



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра механічної та біомедичної інженерії

С.В. Онищенко, Д.Л. Колосов

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ НА РІВНОВАГУ ЗБІЖНОЇ СИСТЕМИ СИЛ
В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD**

**Методичні рекомендації до самопідготовки студентів (практикум) з
тем «Моделювання взаємозв'язків об'єктів» та «Система збіжних сил»
дисципліни «Теоретична механіка»
для бакалаврів спеціальностей 131 «Прикладна механіка»,
132 «Матеріалознавство»**

Дніпро
НТУ «ДП»
2022

Онищенко С.В., Колосов Д.Л.

Розв'язання задач на рівновагу збіжної системи сил в середовищі MathCAD. Методичні рекомендації до самопідготовки студентів (практикум) з тем «Моделювання взаємозв'язків об'єктів» та «Система збіжних сил» дисципліни «Теоретична механіка» для бакалаврів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство» [Електронний ресурс] / С.В. Онищенко, Д.Л. Колосов ; Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2022. – 55 с.

Автори

С.В. Онищенко, к.т.н., доц. каф. МБМІ

Д.Л. Колосов, д.т.н., доц., зав. каф. МБМІ

Розглянуто на засіданні кафедри механічної та біомедичної інженерії №8 від 09 вересня 2022 р.

Погоджено рішенням науково-методичної комісії спеціальності 131 Прикладна механіка, технічні науки (протокол №3 від 19.10.2022 р.).

Погоджено рішенням науково-методичної комісії спеціальності 132 Матеріалознавство, технічні науки (протокол №2 від 08.12.2022 р.).

Затверджено до видання редакційною радою (протокол №12 від 27.12.2022) за поданням методичних комісій спеціальностей 131 Прикладна механіка (протокол №3 від 19.10.2022), 132 Матеріалознавство (протокол №2 від 08.12.2022 р.).

Розглянуто приклади моделювання взаємозв'язків технічних об'єктів за допомогою абстракцій теоретичної механіки та приклади виконання індивідуальних завдань з теми «рівновага системи збіжних сил» дисципліни «Теоретична механіка» для бакалаврів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство».

Відповідальний за випуск заступник завідувача кафедри механічної та біомедичної інженерії С.В. Онищенко, к.т.н.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АБСТРАКЦІЙ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕХАНІКИ	5
1.1 Абстракції теоретичної механіки	6
1.2 Взаємозв'язки технічних об'єктів	9
1.3 Задачі для самопідготовки (моделювання взаємозв'язків)	14
2 РІВНОВАГА СИСТЕМИ ЗБІЖНИХ СИЛ	19
2.1 Система збіжних сил, приклад 1. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD.....	20
2.2 Система збіжних сил, приклад 2. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD.....	26
2.3 Система збіжних сил, приклад 3. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD.....	31
2.4 Система збіжних сил, приклад 4. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD.....	37
2.5 Задачі для самопідготовки (система збіжних сил)	42
ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ	46
Перелік посилань та рекомендована література	54

ВСТУП

Теоретична механіка є однією з базових інженерних дисциплін, з якої починається підготовка студентів багатьох спеціальностей.

Метою нормативної дисципліни «Теоретична механіка» є формування компетентностей щодо виконання інженерного аналізу технічних об'єктів в галузі прикладної механіки, матеріалознавства та машинобудування, моделювання елементів, об'єктів та технічних систем за допомогою абстракцій механіки, проведення розрахунків на рівновагу і взаємодію об'єктів та систем, та механічний рух об'єктів і систем.

Мета методичних рекомендацій – засвоєння теоретичних знань та практичних навичок щодо основних понять, принципів та підходів до статичних розрахунків елементів обладнання та систем з урахуванням їхньої надійності та економічності, сприяння розвитку логічного та аналітичного мислення студентів при побудові фізико-математичної моделі роботи елементів або частин інженерних об'єктів, конструкцій і систем, постановки та розв'язання задач теоретичної механіки.

ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

1. Знати і розуміти засади теоретичної механіки, що лежать в основі прикладної механіки і матеріалознавства.

2. Знати і розуміти перспективи розвитку теоретичної, прикладної механіки і матеріалознавства.

3. Застосовувати методи теоретичної механіки для інженерних розрахунків технічних об'єктів в галузі прикладної механіки і матеріалознавства.

4. Аналізувати інженерні об'єкти, використовуючи методи теоретичної механіки.

5. Розробляти розрахункові схеми технічних об'єктів в галузі прикладної механіки і матеріалознавства, використовуючи моделі теоретичної механіки.

1 МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АБСТРАКЦІЙ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕХАНІКИ

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Теоретична механіка вивчає найбільш загальні закони руху і взаємодії тіл, використовуючи методи абстракції, узагальнення, математичні методи та ін. Застосування цих методів призводить до того, що розглядаються не самі матеріальні об'єкти, а їхні моделі.

Основними абстракціями теоретичної механіки вважаються поняття матеріальної точки, абсолютно твердого тіла і суцільного середовища.

Взаємозв'язки технічних об'єктів – це в'язі, які певним чином обмежують рух об'єктів.

План теми 1

- 1.1 [Абстракції теоретичної механіки](#)
- 1.2 [Взаємозв'язки технічних об'єктів](#)
- 1.3 [Задачі для самопідготовки \(моделювання взаємозв'язків\)](#)

1.1 Абстракції теоретичної механіки

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Основними абстракціями механіки є поняття матеріальної точки, абсолютно твердого тіла і суцільного середовища.

Матеріальна точка (МТ) – це об’єкт, який має масу, але розмірами та формою якого можна знехтувати. Матеріальною точкою, зазвичай, замінюють матеріальне тіло задля спрощення формулювання та розв’язання задач теоретичної механіки. Наприклад, розмірами та формою транспортного засобу можна знехтувати, коли пройдена ним відстань є значно більшою. Уявимо, що розмір автівки в середньому становить 5 м, а пройдена нею відстань дорівнює 10 км. Тоді в рамках дослідження руху цього авто на заданому переміщенні можна сміливо нехтувати його розмірами (рис. 1.1).

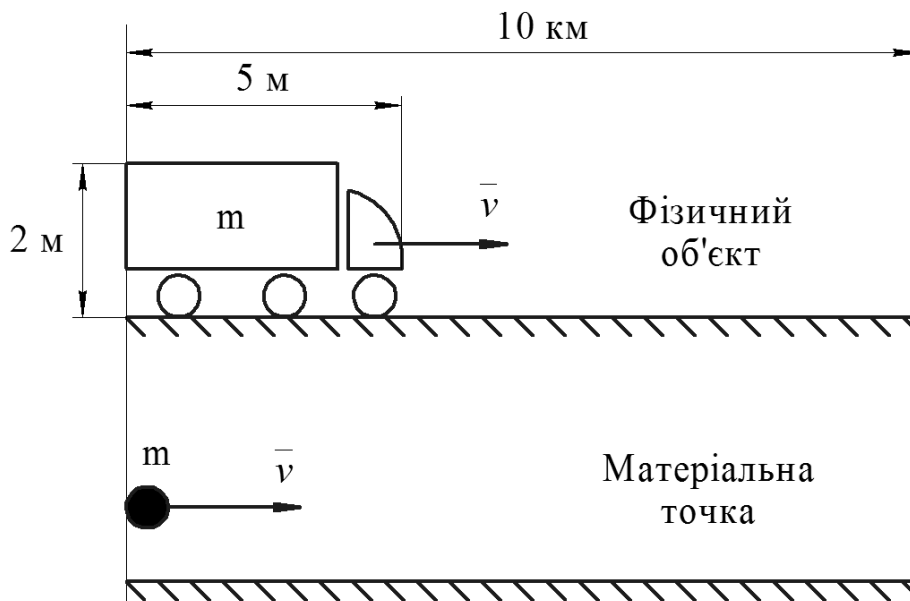


Рисунок 1.1 – Заміна об’єкта матеріальною точкою

Також є випадки, коли досліджуваний об’єкт не можна замінити матеріальною точкою. Наприклад, паркування авто на паркувальному майданчику (рис. 1.2). Нехтування його розмірами та формою в рамках розв’язання такої задачі призведе до хибних результатів, бо розмір

паркувального майданчика, паркувального місця та інших автівок поруч можна співставити із розмірами самого авто.

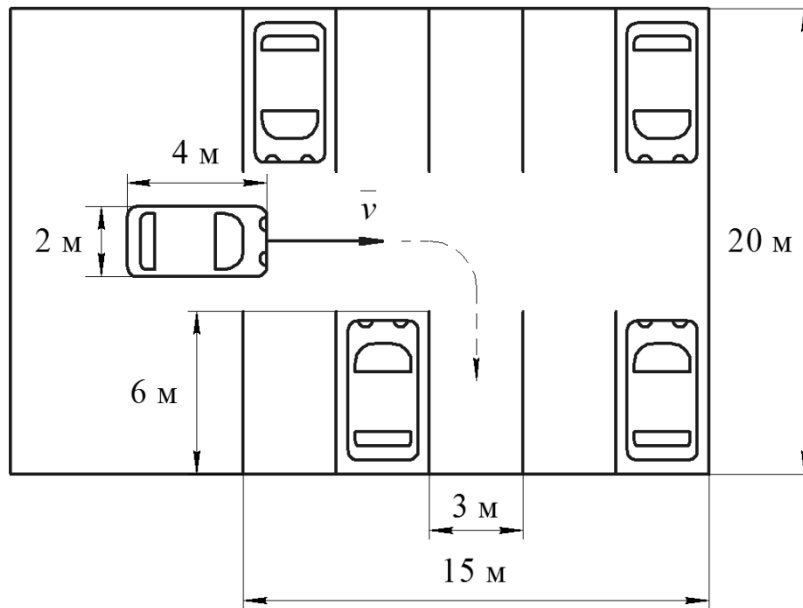


Рисунок 1.2 – Випадок некоректності використання матеріальної точки

Абсолютно тверде тіло (АТТ) – це модель об’єктів теоретичної механіки, у якої деформування не відбувається за жодних зовнішніх впливів (рис. 1.3), або тіло, яке не можна здеформувати. Таким чином, відстань між будь-якими двома точками АТТ не змінюється із плином часу.

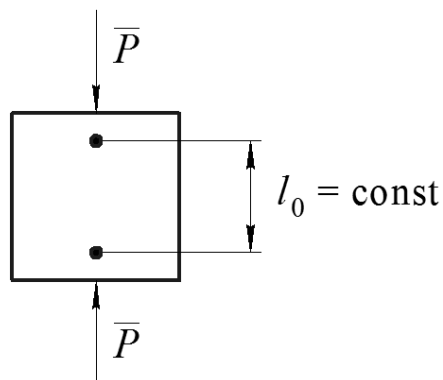


Рисунок 1.3 – Абсолютно тверде тіло

Суцільне середовище – модель теоретичної механіки, за якої розглянутий об'єкт повністю (без прогалин) займає свої габаритні розміри (рис. 1.4).

