \beta \sin \alpha} = \frac{100}{2 \cos 30^\circ \sin 45^\circ} = \frac{100}{2 \cdot 0,866 \cdot 0,707}$$

$$= 80,6 \text{ Н.}$$

Тоді, з рівняння (2'):

$$T_A = 2T_B \cos \beta \cos \alpha = 2 \cdot 80,6 \cdot 0,866 \cdot 0,707 = 100 \text{ Н.}$$

**Відповідь:**  $T_B = T_C = 80,6 \text{ Н}; T_A = 100 \text{ Н.}$

### Задача № 5

Просторова ферма (рис.7.) складається з шести стержнів: 1, 2, 3, 4, 5, 6. До вузла А в площині  $ABCD$  під кутом  $\alpha = 45^\circ$  прикладена сила  $\vec{P}$ . Кути рівнобедрених трикутників  $EAK$ ,  $FBM$  і  $NDB$  при вершинах  $A, B$  і  $D$  прямі.

**Визначити** зусилля в стержнях ферми, якщо  $P = 1 \text{ кН}$ .

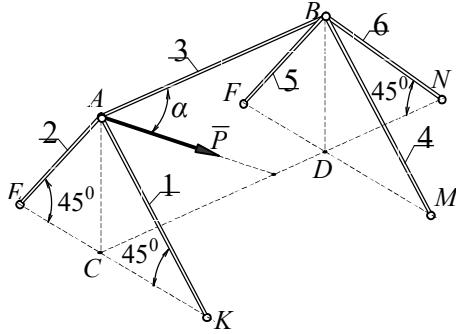


Рис. 7.

**Розв'язування.** Просторова ферма являє собою складену конструкцію і для визначення зусиль в шести стержнях необхідно розглянути рівновагу двох вузлів  $A$  та  $B$ .

Спочатку розглянемо рівновагу вузла  $A$ , оскільки на нього діє відома сила  $\bar{P}$  і він з'єднує три стержні: 1, 2 і 3.

До вузла  $A$  (рис.8) прикладена задана сила  $\bar{P}$  і реакції стержнів  $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3$ , які напрямимо від вузла уздовж стержнів, прийнявши, що всі стержні розтягнуті.

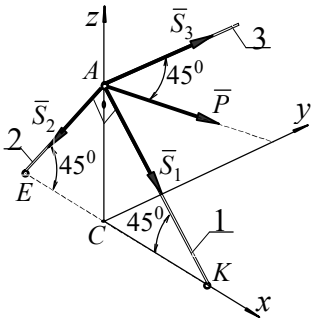


Рис. 8.

Таким чином, вузол  $A$  знаходиться в рівновазі під дією просторової системи чотирьох збіжних сил. Для цієї системи можна скласти три рівняння рівноваги в проекціях на осі координат.

Пов'яжемо з точкою  $C$  прямокутну систему координат  $S_{xyz}$  і складемо рівняння рівноваги:

$$1. \sum F_{kx} = S_1 \cos 45^\circ - S_2 \cos 45^\circ = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = P \cos 45^\circ + S_3 = 0;$$

$$3. \sum F_{kz} = -P \sin 45^\circ - S_1 \sin 45^\circ - S_2 \sin 45^\circ = 0.$$

З рівняння (1) випливає, що  $S_1 = S_2$ .

Підставивши в рівняння (3)  $S_1 = S_2$  дістанемо:

$$-P \sin 45^\circ - S_1 \sin 45^\circ - S_1 \sin 45^\circ = -(P + 2S_1) \sin 45^\circ = 0;$$

$$S_1 = -P/2 = -0,5 \text{ кН}.$$

Розв'язавши рівняння (2) знайдемо:

$$S_3 = -P \cos 45^\circ = -1 \cdot 0,707 = -0,707 \text{ кН}.$$

Знаки мінус вказують на те, що стержні 1, 2 і 3 не розтягнуті, а стиснуті.

