



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.
РІВНОВАГА ТІЛА З УРАХУВАННЯМ
СИЛ ТЕРТЯ**

**Методичні вказівки
до виконання практичних робіт**

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

**Харків
2021**

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.
РІВНОВАГА ТІЛА З УРАХУВАННЯМ
СИЛ ТЕРТЯ**

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання зі спеціальностей

133 Галузеве машинобудування

208 Агроінженерія

274 Автомобільний транспорт

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
ННІ ПХВ ХНТУСГ
Протокол №
від . . 2021 р.

Харків
2021

УДК 531/534 (075.8)

Схвалено на засіданні кафедри фізики і теоретичної механіки
протокол № від 2021 р.

Теоретична механіка. Статика. Рівновага тіла з урахуванням сил тертя: методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі 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.], 2021.– 24 с.

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

В методичних вказівках наведено закони сухого тертя Кулона. Визначено силу тертя та розглянуто послідовність розв'язок задач при її наявності. Наведено прикладу розв'язування задач за наявності тертя та запропановані задачі для самостійного розв'язку.

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, к.т.н., доцент

© Бурлака В. В., Ольшанський В. П., Сліпченко М. В., 2021

© ХНТУСГ, 2021

РІВНОВАГА ТІЛА З УРАХУВАННЯМ СИЛ ТЕРТЯ

Зміст

1. Закони тертя ковзання.
2. Порядок розв'язування задач.
3. Контрольні запитання.
4. Приклади розв'язування задач.
5. Задачі для самостійного розв'язку.

1. Закони тертя ковзання

При переміщенні одного тіла по поверхні іншого завжди виникає сила, яка заважає руху тіла і називається *силою тертя ковзання*.

В інженерних розрахунках силу тертя ковзання завжди треба ураховувати. При цьому виходять із встановлених експериментальним шляхом загальних законів тертя ковзання у спокої, які формулюються наступним чином:

1. Гранична сила тертя ковзання пропорційна нормальному тиску одного тіла на друге:

$$F_{\text{тр.гр.}} = f \cdot N ,$$

де f – *статичний коефіцієнт тертя*.

2. Статичний коефіцієнт тертя залежить від матеріалів поверхонь, що труться, та їх фізичного стану.

3. Сила тертя не залежить від площі поверхні за якою дотикаються тіла, що труться.

Таким чином, коли розглядають рівновагу сил, що діють на тверде тіло, яке знаходиться на шорсткій поверхні, то, на відміну від гладкої поверхні, треба враховувати складову реакції шорсткої поверхні – силу тертя.

Сила \bar{T} (рис.1) намагається змістити тіло, до якого вона прикладена, відносно другого. Реакція поверхні \bar{R}_1 , що виникає в точках дотикання цих тіл, буде відхилитися на деякий кут α від нормалі до поверхні ковзання. Нормальна складова цієї реакції \bar{N} завжди дорівнює за модулем нормальному тиску одного тіла на друге. Величина дотичної складової \bar{F}_1 (сила тертя), залежить від величини сили \bar{T} , яка намагається зсунути тіло, прикладена до тіла і може змінюватися від нуля до граничного значення, тобто:

$$0 \leq F_1 \leq F_{\text{тр.гр.}} = f \cdot N.$$

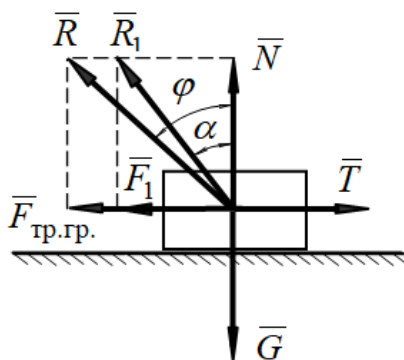


Рис. 1

У випадку, коли F_1 досягає граничного значення $F_{\text{тр.гр.}}$, повна реакція в'язі \bar{R} відхиляється від \bar{N} на кут φ , який називається **кутом тертя**:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{F_{\text{тр.гр.}}}{N} = \frac{f \cdot N}{N} = f.$$

Таким чином, *тангенс кута тертя дорівнює коефіцієнту тертя.*

Якщо величина сили T набуде значення більшого ніж $F_{\text{тр.гр.}}$, то почнеться ковзання одного тіла по поверхні другого.

В залежності від напрямку дії максимальної сили тертя рівної $F_{\text{тр.гр.}}$ в площині перпендикулярній до N , повна реакція \bar{R} завжди буде лежати на поверхні конуса (рис. 2) який називається *конусом тертя*.