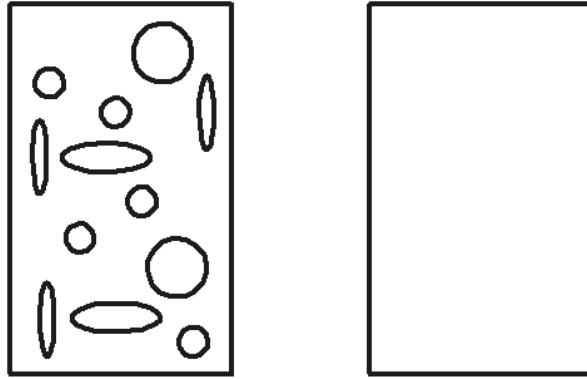


Рисунок 1.4 – Несуцільне (ліворуч) та суцільне середовище (праворуч)

1.2 Взаємозв'язки технічних об'єктів

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Об'єкти та елементи конструкцій в рамках розв'язання задач теоретичної механіки зазвичай зображуються у спрощеному вигляді, тобто використовують їхні моделі (рис. 1.5-1.6).

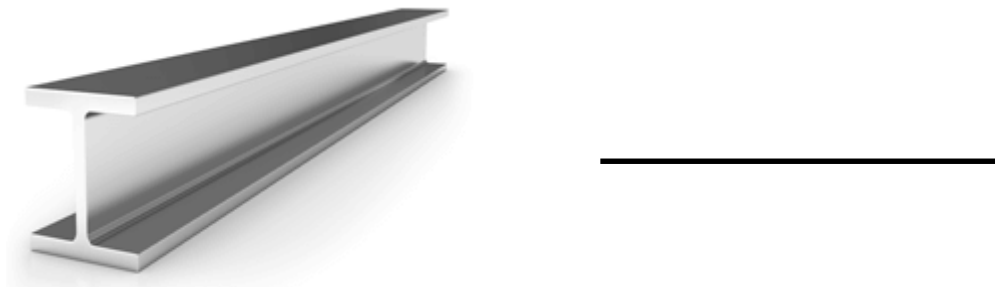


Рисунок 1.5 – Балка (ліворуч) [1] і модель горизонтальної балки (праворуч)

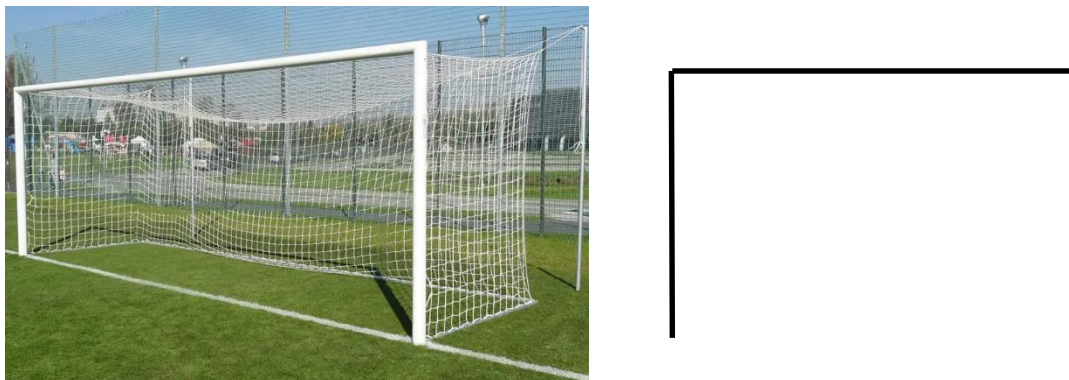


Рисунок 1.6 – Рама (ліворуч) [2] і модель рами (праворуч)

Існують вільні і невільні тіла (рис. 1.7). Невільні тіла – це об'єкти, рух яких певним чином обмежено. Наприклад, якщо одне тіло знаходиться на поверхні іншого, воно є невільним.

Взаємозв'язки технічних об'єктів – це в'язі, які певним чином обмежують рух об'єктів.

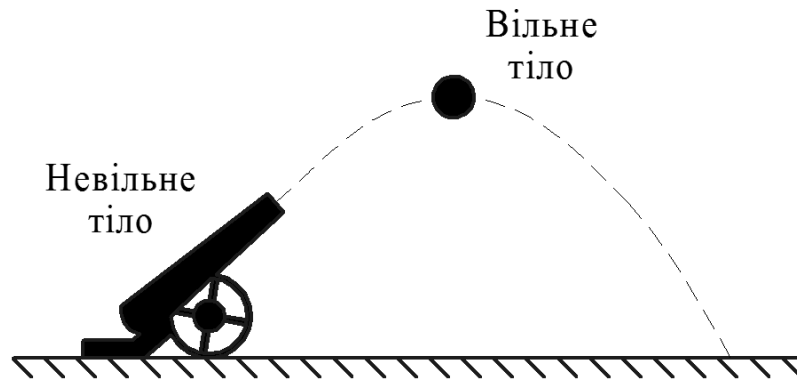


Рисунок 1.7 – Невільне тіло (ліворуч) і вільне тіло (праворуч)

Гладенька поверхня (рис. 1.8) – це в'язь, яка обмежує рух тіла вздовж загального перпендикуляра до поверхні у точці контакту, та тертям тіла вздовж поверхні можна знехтувати. Якщо одна з поверхонь, які торкаються, є точкою, то нормаль будується до другої поверхні. Модель гладенької поверхні можна застосовувати для дослідження руху тіла на льоду.

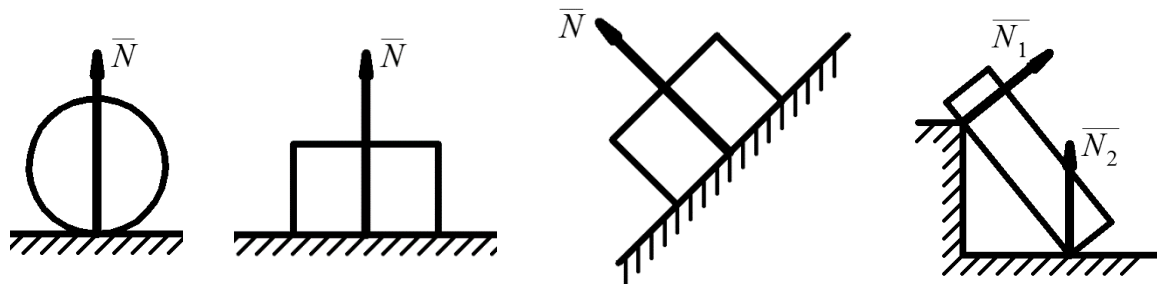


Рисунок 1.8 – Приклади реакцій гладенької поверхні

Шорстка поверхня (рис. 1.9) – це поверхня, тертям вздовж якої даного тіла знехтувати не можна. Напрямок реакції \bar{R}_A даної в'язі заздалегідь невідомо. Реакцію розкладають на нормальну \bar{N} та дотичну $\bar{F}_{тр}$.

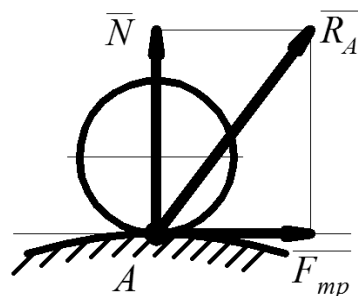


Рисунок 1.9 – Шорстка поверхня

Ідеальна нитка (рис. 1.10) – тонка, невагома, гнучка, абсолютно нерозтяжна нитка (може бути моделлю троса, каната, мотузки, ланцюга). Реакцію в'язі \bar{T} завжди спрямовано вздовж нитки до точки підвішування. Нитка створює опір лише коли розтягнута.

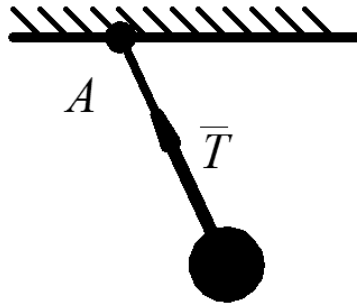


Рисунок 1.10 – Ідеальна нитка

Ідеальний стрижень (рис. 1.11) – тонкий, невагомий, абсолютно твердий стрижень, який шарнірно закріплено з обох кінців. Реакція стрижня завжди спрямована уздовж осі стрижня. Стержень створює опір коли він розтягнутий і коли стиснутий. Наприклад, модель ідеального стрижня може бути використана для розпірок.

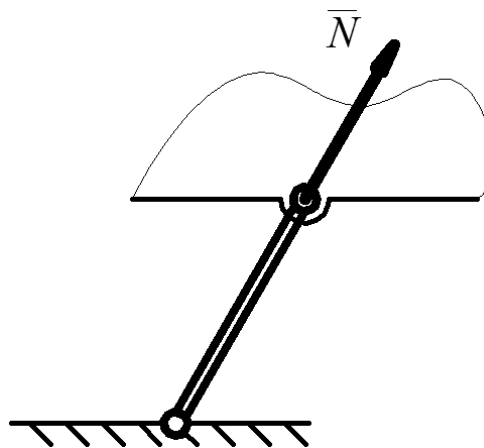


Рисунок 1.11 – Ідеальний стрижень

Рухома шарнірна циліндрична опора (рис. 1.12) – це в'язь, яка дає можливість тілу вільно переміщуватися вздовж одного напрямку на площині. Як наслідок, в цьому випадку буде виникати тільки одна опорна реакція, яка завжди спрямована уздовж вісі шарніра.

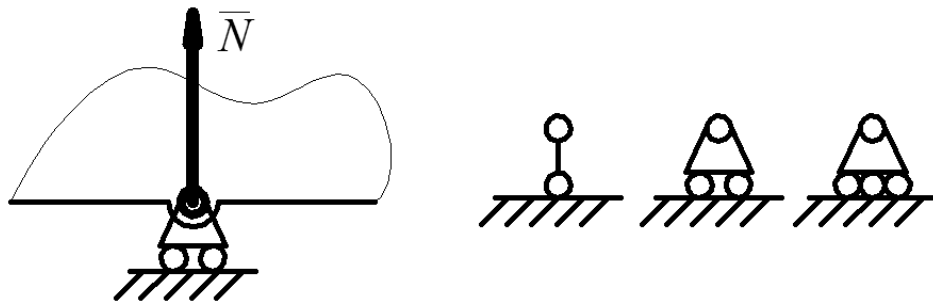


Рисунок 1.12 – Рухома шарнірна циліндрична опора

Нерухома шарнірна циліндрична опора (рис. 1.13) – це в'язь, яка не дає переміщуватися одному тілу відносно іншого у двох напрямках на площині. Інакше, переміщенню уздовж цих напрямків перешкоджають відповідні реакції R_{Ax} та R_{Ay} , в той же час тіло може вільно обертатися навколо вісі, яка проходить крізь точку A та перпендикулярна до площини рисунку. Приклад – міжкімнатні двері, дверцята холодильника, вал вентилятора і т.п.