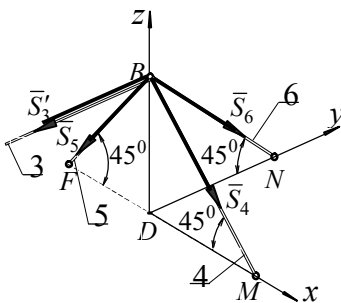


Рис. 9.

що стержні розтягнуті.

Розглянемо рівновагу вузла  $B$  (рис.9).

До вузла  $B$  прикладене зусилля  $\bar{S}_3'$  від стержня 3 і реакції від стержнів 4, 5 та 6.

Сила  $\bar{S}_3'$  за модулем дорівнює  $\bar{S}_3$ , але протилежно напрямлена.

Зусилля в стержнях 4, 5 і 6 напрямимо від вузла  $B$ , рахуючи,



Вузол  $B$  знаходиться в рівновазі під дією просторової системи чотирьох збіжних сил:  $\overline{S}_3', \overline{S}_4, \overline{S}_5, \overline{S}_6$ .

Пов'яжемо з точкою  $D$  прямокутну систему координат  $Dxyz$  і складемо рівняння рівноваги даної просторової системи збіжних сил:

$$1. \sum F_{kx} = S_4 \cos 45^\circ - S_5 \cos 45^\circ = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = -S_3' + S_6 \cos 45^\circ = 0;$$

$$3. \sum F_{kz} = -S_4 \sin 45^\circ - S_5 \sin 45^\circ - S_6 \sin 45^\circ = 0.$$

З рівняння (5) дістанемо:

$$S_6 = \frac{S_3'}{\cos 45^\circ} = \frac{(-0,707)}{0,707} = -1 \text{ кН.}$$

Стержень 6 – стиснутий.

Оскільки з рівняння (4) випливає  $S_4 = S_5$ , то з рівняння (6) дістанемо:

$$-S_4 \sin 45^\circ - S_4 \sin 45^\circ - S_6 \sin 45^\circ = -(2S_4 + S_6) \sin 45^\circ = 0;$$

$$S_4 = S_5 = -\frac{S_6}{2} = -\frac{(-1)}{2} = 0,5 \text{ кН.}$$

Стержні 4 і 5 – розтягнуті, як і було прийнято.

**Відповідь:**  $S_1 = -0,5$  кН;  $S_2 = -0,5$  кН;  $S_3 = -0,707$  кН;

$S_4 = 0,5$  кН;  $S_5 = 0,5$  кН;  $S_6 = -1$  кН;

## 5. Задачі для самостійного розв'язування

Для самостійного розв'язування за даною темою рекомендується наступні задачі, взяті з задачника Мещерського [2]: 6.5; 6.7; 6.8; 6.9; 6.11.

### Задача 1.

Знайти зусилля в стрижні  $AB$  (рис. 10) та ланцюгах  $AC$  і  $AD$ , які тримають вантаж  $P$  вагою 420 Н, якщо  $AB=1450$  мм,  $AC=800$  мм,  $AD=600$  мм. Площина прямокутника  $CADE$  горизонтальна, а площини  $(Q)$  і  $(S)$  вертикальні. Кріплення в точці  $B$  вважати шарнірним.