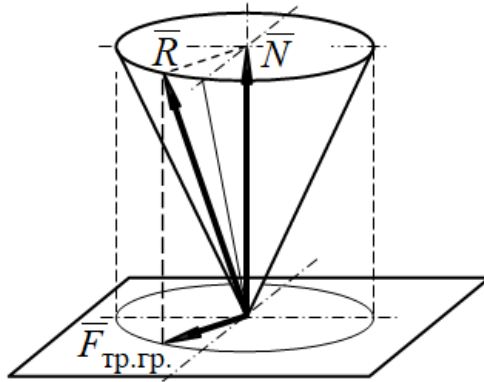


Рис. 2

Якщо лінія дії рівнодіючої активних сил, що прикладені до твердого тіла, буде лежати всередині конуса тертя, то не залежно від модуля цієї сили, тіло буде зберігати стан спокою.

Це пояснюється тим, що в цьому випадку складова рівнодіючої, що намагається зсунути тіло, буде меншою за граничну силу тертя.

Оскільки сила тертя може набувати значень від нуля до граничного значення, то рівняння рівноваги твердого тіла при наявності сили тертя перетворюються в нерівності.

У зв'язку з цим, при розв'язуванні задач, як правило, розглядають випадок, коли сила тертя набуває граничного значення і з рівнянь рівноваги визначають граничні (найбільші і найменші) значення невідомих величин.

2. Порядок розв'язування задач

1. Виділити тверде тіло, рівновагу якого треба розглянути щоб знайти невідомі величини.
2. Показати активні сили.
3. Відкинути в'язі і замінити їх дію реакціями. Реакцію шорсткої поверхні представити або двома складовими-нормальною реакцією і силою тертя, або, якщо не розкладати цю реакцію на складові, напрямити її під кутом тертя φ до нормалі поверхні.
4. Розглянути рівновагу виділеного тіла як вільного, що знаходиться під дією активних сил і реакцій в'язей.
5. Порівняти число невідомих величин і число рівнянь рівноваги, які повинні бути однаковими для статично визначеної задачі. При цьому до рівнянь рівноваги твердого тіла слід додати залежність сили тертя від сили нормального тиску.
6. Обрати систему координат.
7. Скласти систему рівнянь рівноваги для сил, що прикладені до твердого тіла або системи твердих тіл.
8. Розв'язати складену систему рівнянь рівноваги, знайти невідомі величини.

8.3. Контрольні запитання

1. Що називається силою тертя?
2. Від яких основних параметрів залежить сила тертя?
3. В яких межах змінюється сила тертя?
4. Як напрямлена сила тертя?
5. Що називається кутом тертя?

6. Що називається конусом тертя?
7. Які можливі напрямки реакції шорсткої поверхні?
8. Чи може сила тертя дорівнювати нулю?
9. Як визначити напрям сили тертя у випадку коли зсувна сила прикладена, а рух тіла ще не почало рух?
10. Сила тертя має тільки негативні прояви чи ні?

4. Приклади розв'язування задач

Задача №1

Шорстка площина (рис.8.3) нахилена до горизонту на такий кут α , при якому тіло, що знаходиться на цій площині, ковзає донизу з сталою швидкістю, яку йому надали на початку руху.

Визначити коефіцієнт тертя f між тілом і площиною.

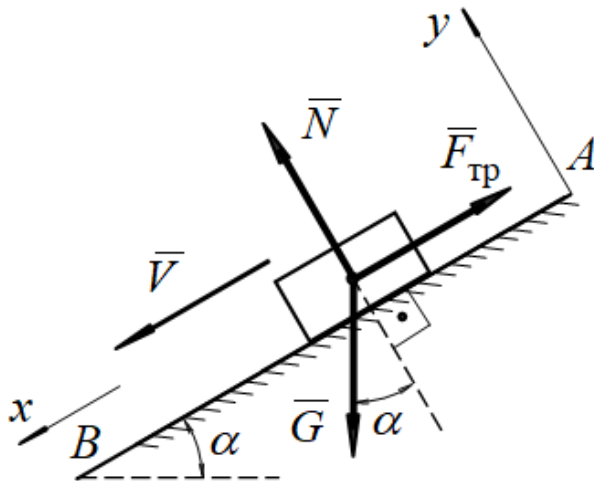


Рис. 3

Розв'язування. Якщо тіло рухається рівномірно і прямолінійно, то система сил, що діє на тіло, знаходиться в рівновазі.