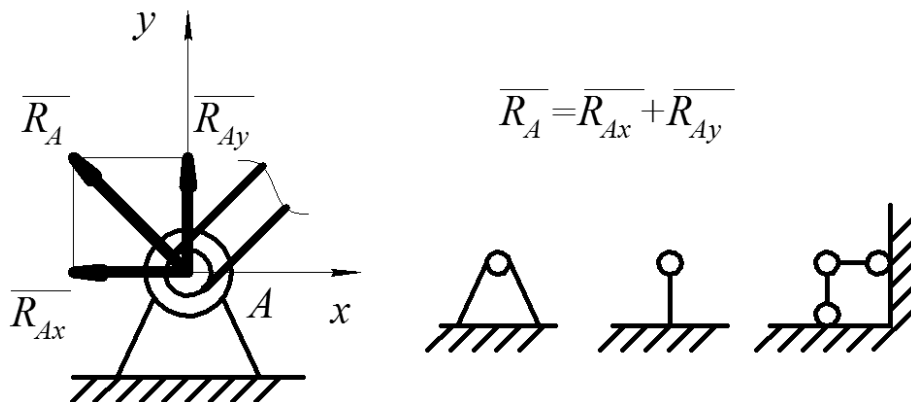


Рисунок 1.13 – Нерухома шарнірна циліндрична опора

Сферичний шарнір (рис. 1.14) – це в'язь, яка закріплює точку тіла таким чином, що тіло не може здійснювати ніяких поздовжніх переміщень, але може вільно обертатися навколо цієї точки. Реакція сферичного шарніра довільно спрямована у просторі. Приклад – фото- чи відеокамера, яку закріплено на штативі за допомогою сферичного шарніру; кульшовий або плечовий суглоб людини.

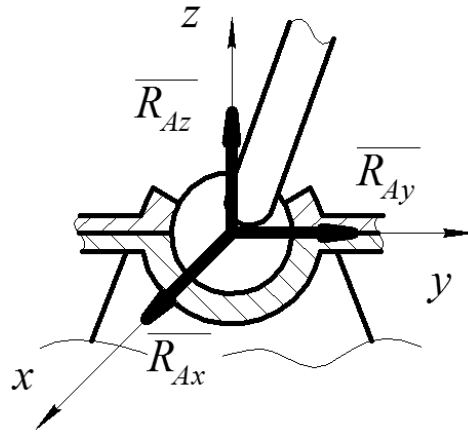


Рисунок 1.14 – Сферичний шарнір

Жорстке затиснення (защемлення, закладення) (рис. 1.15) – в'язь яка не дає переміщуватися одному тілу відносно іншого у двох напрямках на площині, а також обертатися навколо точки кріплення. Приклад – балка, жорстко затиснута в стіні; дерево, яке кореневою системою створює жорстке затиснення у ґрунті; залізобетонна опора лінії електропередачі, забетонована у ґрунт.

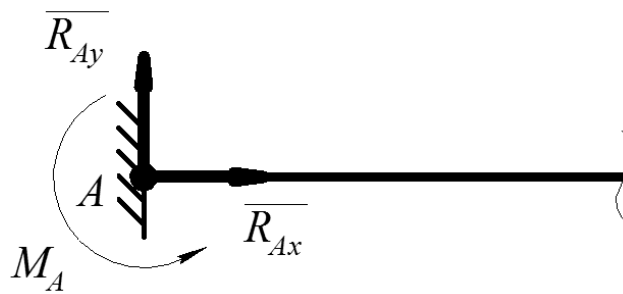


Рисунок 1.15 – Жорстке затиснення


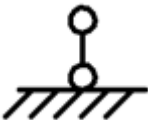


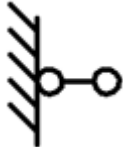


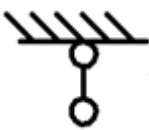


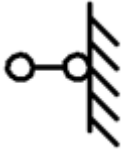

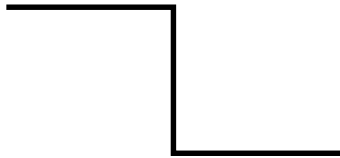




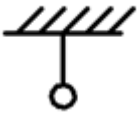
1.3 Задачі для самопідготовки (моделювання взаємозв'язків)

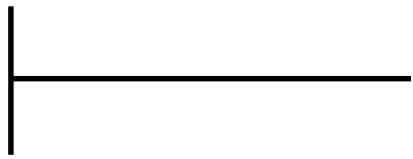

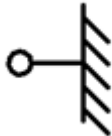
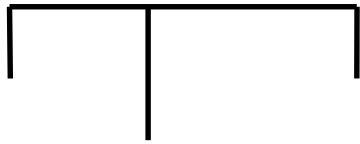

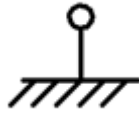
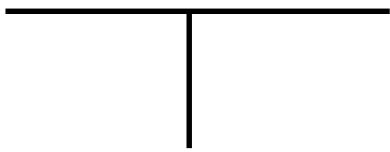


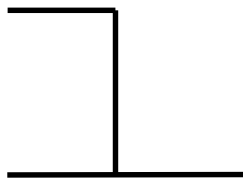

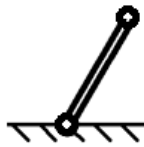
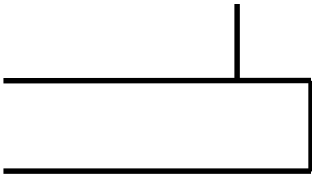

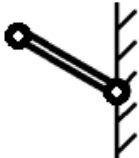


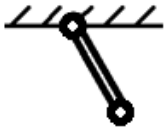
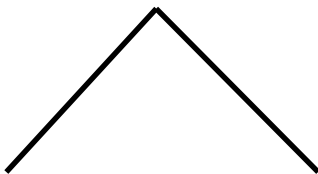
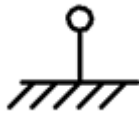
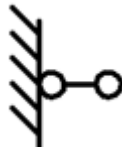

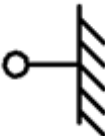
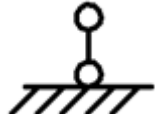
↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Умова задачі





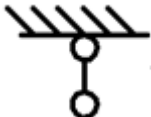


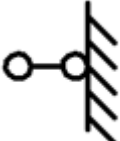

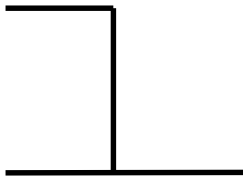
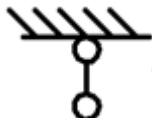

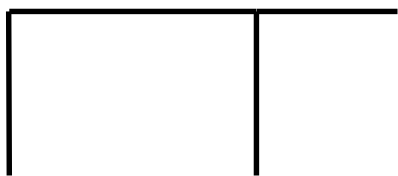


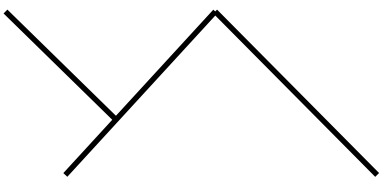


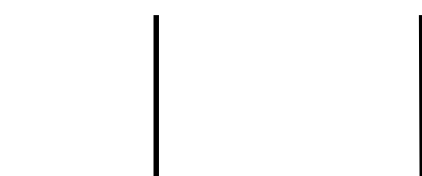


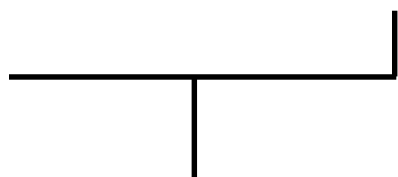


Скласти схему плоскої конструкції, використовуючи наведені в таблиці 1.1 в'язі. Визначити кількість невідомих реакцій в'язей в отриманій конструкції.

Таблиця 1.1 Вихідні дані для задачі

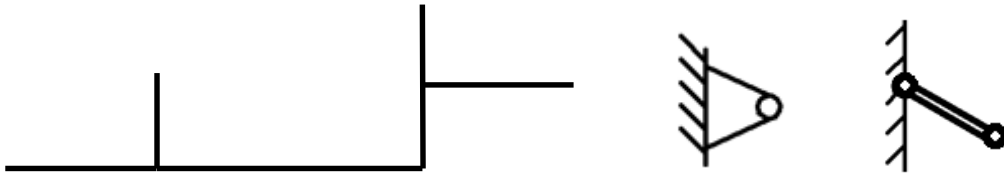
Варіант	Елемент конструкції та в'язі		
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Варіант	Елемент конструкції та в'язі		
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

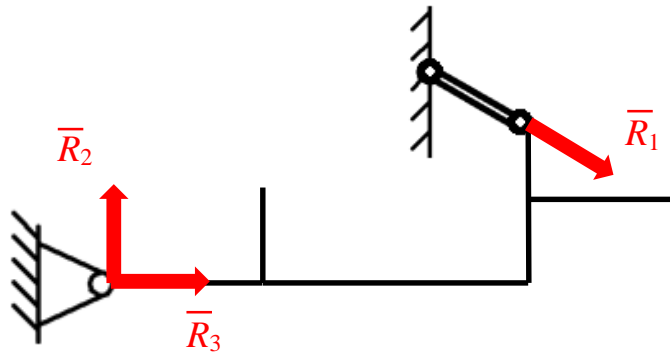
Варіант	Елемент конструкції та в'язі		
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

Варіант	Елемент конструкції та в'язі		
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Приклад 1.

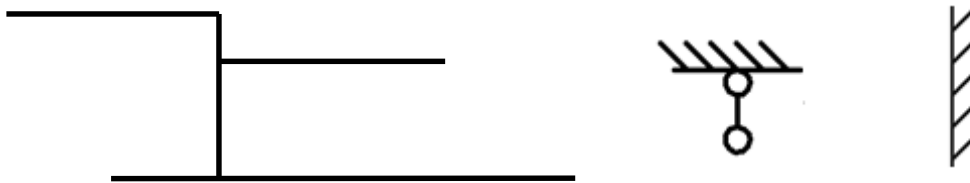


Розв'язання

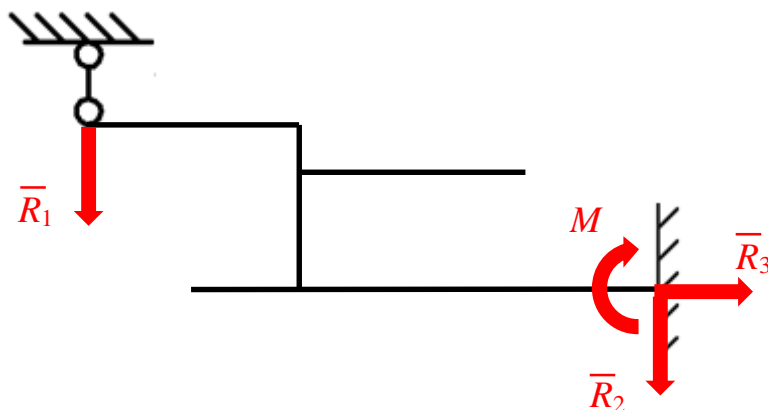


Відповідь: 3 невідомих реакції в'язей.

Приклад 2.