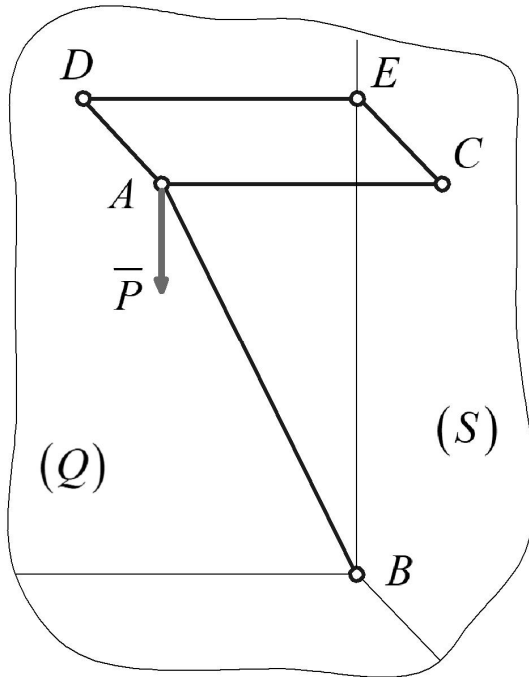


Рис. 10

## Задача 2.

Схему переносного крана вантажопідйомністю 20 кН, наведено наведено на рис. 11;  $AB=AE=AF=2$  м; кут  $EAF=90^\circ$ ; площина крана  $ABC$  поділяє прямий двогранний кут  $EABF$  навпіл. Визначити силу  $P_1$ , стискаючу вертикальну стійку  $AB$ , а також сили  $P_2, P_3, P_4$ , що розтягують струну  $BC$  та троси  $BE$  та  $BF$ . Вагою частин крана знехтувати.

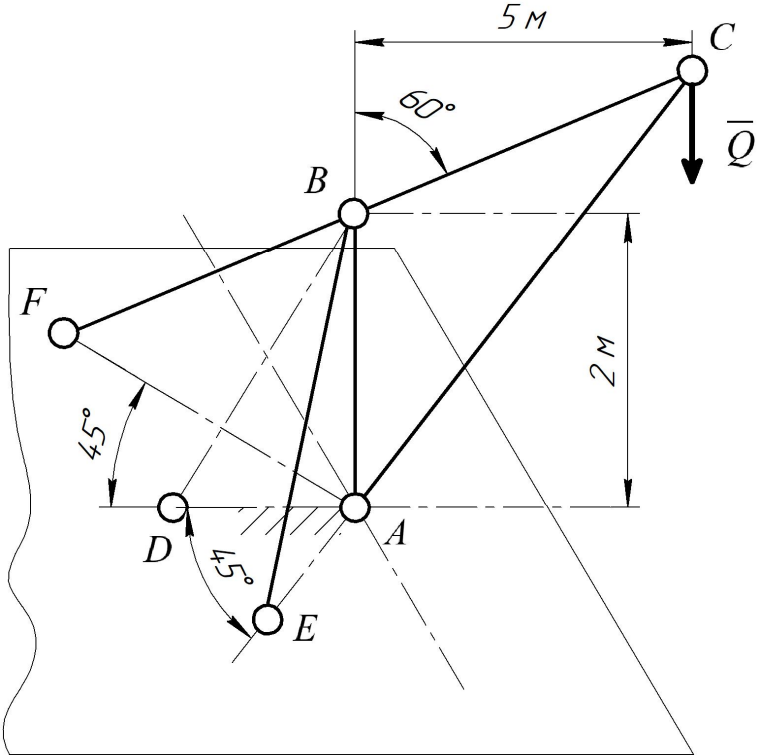


Рис. 11

### Задача 3

Вантаж  $Q$  вагою  $1 \text{ кН}$  закріплено в точці  $D$  відповідно до рис. 12.  $DC$ ,  $DA$ ,  $DB$  – стержні. Визначити реакції в стержнях.

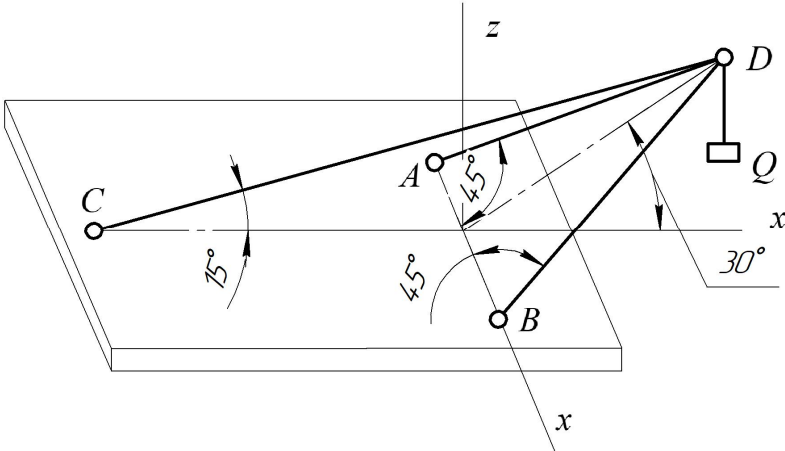


Рис. 12.