На тіло діють: активна сила тяжіння \overline{G} і реакція поверхні AB , яку розкладемо на нормальну реакцію \overline{N} і силу тертя $\overline{F}_{\text{тр}}$. Сила тертя напрямлена в протилежний бік від напрямку руху тіла.

Таким чином, в рівновазі знаходиться система трьох сил: \overline{G} , \overline{N} і $\overline{F}_{\text{тр}}$.

Невідомі в задачі є: N , $F_{\text{тр}}$ і коефіцієнт тертя f .

Оскільки система сил, що діє на тіло є збіжною, то можна скласти два рівняння рівноваги.

Таким чином, число невідомих величин є більшим числа рівнянь. Для отримання статично визначеної задачі треба ще додати залежність сили тертя від сили нормального тиску.

Виберемо систему координат: вісь Ax напрямимо вздовж похилої площини за напрямом руху тіла, а вісь Ay – перпендикулярно до площини.

Складемо рівняння рівноваги для системи сил, що діє на тіло:

$$1. \sum F_{kx} = G \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = N - G \cos \alpha = 0.$$

Запишемо залежність сили тертя від сили нормального тиску:

$$3. F_{\text{тр}} = f \cdot N.$$

З рівнянь (1) і (2) визначасмо силу тертя і силу нормального тиску:

$$F_{\text{тр}} = G \sin \alpha; \quad N = G \cos \alpha.$$

Тоді, з рівняння (1):

$$f = \frac{F_{\text{тр}}}{N} = \frac{G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Відповідь: $f = \operatorname{tg} \alpha$.

Задача №2

Клин A (рис. 4.), кут нахилу щоки якого відносно осі складає 30° , вдавлюється в тіло B зусиллям $Q = 6$ кН.

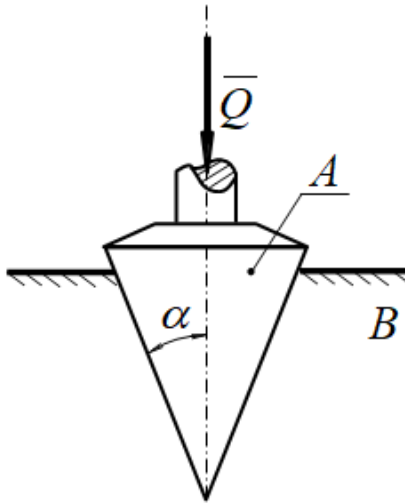


Рис. 4

Визначити нормальний тиск N на щоки клина та зусилля P , яке треба прикласти до клина, щоб його витягнути, якщо коефіцієнт тертя $f = 0,1$, і нормальний тиск на щоки клина при витягуванні дорівнює тиску при вдавлюванні.

Розв'язування. Для визначення нормального тиску N пружного тіла B на клин A розглянемо клин під час його вдавлювання в тіло B під дією сили Q (рис.5).

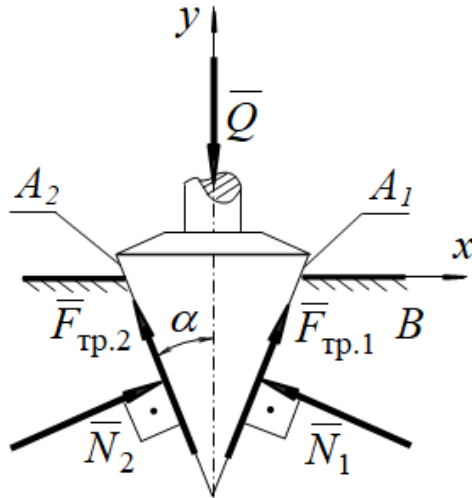


Рис. 5

На клин A діють: активна сила \bar{Q} і реакції від тіла B на щоки клина. Реакції на щоки клина розкладемо на складові нормального тиску \bar{N}_1 і \bar{N}_2 , та сили тертя $\bar{F}_{тр.1}$ і $\bar{F}_{тр.2}$, які напрямимо проти напрямку руху клина під час вдавлювання.

Таким чином, клин знаходиться в рівновазі під дією системи сил \bar{Q} , \bar{N}_1 , \bar{N}_2 , $\bar{F}_{тр.1}$ і $\bar{F}_{тр.2}$, причому сили тертя будуть мати максимальне значення.