Розв'язання



Відповідь: 4 невідомих реакції в'язей.

2 РІВНОВАГА СИСТЕМИ ЗБІЖНИХ СИЛ

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Система збіжних сил – система, у якій лінії дії сил перетинаються в одній точці. Рівновага системи збіжних сил виконується у випадку, коли рівнодіюча системи сил дорівнює нулю. Рівнодіюча – це сила, яка замінює дію системи сил. Умова рівності нулю рівнодіючої еквівалентна геометричній умові рівноваги, коли усі сили збіжної системи утворюють замкнутий трикутник. З огляду на це, задачу на рівновагу збіжної системи сил можна розв’язати і графічним методом, і аналітичним методом. У цьому розділі розглянемо обидва методи із застосуванням прикладного пакету MathCAD.

План теми 2

1. [Система збіжних сил, приклад 1. Розрахунок реакцій в’язей з використанням пакету MathCAD](#)
2. [Система збіжних сил, приклад 2. Розрахунок реакцій в’язей з використанням пакету MathCAD](#)
3. [Система збіжних сил, приклад 3. Розрахунок реакцій в’язей з використанням пакету MathCAD](#)
4. [Система збіжних сил, приклад 4. Розрахунок реакцій в’язей з використанням пакету MathCAD](#)
5. [Задачі для самопідготовки \(система збіжних сил\)](#)

2.1 Система збіжних сил, приклад 1. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Суцільна куля вагою $G = 100$ Н лежить на двох взаємно перпендикулярних поверхнях (рис. 2.1). Контакт між кулею і поверхнями відбувається у точках D і E . Визначити реакції поверхонь у цих точках, якщо відомо, що кут між поверхнею, де лежить точка D , та горизонталлю дорівнює 30° .

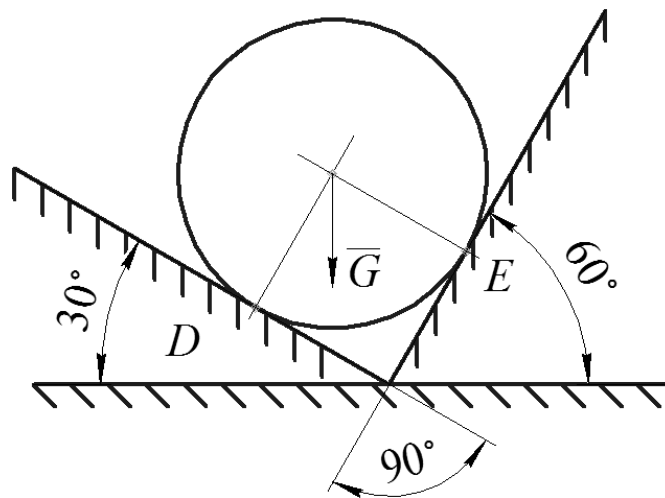


Рисунок 2.1 – Вихідна схема

Розв'язання

Графічний метод. Побудуємо розрахункову схему (рис. 2.2). Зобразимо невідомі реакції в'язей перпендикулярно до контактуючих поверхонь. Враховуючи форму тіла виходить, що реакції опор спрямовані радіально і лінії їхньої дії перетинаються у центрі кулі, утворюючи систему із трьох збіжних сил.

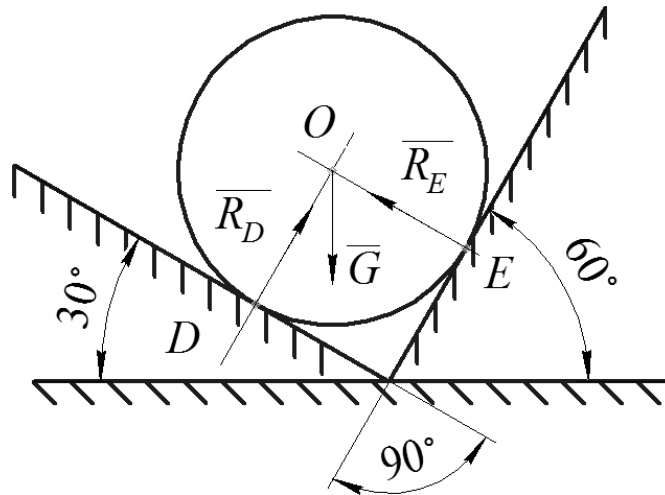


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

Умова рівноваги збіжної системи сил – це замкненість багатокутника, утвореного силами в системі. У цьому прикладі кількість сил – три, тому для розгляду рівноваги маємо побудувати замкнений трикутник (рис. 2.3). Для побудови треба задати масштаб рисунку, для цього скористаємось тим, що нам відома величина та напрямок вектора G . Зобразимо цей вектор з довжиною, наприклад, 50 мм, на рисунку 2.3. Це означає, що масштаб на рисунку дорівнює 2 Н/мм, тобто кожен міліметр рисунку відповідає силі 2 Н.

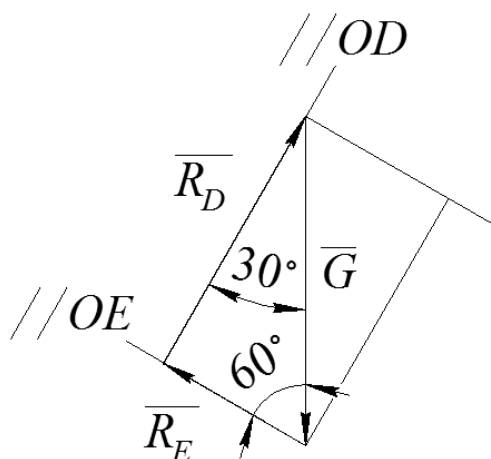


Рисунок 2.3 – Замкнений трикутник збіжної системи сил

Далі проведемо додаткові прямі, паралельні відрізку OE , через початок та кінець вектора G . Так само проведемо додаткові прямі, паралельні відрізку OD . В результаті отримаємо два трикутники (ліворуч і праворуч від вектора G). Розглянемо лівий трикутник. Проведемо вектори R_E і R_D , у напрямках, які паралельні відрізкам OE і OD . Отримали силовий трикутник, в якому кожний наступний вектор починається у кінці попереднього. Маючи таку схему сил, побудовану у масштабі, можемо визначити величину будь-якого вектора. Вимірюємо довжини векторів силового трикутника і записуємо їх. Вектор R_E на рисунку має довжину 25 мм, вектор R_D – 43,3 мм.

У MathCAD задаємо значення ваги кулі

$$G := 100 \text{ N}$$

Записуємо пропорцію для сил. Із властивості пропорції визначаємо величини сил

G	50mm	100N
R_E	25mm	50N
R_D	43.3mm	$\frac{43.3 \cdot 100}{50} \text{ N} = 86.6 \text{ N}$

Як бачимо, $R_E = 50 \text{ Н}$, $R_D = 86,6 \text{ Н}$.

Тригонометричний метод. Позначаємо внутрішні кути силового трикутника (рис. 2.3). Маємо прямокутний трикутник, гіпотенуза якого $G = 100 \text{ Н}$. Із властивостей трикутника за допомогою тригонометричних функцій визначаємо довжини катетів цього силового трикутника

$$R_D := G \cdot \cos(30 \text{ deg}) = 86.603 \text{ N}$$

$$R_E := G \cdot \sin(30 \text{ deg}) = 50 \text{ N}$$

Результати розрахунків співпадають із даними, отриманими графічним методом, із достатньою точністю. Отже, значення реакцій в'язей розраховані вірно.

Аналітичний метод у MathCAD за допомогою блоку Given-Find.

Перш за все, створимо розрахункову схему для складання рівнянь рівноваги у аналітичній формі (рис. 2.4). Позначимо вісі координат x і y . Спроектуємо вектори R_E і R_D на вісі координат. Позначимо усі необхідні вектори та кути.

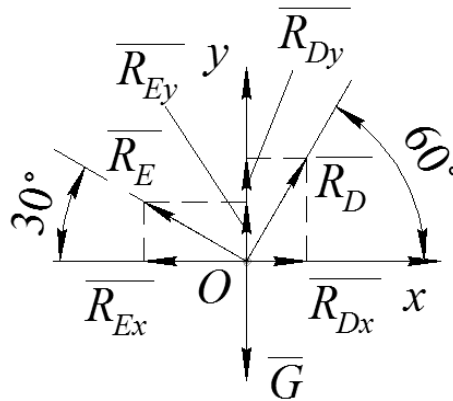


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для складання рівнянь рівноваги

Для того, щоб скористатись розрахунковим блоком Given-Find, треба заздалегідь задати приблизне початкове значення реакцій в'язей. Після цього записати функцію Given.

```
G := 100·N
R_D := 40 N      R_E := 40 N
Given
```

Далі запишемо рівняння рівноваги у аналітичній формі.

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad R_D \cdot \cos(60\text{deg}) - R_E \cdot \cos(30\text{deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -G + R_D \cdot \sin(60\text{deg}) + R_E \cdot \sin(30\text{deg}) = 0$$

Перше рівняння – це рівняння проекцій сил на вісь x (усіх горизонтальних сил), друге – на вісь y (усіх вертикальних сил). Правило знаків перед проекціями сил наступне – якщо напрямок сили співпадає із віссю, то у рівнянні вказуємо знак «+», якщо не співпадає – знак «-». Чорний прямокутник у правому верхньому кутку біля рівняння рівноваги – це увімкнена функція «вимкнути розрахунки», яка необхідна для коректної роботи блоку Given-Find.

Останнім кроком записуємо функцію Find наступним чином

$$\text{Find}(R_D, R_E) = \begin{pmatrix} 86.603 \\ 50 \end{pmatrix} \text{N}$$

Аргументи функції Find у дужках – сили, які треба визначити. Функція Find видає результат у вигляді матриці-стовпчика, де наводяться розрахунки аргументів у тому порядку, в якому вказані аргументи функції.

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Аналітичний метод підстановки у MathCAD. Для використання цього методу скористаємось раніше побудованими рівняннями рівноваги.

$$\begin{aligned} \sum_i F_{ix} = 0 & \quad R_D \cdot \cos(60\text{deg}) - R_E \cdot \cos(30\text{deg}) = 0 \\ \sum_i F_{iy} = 0 & \quad -G + R_D \cdot \sin(60\text{deg}) + R_E \cdot \sin(30\text{deg}) = 0 \end{aligned}$$

Виразимо одну невідому (R_D) через іншу (R_E), та підставимо у друге рівняння. Розрахуємо R_E , потім R_D

$$R_D := \frac{R_E \cdot \cos(30 \text{ deg})}{\cos(60 \text{ deg})}$$

$$-G + \frac{R_E \cdot \cos(30 \text{ deg})}{\cos(60 \text{ deg})} \cdot \sin(60 \text{ deg}) + R_E \cdot \sin(30 \text{ deg}) = 0$$

$$R_E := \frac{G}{\left(\frac{\cos(30 \text{ deg})}{\cos(60 \text{ deg})} \cdot \sin(60 \text{ deg}) + \sin(30 \text{ deg}) \right)} = 50 \text{ N}$$

$$R_D := \frac{R_E \cdot \cos(30 \text{ deg})}{\cos(60 \text{ deg})} = 86.603 \text{ N}$$

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Відповідь: $R_E = 50 \text{ Н}$, $R_D = 86,6 \text{ Н}$.