### Задача 4

Повітряна куля, що знаходиться під впливом вітру, утримується двома тросами. Троси утворюють між собою прямий кут; площина, в якій вони знаходяться, утворює з площиною горизонту кут  $50^\circ$ . Вітер дме перпендикулярно лінії перетину цих площин та паралельно до поверхні землі. Вага кулі разом з газом, що знаходиться в ній складає  $2,5 \text{ кН}$ , об'єм кулі  $215,4 \text{ м}^3$ , вага  $1 \text{ м}^3$  повітря  $13 \text{ Н}$ . Визначити сили натягів тросів й рівнодійну силу тиску повітря на кулю, рахуючи, що лінії дії сил, що прикладені до кулі перетинаються в центрі кулі.

### Задача 5

Визначити зусилля в вертикальній стійці та в ногах крану, зображеного на рис. 13, в залежності від кута  $\alpha$ , якщо  $AB=BC=AD=AE$ . Кріплення в точках А, В, D, Е – шарнірні.

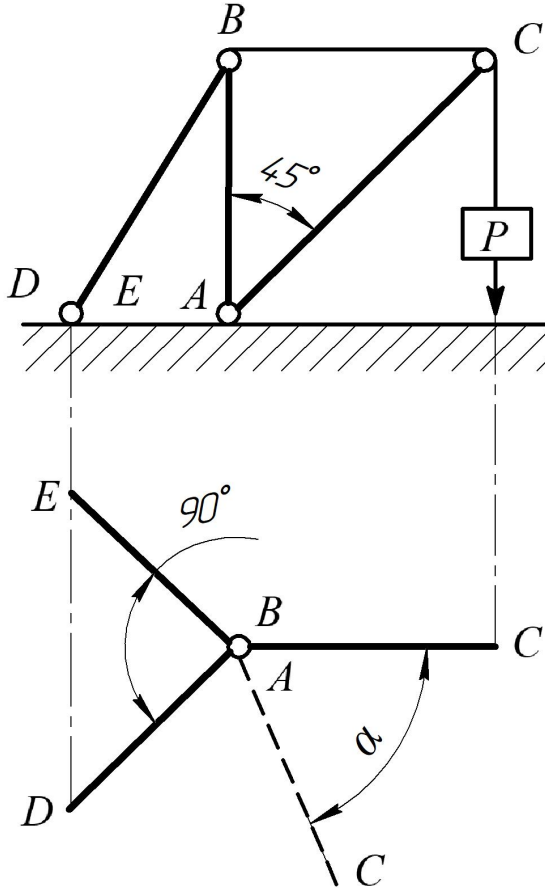


Рис. 13

## Література:

1. Кучеренко С.І., Бурлака В.В., Тіщенко Л.М. Теоретична механіка. Курс лекцій. Харків, 2013. 544с.
2. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике, М.: Наука, 1973.
3. Бурлака В.В., Сліпченко М.В., Тіщенко Л.М. Теоретична механіка: Збірник задач для курсових робіт. Навчальний посібник. Харків: Міськдрук, 2016. 309 с.
4. Кучеренко С.І., Бурлака В.В., Тіщенко Л.М. Теоретична механіка. Навчальний посібник / за ред. С.І. Кучеренка. Харків, 2012. 568с.

Навчальне видання

ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

СТАТИКА.

СИСТЕМА ЗБІЖНИХ СИЛ У ПРОСТОРИ

Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт

Укладачі

**БУРЛАКА** Володимир Васильович,  
**ОЛЬШАНСЬКИЙ** Василь Павлович,  
**СЛІПЧЕНКО** Максим Володимирович

Формат 60x84\16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 1,38

Наклад 30 пр.

Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44