Пов'яжемо з клином прямокутну систему координат Axy і складемо рівняння рівноваги для даної системи сил в проекціях на осі координат:

1. $\sum F_{kx} = -N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha + F_{тр.1} \sin \alpha - F_{тр.2} \sin \alpha = 0;$
2. $\sum F_{ky} = -Q + N_1 \sin \alpha + N_2 \sin \alpha + F_{тр.1} \cos \alpha - F_{тр.2} \cos \alpha = 0$

Крім цього, запишемо залежності сил тертя від сил нормального тиску:

$$3. F_{\text{тр.1}} = f \cdot N_1; \quad 4. F_{\text{тр.2}} = f \cdot N_2.$$

Перетворимо рівняння (1) з урахуванням залежностей (3) і (4):

$$N_1 (f \sin \alpha - \cos \alpha) = N_2 (f \sin \alpha - \cos \alpha), \\ \text{або } N_1 = N_2.$$

Оскільки $N_1 = N_2$, то $F_{\text{тр.1}} = F_{\text{тр.2}}$.

Замінюючи N_1 на N_1 і $F_{\text{тр.1}}$ на $F_{\text{тр.2}}$ з рівняння (2) дістанемо:

$$-Q + 2N_1 \sin \alpha + 2F_{\text{тр.1}} \cos \alpha = -Q + 2N_1 \sin \alpha + 2N_1 f \cos \alpha = 0.$$

Звідки:

$$N_1 = \frac{Q}{2(\sin \alpha + f \cos \alpha)} = \frac{6}{2(0,0499 + 0,1 \cdot 0,999)} = 20 \text{ кН.}$$

Тепер розглянемо визначення зусилля P , яке треба прикласти, щоб витягнути клин.

Клин (рис.6) знаходиться в рівновазі під дією активної сили \bar{P} і реакцій з боку тіла B на щоби клина: \bar{N}_1 , \bar{N}_2 , $\bar{F}_{\text{тр.1}}$ і $\bar{F}_{\text{тр.2}}$.

Оскільки при витягуванні клин буде рухатися вгору, то сили тертя прикладені вздовж щоби проти напрямку їх руху і будуть мати максимальне значення.

Оскільки з першої частини задачі відомо, що $N_1 = N_2 = 20 \text{ кН}$ і $F_{\text{тр.1}} = F_{\text{тр.2}}$, то для визначення зусилля P досить скласти тільки одне рівняння рівноваги в проекції на вісь Ay :

$$5. \sum F_{ky} = P - 2N_1 \sin \alpha - 2F_{\text{тр.1}} \cos \alpha = 0.$$

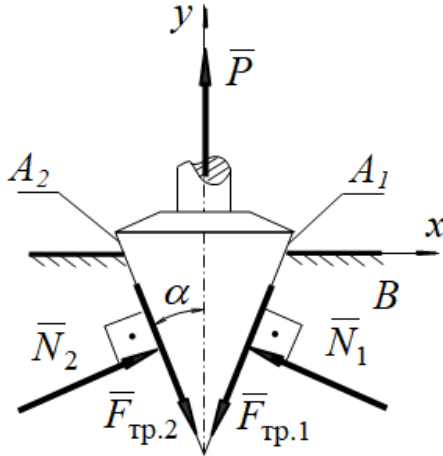


Рис.6

Звідки:

$$6. P = 2F_{\text{тр.1}} \cos \alpha - 2N_1 \sin \alpha = 2N_1(f \cos \alpha - \sin \alpha).$$

Тоді

$$P = 2 \cdot 20 \cdot (0,1 \cdot 0,999 - 0,0499) = 2 \text{ кН.}$$

Відповідь: $N = 20$ кН; $P = 2$ кН.

Зауваження. З аналізу формули (6) випливає, що величина сили P може дорівнювати нулю, коли:

$$f \cos \alpha - \sin \alpha = 0, \text{ або } \text{tg} \alpha = f.$$

Оскільки коефіцієнт тертя дорівнює тангенсу кута тертя, то кут нахилу щоби в цьому випадку буде дорівнювати куту тертя.

Таким чином, якщо кут нахилу щоки клина буде більшим за кут тертя, то клин не буде заклинювати в тому тілі в яке його вдавлюють (забивають). Цим і пояснюється те, що для розколювання деревини, як правило, використовують клини з досить великим кутом нахилу щоки.

І навпаки, якщо потрібно клин заклинути в іншому тілі, то кут нахилу щоки клина повинен бути меншим ніж кут тертя.

Все це справедливо для пружних тіл, коли існують нормальні реакції \bar{N}_1 і \bar{N}_2 .

Задача №3

Для механізму зображеного на рис. 7 *знайти* відношення розмірів l до L виходячи з вимоги само заклинювання, якщо коефіцієнт тертя між стінками та повзунами A і B - $f = 0,6$. (Стержні CA і CB прийняти ідеальними).