2.2 Система збіжних сил, приклад 2. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Суцільна куля вагою $G = 200$ Н закріплена двома розтягнутими нитками AB і CD (рис. 2.5). Кут між ниткою AB і горизонталлю дорівнює 45° , кут між нитками 145° . Визначити реакції ниток.

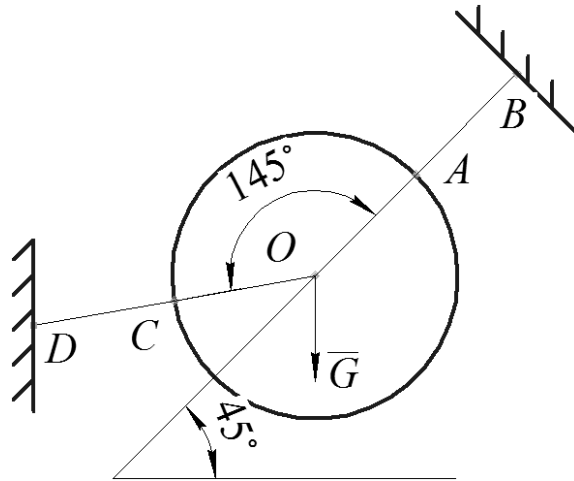


Рисунок 2.5 – Вихідна схема

Розв'язання

Графічний метод. Побудуємо розрахункову схему (рис. 2.6). Зобразимо невідомі реакції в'язей вздовж ниток до точок підвішування. Лінії дії реакцій в'язей перетинаються у центрі кулі, утворюючи систему із трьох збіжних сил.

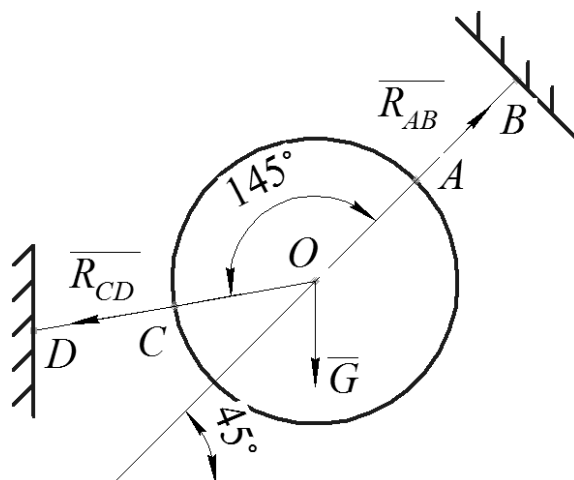


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема

Побудуємо замкнений трикутник (рис. 2.7). Для цього треба задати масштаб рисунку, для цього скористаємось тим, що нам відома величина та напрямок вектора G . Зобразимо цей вектор з довжиною 50 мм на рисунку 2.7. Це означає, що масштаб на рисунку дорівнює 4 Н/мм, тобто кожен міліметр рисунку відповідає силі 4 Н.

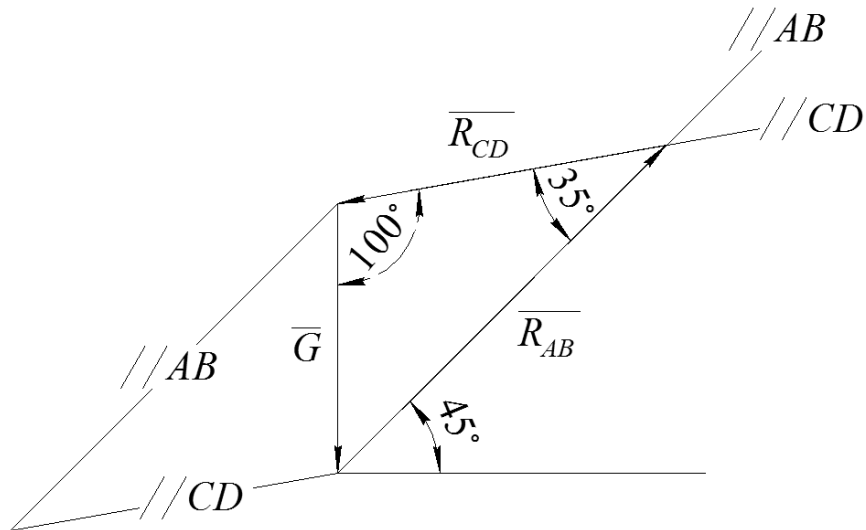


Рисунок 2.7 – Замкнений силовий трикутник

Аналогічно попередній задачі, виконаємо усі побудови, необхідні для утворення замкненого силового трикутника – проведемо лінії, паралельні відрізкам AB і CD через початок та кінець вектора G , вкажемо реакції R_{AB} і R_{CD} , зобразимо усі необхідні кути.

Вимірюємо довжини векторів силового трикутника і записуємо їх. Вектор R_{AB} на рисунку має довжину 85,85 мм, вектор R_{CD} – 61,64 мм.

У MathCAD задаємо значення ваги кулі

$$\underline{G} := 200 \text{ N}$$

Записуємо пропорцію для сил. Із властивості пропорції визначаємо величини сил

G	50mm	200N
R_{AB}	85.848mm	$\frac{200\text{N} \cdot 85.848}{50} = 343.392\text{N}$
R_{CD}	61.64mm	$\frac{200\text{N} \cdot 61.64}{50} = 246.56\text{N}$

Як бачимо, $R_{AB} = 343,39\text{ Н}$, $R_{CD} = 246,56\text{ Н}$.

Тригонометричний метод. Із силового трикутника (рис. 2.7) за допомогою теореми синусів визначаємо довжини невідомих сторін

$$\frac{G}{\sin(35\text{deg})} = \frac{R_{AB}}{\sin(100\text{deg})} = \frac{R_{CD}}{\sin(45\text{deg})}$$

$$R_{AB} := \frac{G \cdot \sin(100\text{deg})}{\sin(35\text{deg})} = 343.392\text{N}$$

$$R_{CD} := \frac{G \cdot \sin(45\text{deg})}{\sin(35\text{deg})} = 246.561\text{N}$$

Результати розрахунків співпадають із даними, отриманими графічним методом. Отже, значення реакцій в'язей розраховані вірно.

Аналiтичний метод у MathCAD за допомогою блоку Given-Find. Створимо розрахункову схему для складання рівнянь рівноваги у аналітичній формі (рис. 2.8). Позначимо вісі координат x і y . Спроекуємо вектори R_{AB} і R_{CD} на вісі координат. Позначимо усі необхідні вектори та кути.

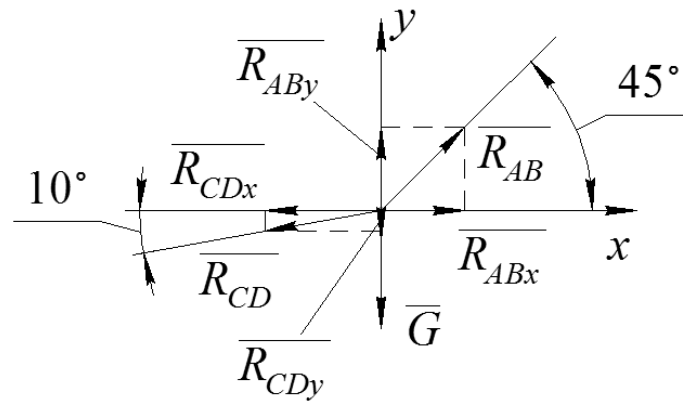


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема для складання рівнянь рівноваги

Задаємо приблизне початкове значення реакцій в'язей та записуємо розрахунковий блок Given-Find

$$R_{AB} := 100 \text{ N} \quad R_{CD} := 100 \text{ N}$$

Given

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad -R_{CD} \cdot \cos(10\text{deg}) + R_{AB} \cdot \cos(45\text{deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -G - R_{CD} \cdot \sin(10\text{deg}) + R_{AB} \cdot \sin(45\text{deg}) = 0$$

$$\text{Find}(R_{CD}, R_{AB}) = \begin{pmatrix} 246.561 \\ 343.392 \end{pmatrix} \text{ N}$$

Рівняння рівноваги записані у аналітичній формі. Перше рівняння – це рівняння проекцій сил на вісь x , друге – на вісь y . Правило знаків наступне – якщо напрямок сили співпадає із віссю, то у рівнянні вказуємо знак «+», якщо не співпадає – знак «-». Чорний прямокутник у правому верхньому кутку біля рівняння рівноваги – це увімкнена функція «вимкнути розрахунки», яка необхідна для коректної роботи блоку Given-Find.

Аргументи функції Find у дужках – сили R_{AB} і R_{CD} , які треба визначити. Функція Find видає результат у вигляді матриці-стовпчика, де наводяться розрахунки аргументів у тому порядку, в якому вказані аргументи функції.

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Аналітичний метод підстановки у MathCAD. Для використання цього методу скористаємось раніше побудованими рівняннями рівноваги.

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad -R_{CD} \cdot \cos(10\text{deg}) + R_{AB} \cdot \cos(45\text{deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -G - R_{CD} \cdot \sin(10\text{deg}) + R_{AB} \cdot \sin(45\text{deg}) = 0$$

Виразимо одну невідому (R_{AB}) через іншу (R_{CD}), та підставимо у друге рівняння. Розрахуємо R_{CD} , потім R_{AB}

$$R_{AB} := \frac{R_{CD} \cdot \cos(10 \cdot \text{deg})}{\cos(45 \cdot \text{deg})}$$

$$-G - R_{CD} \cdot \sin(10\text{deg}) + \frac{R_{CD} \cdot \cos(10 \cdot \text{deg})}{\cos(45 \cdot \text{deg})} \cdot \sin(45\text{deg}) = 0$$

$$R_{CD} := \frac{G}{\sin(10 \cdot \text{deg}) - \frac{\cos(10 \cdot \text{deg}) \cdot \sin(45 \cdot \text{deg})}{\cos(45 \cdot \text{deg})}} = 246.561 \text{ N}$$

$$R_{AB} := \frac{R_{CD} \cdot \cos(10 \cdot \text{deg})}{\cos(45 \cdot \text{deg})} = 343.392 \text{ N}$$

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Відповідь: $R_{AB} = 343,39 \text{ Н}$, $R_{CD} = 246,56 \text{ Н}$.

2.3 Система збіжних сил, приклад 3. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Вантаж вагою $P = 3$ кН закріплено на двох шарнірно з'єднаних стержнях AB і BC , які приєднані до щогли AC (рис. 2.9). Кут між стержнем AB і щоглою дорівнює 20° , кут ACB дорівнює 120° . Визначити реакції стержнів.