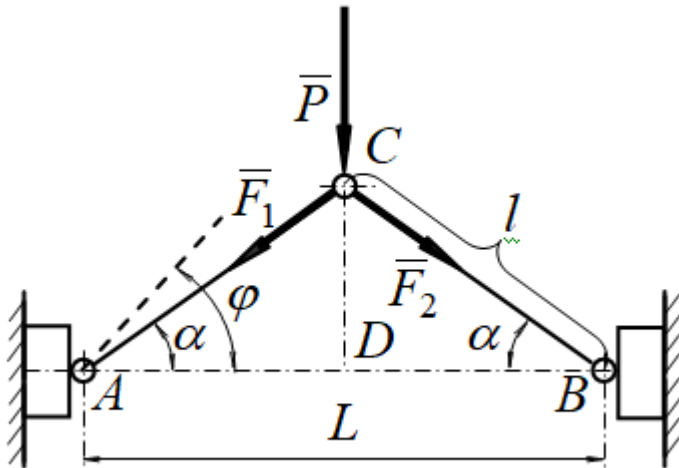


Рис. 7

Розв'язування. Явище самозаклинювання полягає в тому, що при будь якій силі \bar{P} напрямленій вниз, сили тертя, які будуть виникати на повзунах A і B , будуть блокувати рух механізму донизу.

Сила \bar{P} стискає ідеальні стержні CA і CB , які передають тиск на повзуни A і B під кутом нахилу стержнів α (рис. 7).

Для того, щоб повзуни A і B не рухалися під дією сил \bar{F}_1 і \bar{F}_2 , лінії дії цих сил повинні проходити всередині кута тертя φ , тобто повинна виконуватися умова:

$$\alpha < \varphi, \text{ або } \operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi.$$

Враховуючи, що $\operatorname{tg} \varphi = f$, то $\operatorname{tg} \alpha < f = 0,6$.

Для рис.7 можна записати:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{CD}{AD}; \quad AD = \frac{L}{2};$$

$$CD = \sqrt{(AC)^2 - (AD)^2} = \sqrt{l^2 - 0,25L^2}.$$

Таким чином

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{l^2 - 0,25L^2}}{0,5L} < 0,6.$$

Зробимо перетворення:

$$\frac{1}{L} \sqrt{l^2 - 0,25L^2} < 0,3; \quad \frac{l^2 - 0,25L^2}{L^2} < 0,09;$$

$$\frac{l^2}{L^2} - 0,25 < 0,09; \quad \frac{l}{L} < \sqrt{0,34} = 0,585.$$

Оскільки з умови існування схеми механізму мінімальна довжина стержнів l не може бути меншою за

$AD = L/2$ то нерівність, яка визначає конструкцію, буде мати вигляд:

$$0,5 < l/L < 0,585.$$

Відповідь: $0,5 < l/L < 0,585.$

Задача №4

Три тіла A , B і C (рис. 8) вагою відповідно 10Н , 30Н і 60Н , лежать на площині, що нахилена під кутом α до горизонту. Грузи між собою послідовно з'єднані тросами. Коефіцієнти тертя між тілами і площиною відповідно дорівнюють: $f_A = 0,1$; $f_B = 0,25$; $f_C = 0,5$.

Визначити кут α при якому тіла будуть рівномірно рухатися донизу по площині. Знайти натяг тросів, що з'єднують тіла.

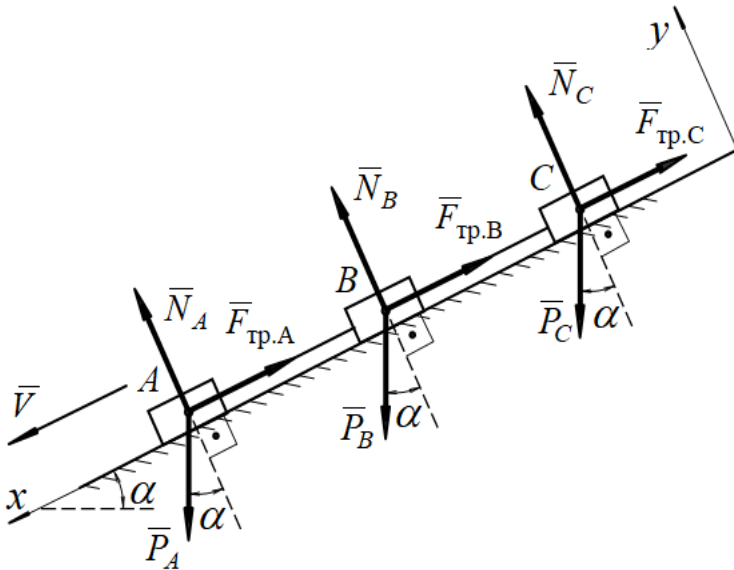


Рис. 8

Розв'язування. При рівномірному ковзанні системи тіл по площині донизу, як і у випадку стану спокою, сили, що діють на систему тіл, повинні бути в рівновазі.

Таким чином, для визначення кута нахилу площини і натягу тросів треба скласти рівняння рівноваги сил, що діють на систему тіл, і за їх допомогою визначити невідомі величини.

Спочатку розглянемо рівновагу системи тіл в цілому (рис. 8).

До системи тіл прикладені: активні сили тяжіння \bar{P}_A, \bar{P}_B і \bar{P}_C ; нормальні реакції поверхні \bar{N}_A, \bar{N}_B і \bar{N}_C ; сили тертя $\bar{F}_{тр.А}, \bar{F}_{тр.В}$ і $\bar{F}_{тр.С}$.

Оберемо систему координат – вісь Ox напрямимо вздовж площини за напрямом руху, а вісь Oy перпендикулярно до площини.

Складемо рівняння рівноваги сил, що діють на систему, в проекціях на осі координат.

$$1. \sum F_{kx} = P_A \sin \alpha + P_B \sin \alpha + P_C \sin \alpha - F_{тр.В} - F_{тр.С} = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = -P_A \cos \alpha - P_B \cos \alpha - P_C \cos \alpha + N_A + N_B + N_C = 0.$$

Оскільки в цій системі число невідомих величин більше ніж число рівнянь, то необхідно розглянути рівновагу кожного тіла окремо. Для цього треба відкинути троси, що з'єднують тіла, і замінити їх дію реакціями (рис.9).

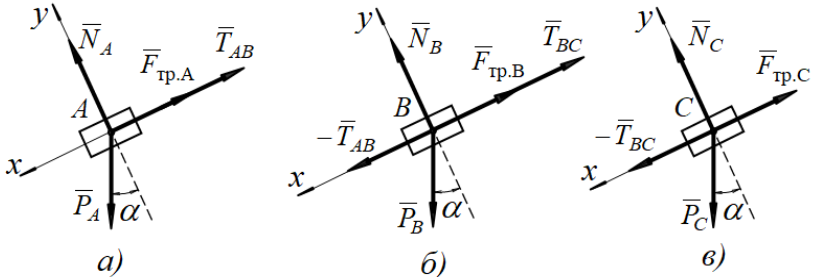


Рис. 9

Рівняння рівноваги для тіла A (рис.8.9,а):

$$3. \sum F_{kx} = P_A \sin \alpha - F_{\text{тр.}A} - T_{AB} = 0;$$

$$4. \sum F_{ky} = -P_A \cos \alpha + N_A = 0.$$

Рівняння рівноваги для тіла B (рис.8.9,б):

$$5. \sum F_{kx} = P_B \sin \alpha + T_{AB} - F_{\text{тр.}B} - T_{BC} = 0;$$

$$6. \sum F_{ky} = N_B - P_B \cos \alpha = 0.$$

Рівняння рівноваги для тіла C (рис.8.9,в):

$$7. \sum F_{kx} = P_C \sin \alpha + T_{BC} + F_{\text{тр.}C} = 0;$$

$$8. \sum F_{ky} = -P_C \cos \alpha + N_C = 0.$$

Додамо до записаних рівнянь залежності для сил тертя з урахуванням виразів (4), (6) і (8) для сил нормального тиску:

$$9. F_{\text{тр.}A} = f_A N_A = f_A P_A \cos \alpha;$$

$$10. F_{\text{тр.}B} = f_B N_B = f_B P_B \cos \alpha;$$

$$11. F_{\text{тр.}C} = f_C N_C = f_C P_C \cos \alpha.$$

З урахуванням виразів для сил тертя з (1) дістанемо:

$$\begin{aligned} & \sin \alpha (P_A + P_B + P_C) - f_A P_A \cos \alpha - f_B P_B \cos \alpha - f_C P_C \cos \alpha = \\ & = (P_A + P_B + P_C) \sin \alpha - (f_A P_A + f_B P_B + f_C P_C) \cos \alpha = 0. \end{aligned}$$

Звідки:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_A P_A + f_B P_B + f_C P_C}{P_A + P_B + P_C} = \frac{0,1 \cdot 10 + 0,25 \cdot 30 + 0,5 \cdot 50}{10 + 30 + 60} = 0,385;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} 0,385 = 21^\circ.$$