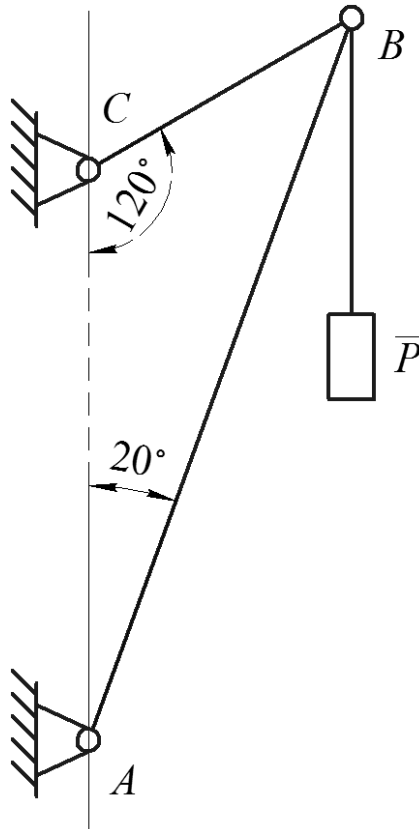


Рисунок 2.9 – Вихідна схема

Розв'язання

Графічний метод. Побудуємо розрахункову схему (рис. 2.10). Зобразимо невідомі реакції в'язей вздовж стержнів. R_{AB} спрямована від точки A до точки B, R_{BC} – у напрямку від B до C. Лінії дії реакцій в'язей перетинаються у шарнірі B, утворюючи систему із трьох збіжних сил.

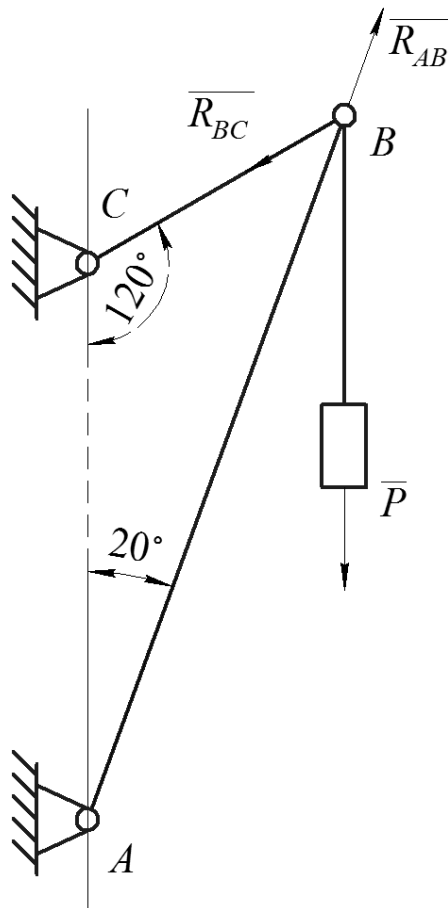


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема

Побудуємо замкнений трикутник (рис. 2.11). Задаємо масштаб рисунку, зобразивши вектор P вертикально вниз довжиною 50 мм. Це означає, що масштаб на рисунку дорівнює 60 Н/мм, тобто кожен міліметр рисунку відповідає силі 60 Н.

Аналогічно попередній задачі, виконаємо усі побудови, необхідні для утворення замкненого силового трикутника – проведемо лінії, паралельні відріzkам AB і BC через початок та кінець вектора P , вкажемо реакції R_{AB} і R_{BC} , зобразимо усі необхідні кути.

Вимірюємо довжини векторів силового трикутника і записуємо їх. Вектор R_{AB} на рисунку має довжину 67,36 мм, вектор R_{BC} – 26,6 мм.

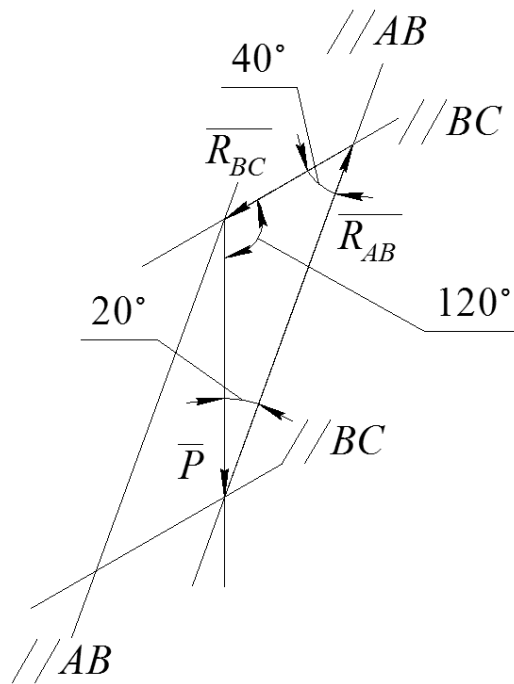


Рисунок 2.11 – Замкнений силовий трикутник

У MathCAD задаємо значення ваги вантажа

$$P := 3 \cdot \text{kN}$$

Записуємо пропорцію для сил. Із властивості пропорції визначаємо величини сил

P	50mm	3kN
R_{AB}	67.36mm	$\frac{67.36 \cdot 3000}{50} \text{N} = 4.042 \cdot \text{kN}$
R_{BC}	26.6mm	$\frac{26.6 \cdot 3000}{50} \text{N} = 1.596 \cdot \text{kN}$

Як бачимо, $R_{AB} = 4,04 \text{ кН}$, $R_{CD} = 1,6 \text{ кН}$.

Тригонометричний метод. Із силового трикутника (рис. 2.11) за допомогою теореми синусів визначаємо довжини невідомих сторін

$$\frac{P}{\sin(40\text{deg})} = \frac{R_{AB}}{\sin(120\text{deg})} = \frac{R_{BC}}{\sin(20\text{deg})}$$

$$R_{AB} := \frac{P \cdot \sin(120\text{deg})}{\sin(40\text{deg})} = 4.042 \cdot \text{kN}$$

$$R_{BC} := \frac{P \cdot \sin(20\text{deg})}{\sin(40\text{deg})} = 1.596 \cdot \text{kN}$$

Результати розрахунків співпадають із даними, отриманими графічним методом. Отже, значення реакцій в'язей розраховані вірно.

Аналітичний метод у MathCAD за допомогою блоку Given-Find.

Створимо розрахункову схему для складання рівнянь рівноваги у аналітичній формі (рис. 2.12). Позначимо вісі координат x і y . Спроекуємо вектори R_{AB} і R_{BC} на вісі координат. Позначимо усі необхідні вектори та кути.

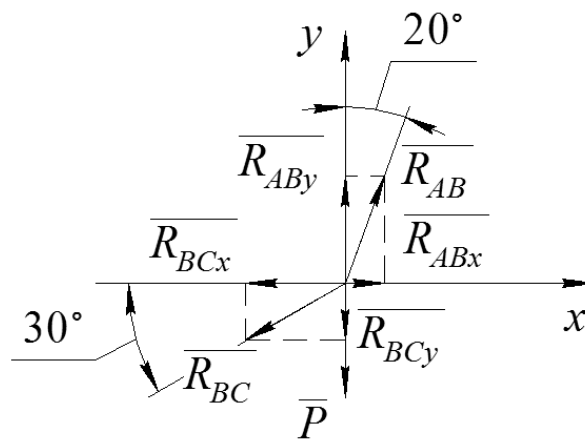


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема для складання рівнянь рівноваги

Задаємо приблизне початкове значення реакцій в'язей та записуємо розрахунковий блок Given-Find

$$R_D := 1 \text{ kN} \quad R_E := 1 \text{ kN}$$

Given

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad R_{AB} \cdot \sin(20 \text{ deg}) - R_{BC} \cdot \cos(30 \text{ deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -P + R_{AB} \cdot \cos(20 \text{ deg}) - R_{BC} \cdot \sin(30 \text{ deg}) = 0$$

$$\text{Find}(R_{AB}, R_{BC}) = \begin{pmatrix} 4.042 \\ 1.596 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

Рівняння рівноваги записані у аналітичній формі. Перше рівняння – це рівняння проекцій сил на вісь x , друге – на вісь y . Правило знаків наступне – якщо напрямок сили співпадає із віссю, то у рівнянні вказуємо знак «+», якщо не співпадає – знак «-». Чорний прямокутник у правому верхньому кутку біля рівняння рівноваги – це увімкнена функція «вимкнути розрахунки», яка необхідна для коректної роботи блоку Given-Find.

Аргументи функції Find у дужках – сили R_{AB} і R_{BC} , які треба визначити. Функція Find видає результат у вигляді матриці-стовпчика, де наводяться розрахунки аргументів у тому порядку, в якому вказані аргументи функції.

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Аналітичний метод підстановки у MathCAD. Для використання цього методу скористаємось раніше побудованими рівняннями рівноваги.

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad R_{AB} \cdot \sin(20 \text{ deg}) - R_{BC} \cdot \cos(30 \text{ deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -P + R_{AB} \cdot \cos(20 \text{ deg}) - R_{BC} \cdot \sin(30 \text{ deg}) = 0$$

Виразимо одну невідому (R_{AB}) через іншу (R_{BC}), та підставимо у друге рівняння. Розрахуємо R_{BC} , потім R_{AB}

$$R_{AB} := \frac{R_{BC} \cdot \cos(30 \cdot \text{deg})}{\sin(20 \cdot \text{deg})}$$

$$-P + \frac{R_{BC} \cdot \cos(30 \cdot \text{deg})}{\sin(20 \cdot \text{deg})} \cdot \cos(20 \cdot \text{deg}) - R_{BC} \cdot \sin(30 \cdot \text{deg}) = 0$$

$$R_{BC} := -\frac{P}{\sin(30 \cdot \text{deg}) - \frac{\cos(20 \cdot \text{deg}) \cdot \cos(30 \cdot \text{deg})}{\sin(20 \cdot \text{deg})}} = 1.596 \cdot \text{kN}$$

$$R_{AB} := \frac{R_{BC} \cdot \cos(30 \cdot \text{deg})}{\sin(20 \cdot \text{deg})} = 4.042 \cdot \text{kN}$$

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Відповідь: $R_{AB} = 4,04 \text{ кН}$, $R_{BC} = 1,6 \text{ кН}$.

2.4 Система збіжних сил, приклад 4. Розрахунок реакцій в'язей з використанням пакету MathCAD

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Суцільний циліндр вагою $P = 40$ кН і радіусом $R = 1$ м нерухомо розташований між двома цегляними стінами і опирається на їхні краї у точках A і B (рис. 2.13). Відстань між стінами $l = 1,5$ м. Визначити реакції опор у точках A і B .