З рівнянь (3) і (7) знайдемо сили натягу тросів T_{AB} і T_{BC} :

$$\begin{aligned} T_{AB} &= P_A \sin \alpha - F_{\text{тр.}A} = P_A \sin 21^\circ - f_A P_A \cos 21^\circ = \\ &= 10 \cdot 0,358 - 0,1 \cdot 10 \cdot 0,933 = 2,65 \text{ Н}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{BC} &= F_{\text{тр.}C} - P_C \sin \alpha = f_C P_C \cos 21^\circ - P_C \sin 21^\circ = \\ &= 0,560 \cdot 0,933 - 60 \cdot 0,358 = 6,51 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Відповідь: $\alpha = 21^\circ$; $T_{AB} = 2,65 \text{ Н}$; $T_{DC} = 6,4 \text{ Н}$.

Задача №5

Драбина AB (рис.10) вагою P спирається на гладку вертикальну стінку в точці A і на шорстку горизонтальну підлогу в точці B .

Визначити під яким кутом до підлоги треба поставити драбину, щоб по ній до точки A могла піднятися людина, вага якої G .

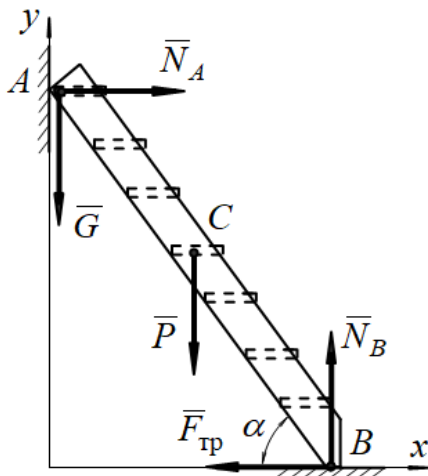


Рис. 10

Розв'язування. Для визначення кута α розглянемо рівновагу драбини AB (рис.10).

На драбину діють: \bar{P} - вага драбини, яка прикладена в точці C (посередині AB); \bar{G} - вага людини, прикладена в точці A ; реакції поверхонь \bar{N}_A і \bar{N}_B , напрямлені перпендикулярно до відповідних поверхонь; сила тертя ковзання $\bar{F}_{\text{тр}}$, яка напрямлена в бік протилежний можливому переміщенню точки B драбини.

Оскільки на об'єкт рівноваги діє довільна плоска система сил то умови рівноваги будуть мати вигляд:

$$\sum F_{kx} = 0; \quad \sum F_{ky} = 0; \quad \sum m_B(\bar{F}_k) = 0.$$

Складемо ці рівняння рівноваги:

$$1. \sum F_{kx} = N_A - F_{\text{тр}} = 0;$$

$$2. \sum F_{ky} = N_B - P - G = 0;$$

$$3. \sum m_B(\bar{F}_k) = -N_A \cdot (AB) \sin \alpha + G(AB) \cos \alpha + P \frac{(AB)}{2} \cos \alpha = 0.$$

До цих рівнянь додамо залежність сили тертя від нормального тиску:

$$4. F_{\text{тр}} = f \cdot N_B.$$

Розділивши рівняння (3) на AB і $\cos \alpha$ дістанемо:

$$-N_A \text{tg} \alpha + G + 0,5P = 0.$$

Звідки:

$$5. \text{tg} \alpha = \frac{2G + P}{N_A}.$$

Визначивши з рівняння (2) силу нормального тиску в точці B і підставивши в вираз для сили тертя в рівняння (1) знайдемо:

$$N_A = F_{\text{тр}} = f \cdot N_B = f(P + G).$$

Підставивши значення N_A в рівняння (5) дістанемо:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2G + P}{2f(P + G)}.$$

Таким чином, рівновага драбини можлива коли

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \frac{2G + P}{2f(P + G)}.$$

Відповідь: $\operatorname{tg} \alpha \geq \frac{2G + P}{2f(P + G)}.$

5. Задачі для самостійного розв'язку

Задача № 1

Ящик вагою P розташований на шорсткій поверхні рис. 11. Коефіцієнт тертя між ящиком та поверхнею f . Визначити під яким кутом β треба прикласти зсуну силу Q , щоб значення цієї сили було мінімальним. При розв'язку задачі ящик вважати матеріальною точкою.