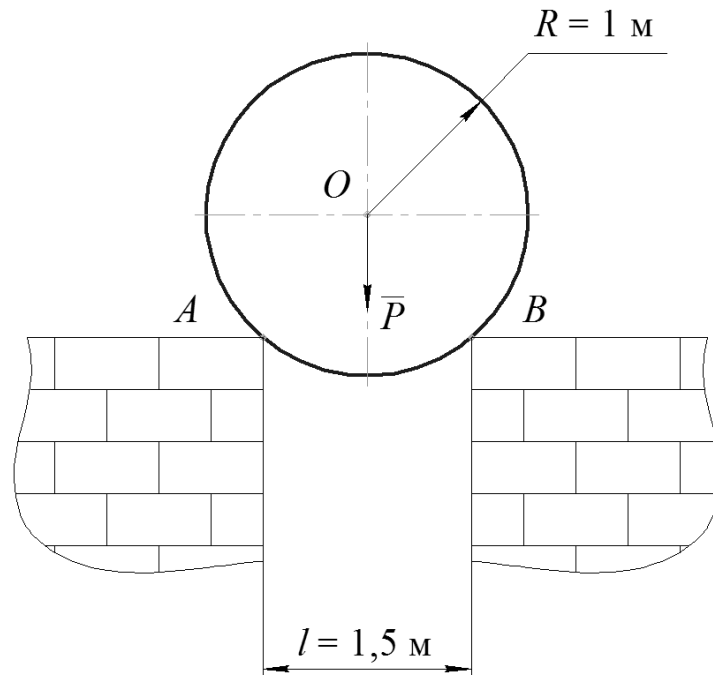


Рисунок 2.13 – Вихідна схема

Розв'язання

Графічний метод. Побудуємо розрахункову схему (рис. 2.14). Зобразимо невідомі реакції в'язей R_A і R_B у точках A і B відповідно. Реакції спрямовані радіально до центру мас циліндра O , де їхні лінії дії перетинаються з лінією дії ваги циліндра P . Схема сил симетрична відносно вертикалі. Таким чином, маємо систему із трьох збіжних сил.

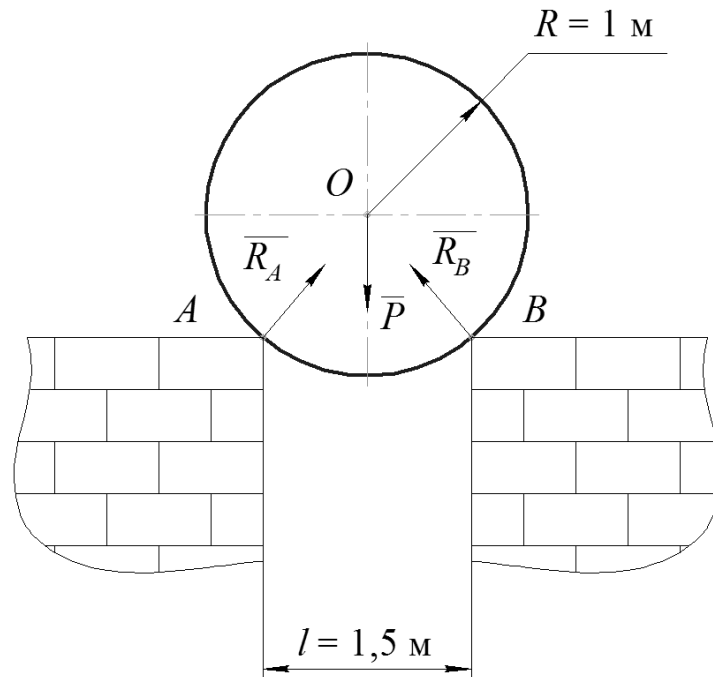


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема

Побудуємо замкнений трикутник (рис. 2.15). Задаємо масштаб рисунку, зобразивши вектор P вертикально вниз довжиною 50 мм. Це означає, що масштаб на рисунку дорівнює 800 Н/мм, тобто кожен міліметр рисунку відповідає силі 800 Н. Враховуючи відстань між стінами $l = 1,5 \text{ м}$ та радіус циліндра $R = 1 \text{ м}$, маємо кут 40° між відрізком AO та вертикаллю.

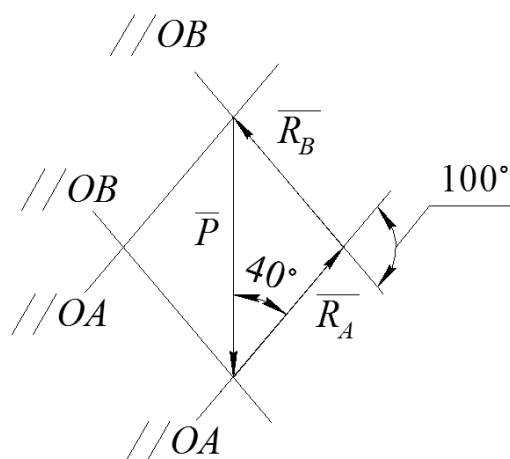


Рисунок 2.15 – Замкнений силовий трикутник

Аналогічно попередній задачі, виконаємо усі побудови, необхідні для утворення замкненого силового трикутника – проведемо лінії, паралельні

відрізкам OA і OB через початок та кінець вектора P , вкажемо реакції R_A і R_B , зобразимо усі необхідні кути.

Вимірюємо довжини векторів силового трикутника і записуємо їх. Вектори R_A і R_B на рисунку мають довжину 26,22 мм.

У MathCAD задаємо значення ваги циліндра

$$P := 40 \text{ kN}$$

Записуємо пропорцію для сил. Із властивості пропорції визначаємо величини сил

P	50mm	40kN
$R_A = R_B$	32.78mm	$\frac{32.78 \cdot 40}{50} \text{ kN} = 26.224 \cdot \text{kN}$

Як бачимо, $R_A = 26,22 \text{ кН}$, $R_B = 26,22 \text{ кН}$.

Тригонометричний метод. Із силового трикутника (рис. 2.15) за допомогою теореми синусів визначаємо довжини невідомих сторін

$$\frac{P}{\sin(100\text{deg})} = \frac{R_A}{\sin(40\text{deg})} = \frac{R_B}{\sin(40\text{deg})}$$

$$R_A := \frac{P \cdot \sin(40\text{deg})}{\sin(100\text{deg})} = 26.108 \cdot \text{kN}$$

$$R_B := R_A = 26.108 \cdot \text{kN}$$

Результати розрахунків співпадають із даними, отриманими графічним методом з достатньою точністю. Похибка спричинена округленням кута 40° до цілого значення. Отже, значення реакцій в'язей розраховані вірно.

Аналітичний метод у MathCAD за допомогою блоку Given-Find. Створимо розрахункову схему для складання рівнянь рівноваги у

аналітичній формі (рис. 2.16). Позначимо вісі координат x і y . Спроекуємо вектори R_A і R_B на вісі координат. Позначимо усі необхідні вектори та кути.

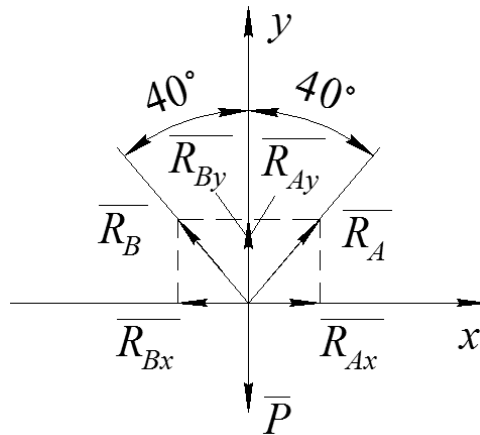


Рисунок 2.16 – Розрахункова схема для складання рівнянь рівноваги

Задаємо приблизне початкове значення реакцій в'язей та записуємо розрахунковий блок Given-Find

$$\bar{R}_A := 10 \text{ kN} \quad \bar{R}_B := 10 \text{ kN}$$

Given

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad -R_B \cdot \sin(40 \text{ deg}) + R_A \cdot \sin(40 \text{ deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -P + R_B \cdot \cos(40 \text{ deg}) + R_A \cdot \cos(40 \text{ deg}) = 0$$

$$\text{Find}(R_B, R_A) = \begin{pmatrix} 26.108 \\ 26.108 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

Рівняння рівноваги записані у аналітичній формі. Перше рівняння – це рівняння проєкцій сил на вісь x , друге – на вісь y . Правило знаків наступне – якщо напрямок сили співпадає із віссю, то у рівнянні вказуємо знак «+», якщо не співпадає – знак «-». Чорний прямокутник у правому верхньому кутку біля рівняння рівноваги – це увімкнена функція «вимкнути розрахунки», яка необхідна для коректної роботи блоку Given-Find.

Аргументи функції Find у дужках – сили R_B і R_A , які треба визначити. Функція Find видає результат у вигляді матриці-стовпчика, де наводяться розрахунки аргументів у тому порядку, в якому вказані аргументи функції.

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Аналітичний метод підстановки у MathCAD. Для використання цього методу скористаємось раніше побудованими рівняннями рівноваги.

$$\sum_i F_{ix} = 0 \quad -R_B \cdot \sin(40 \text{ deg}) + R_A \cdot \sin(40 \text{ deg}) = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \quad -P + R_B \cdot \cos(40 \text{ deg}) + R_A \cdot \cos(40 \text{ deg}) = 0$$

Враховуючи симетричність схеми сил ($R_A = R_B$), по черзі визначимо невідомі

$$R_A := R_B$$

$$-P + R_B \cdot \cos(40 \text{ deg}) + R_B \cdot \cos(40 \text{ deg}) = 0$$

$$R_B := \frac{P}{2 \cdot \cos(40 \cdot \text{deg})} = 26.108 \cdot \text{kN}$$

$$R_A := R_B = 26.108 \cdot \text{kN}$$

Отримані результати співпадають із розрахунками іншими методами, тому можна їх вважати вірними.

Відповідь: $R_A = 26,11 \text{ кН}$, $R_B = 26,11 \text{ кН}$.