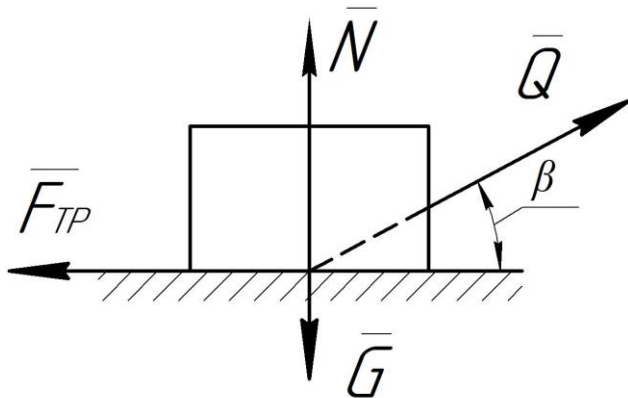


Рис. 11

Задача № 2

На горизонтальній поверхні C розташовано два бруса A і B . Вага бруса A складає 100 Н , а бруса B – 200 Н . Коефіцієнт тертя між брусами A і B складає $f_1=0,2$, а між нижнім брусом B і площиною C коефіцієнт тертя складає $f_2=0,5$. На брус A діє зсувна сила $Q=60\text{ Н}$, як показано на рис. 12 і прикладена посередині бруса.

Визначити чи будуть бруси рухатись один відносно іншого та відносно поверхні C .

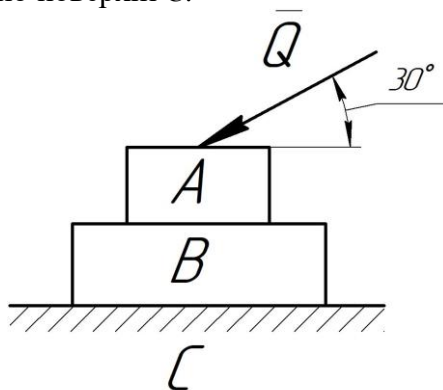


Рис. 12

Задача № 3

Дві пластини поєднано болтовим з'єднанням, в якому болт розташований з зазором (рис. 13). Для того, щоб болт не працював на зріз, необхідно затягнути з'єднання такою силою, щоб вона унеможливила ковзання пластин. Визначити силу затяжки болтового з'єднання, якщо величина зсувної сили, прикладеної до пластин $F = 2$ кН, а коефіцієнт тертя між пластинами $f=0,2$.

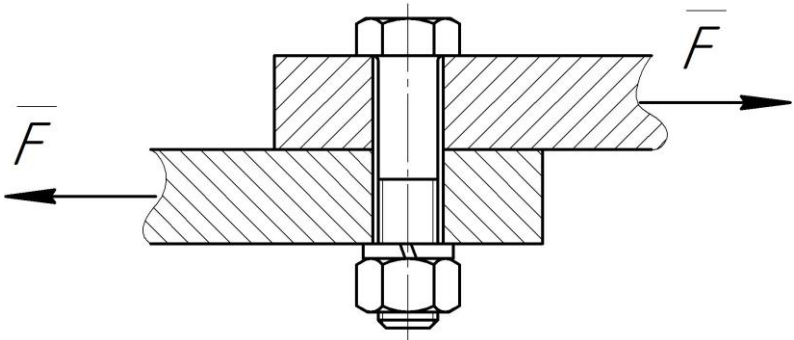


Рис. 13

Література:

1. Бурлака В.В., Ольшанський В.П., Сліпченко М.В.. Теоретична механіка. Статика. В'язі: 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: ХНТУСГ, 2020. 20 с.
2. Бурлака В.В., Ольшанський В.П., Сліпченко М.В.. Теоретична механіка. Статика. Система збіжних сил на площині: 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: ХНТУСГ, 2020. 21 с.
3. Бурлака В.В., Ольшанський В.П., Сліпченко М.В.. Теоретична механіка. Статика. Довільна плоска система сил: 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: ХНТУСГ, 2021. 23 с.
4. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике, М.: Наука, 1973.
5. Кучеренко С.І., Бурлака В.В., Тіщенко Л.М. Теоретична механіка. Курс лекцій. Харків, 2013. 544с.
6. Бурлака В.В., Сліпченко М.В., Тіщенко Л.М. Теоретична механіка: Збірник задач для курсових робіт. Навчальний посібник. Харків: Міськдрук, 2016. 309 с.
- 7 . 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.
РІВНОВАГА ТІЛА З УРАХУВАННЯМ
СИЛ ТЕРТЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

Укладачі

БУРЛАКА Володимир Васильович,
ОЛЬШАНСЬКИЙ Василь Павлович,
СЛПЧЕНКО Максим Володимирович

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

Ум. друк. арк. 1,5

Наклад 30 пр.

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