2.5 Задачі для самопідготовки (система збіжних сил)

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

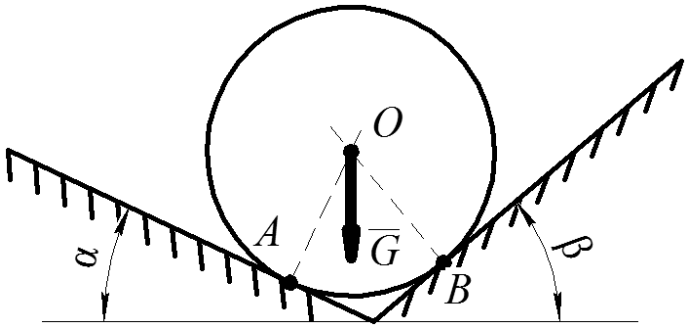
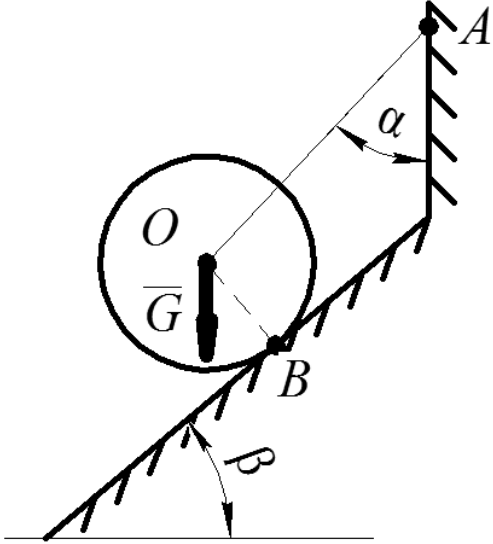
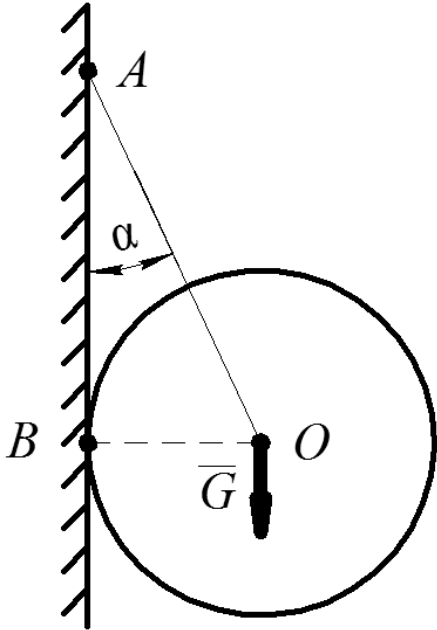
Умова задачі

Для заданої конструкції визначити реакції в'язей AC і BC (варіанти 1-15), OA і OB (варіанти 16-27), та AB і CD (варіанти 28-30). Вихідні дані наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Вихідні дані для задачі

Варіант	Вихідні дані	Схема конструкції
1	$P = 5 \text{ кН}$ $\alpha = 15^\circ$ $\beta = 35^\circ$	
2	$P = 60 \text{ кН}$ $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 40^\circ$	
3	$P = 40 \text{ кН}$ $\alpha = 25^\circ$ $\beta = 55^\circ$	
4	$P = 10 \text{ кН}$ $\alpha = 60^\circ$ $\beta = 25^\circ$	
5	$P = 24 \text{ кН}$ $\alpha = 70^\circ$ $\beta = 15^\circ$	
6	$P = 85 \text{ кН}$ $\alpha = 75^\circ$ $\beta = 20^\circ$	

Варіант	Вихідні дані	Схема конструкції
7	$P = 80 \text{ кН}$ $\alpha = 145^\circ$ $\beta = 30^\circ$	
8	$P = 25 \text{ кН}$ $\alpha = 120^\circ$ $\beta = 20^\circ$	
9	$P = 36 \text{ кН}$ $\alpha = 130^\circ$ $\beta = 15^\circ$	
10	$P = 12 \text{ кН}$ $\alpha = 30^\circ$ $\beta = 55^\circ$	
11	$P = 38 \text{ кН}$ $\alpha = 15^\circ$ $\beta = 70^\circ$	
12	$P = 56 \text{ кН}$ $\alpha = 20^\circ$ $\beta = 65^\circ$	
13	$P = 4 \text{ кН}$ $\alpha = 40^\circ$ $\beta = 125^\circ$	
14	$P = 24 \text{ кН}$ $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 140^\circ$	
15	$P = 14 \text{ кН}$ $\alpha = 50^\circ$ $\beta = 155^\circ$	

Варіант	Вихідні дані	Схема конструкції
16	$G = 8 \text{ кН}$ $\alpha = 5^\circ$ $\beta = 25^\circ$	
17	$G = 10 \text{ кН}$ $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 35^\circ$	
18	$G = 12 \text{ кН}$ $\alpha = 15^\circ$ $\beta = 45^\circ$	
19	$G = 14 \text{ кН}$ $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 45^\circ$	
20	$G = 16 \text{ кН}$ $\alpha = 20^\circ$ $\beta = 50^\circ$	
21	$G = 18 \text{ кН}$ $\alpha = 30^\circ$ $\beta = 55^\circ$	
22	$G = 20 \text{ кН}$ $\alpha = 15^\circ$	
23	$G = 22 \text{ кН}$ $\alpha = 25^\circ$	
24	$G = 24 \text{ кН}$ $\alpha = 35^\circ$	

Варіант	Вихідні дані	Схема конструкції
25	$G = 26 \text{ кН}$ $\alpha = 60^\circ$ $\beta = 45^\circ$	
26	$G = 28 \text{ кН}$ $\alpha = 65^\circ$ $\beta = 55^\circ$	
27	$G = 30 \text{ кН}$ $\alpha = 70^\circ$ $\beta = 65^\circ$	
28	$G = 35 \text{ кН}$ $\alpha = 40^\circ$ $\beta = 100^\circ$	
29	$G = 40 \text{ кН}$ $\alpha = 60^\circ$ $\beta = 120^\circ$	
30	$G = 45 \text{ кН}$ $\alpha = 80^\circ$ $\beta = 140^\circ$	

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Сертифікація досягнень студентів здійснюється за допомогою прозорих процедур, що ґрунтуються на об'єктивних критеріях відповідно до Положення університету «Про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти».

Досягнутий рівень компетентностей відносно очікуваних, що ідентифікований під час контрольних заходів, відображає реальний результат навчання студента за дисципліною.

Шкали

Оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП» здійснюється за рейтинговою (100-бальною) та інституційною шкалами. Остання необхідна (за офіційною відсутністю національної шкали) для конвертації (переведення) оцінок мобільних студентів.

Шкали оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП»

Рейтингова	Інституційна
90...100	відмінно / Excellent
74...89	добре / Good
60...73	задовільно / Satisfactory
0...59	незадовільно / Fail

Кредити навчальної дисципліни зараховуються, якщо студент отримав підсумкову оцінку не менше 60-ти балів. Нижча оцінка вважається академічною заборгованістю, що підлягає ліквідації відповідно до Положення про організацію освітнього процесу НТУ «ДП».

Засоби та процедури

Зміст засобів діагностики спрямовано на контроль рівня сформованості знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності студента за вимогами НРК до 6-го кваліфікаційного рівня під час демонстрації регламентованих робочою програмою результатів навчання.

Студент на контрольних заходах має виконувати завдання, орієнтовані виключно на демонстрацію дисциплінарних результатів навчання (розділ 2).

Засоби діагностики, що надаються студентам на контрольних заходах у вигляді завдань для поточного та підсумкового контролю, формуються шляхом конкретизації вихідних даних та способу демонстрації дисциплінарних результатів навчання.

Засоби діагностики (контрольні завдання) для поточного та підсумкового контролю дисципліни затверджуються кафедрою.

Види засобів діагностики та процедур оцінювання для поточного та підсумкового контролю дисципліни подано нижче.

Засоби діагностики та процедури оцінювання

ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ			ПІДСУМКОВИЙ КОНТРОЛЬ	
навчальн е заняття	засоби діагностики	процедури	засоби діагностики	процедури
лекції	контрольні завдання за кожною темою	виконання завдання під час лекцій	комплексна контрольна робота (ККР)	визначення середньозваженого результату поточних контролів; виконання ККР під час екзамену за бажанням студента
практичні	контрольні завдання за кожною темою	виконання завдань під час практичних занять		
	або індивідуальне завдання	виконання завдань під час самостійної роботи		

Під час поточного контролю лекційні заняття оцінюються шляхом визначення якості виконання контрольних конкретизованих завдань. Практичні заняття оцінюються якістю виконання контрольного або індивідуального завдання.

Якщо зміст певного виду занять підпорядковано декільком складовим, то інтегральне значення оцінки може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюються викладачем.

За наявності рівня результатів поточних контролів з усіх видів навчальних занять не менше 60 балів, підсумковий контроль здійснюється без участі студента шляхом визначення середньозваженого значення поточних оцінок.

Незалежно від результатів поточного контролю кожен студент під час екзамену має право виконувати ККР, яка містить завдання, що охоплюють ключові дисциплінарні результати навчання.

Кількість конкретизованих завдань ККР повинна відповідати відведеному часу на виконання. Кількість варіантів ККР має забезпечити індивідуалізацію завдання.

Значення оцінки за виконання ККР визначається середньою оцінкою складових (конкретизованих завдань) і є остаточним.

Інтегральне значення оцінки виконання ККР може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюється кафедрою для кожної складової опису кваліфікаційного рівня НРК.

Критерії

Реальні результати навчання студента ідентифікуються та вимірюються відносно очікуваних під час контрольних заходів за допомогою критеріїв, що описують дії студента для демонстрації досягнення результатів навчання.

Для оцінювання виконання контрольних завдань під час поточного контролю лекційних і практичних занять в якості критерію використовується коефіцієнт засвоєння, що автоматично адаптує показник оцінки до рейтингової шкали:

$$O_i = 100 a/m,$$

де a – число правильних відповідей або виконаних суттєвих операцій відповідно до еталону рішення; m – загальна кількість запитань або суттєвих операцій еталону.

Індивідуальні завдання та комплексні контрольні роботи оцінюються експертно за допомогою критеріїв, що характеризують співвідношення вимог до рівня компетентностей і показників оцінки за рейтинговою шкалою.

Зміст критеріїв спирається на компетентнісні характеристики, визначені НРК для бакалаврського рівня вищої освіти (подано нижче).

Загальні критерії досягнення результатів навчання для 6-го кваліфікаційного рівня за НРК

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
Знання		
♦ концептуальні наукові та практичні знання, критичне осмислення теорій, принципів, методів і понять у сфері професійної діяльності та/або навчання	Відповідь відмінна – правильна, обґрунтована, осмислена. Характеризує наявність: - концептуальних знань; - високого ступеню володіння станом питання; - критичного осмислення основних теорій, принципів, методів і понять у навчанні та професійній діяльності	95-100
	Відповідь містить негрубі помилки або описки	90-94
	Відповідь правильна, але має певні неточності	85-89
	Відповідь правильна, але має певні неточності й недостатньо обґрунтована	80-84

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Відповідь правильна, але має певні неточності, недостатньо обґрунтована та осмислена	74-79
	Відповідь фрагментарна	70-73
	Відповідь демонструє нечіткі уявлення студента про об'єкт вивчення	65-69
	Рівень знань мінімально задовільний	60-64
	Рівень знань незадовільний	<60
Уміння/навички		
♦ поглиблені когнітивні та практичні уміння/навички, майстерність та інноваційність на рівні, необхідному для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем у сфері професійної діяльності або навчання	Відповідь характеризує уміння: - виявляти проблеми; - формулювати гіпотези; - розв'язувати проблеми; - обирати адекватні методи та інструментальні засоби; - збирати та логічно й зрозуміло інтерпретувати інформацію; - використовувати інноваційні підходи до розв'язання завдання	95-100
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності з негрубими помилками	90-94
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85-89
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації двох вимог	80-84
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	74-79
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70-73

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65-69
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60-64
	рівень умінь/навичок незадовільний	<60
<i>Комунікація</i>		
<ul style="list-style-type: none"> ♦ донесення до фахівців і нефахівців інформації, ідей, проблем, рішень, власного досвіду та аргументації; ♦ збір, інтерпретація та застосування даних; ♦ спілкування з професійних питань, у тому числі іноземною мовою, усно та письмово 	<p>Вільне володіння проблематикою галузі.</p> <p>Зрозумілість відповіді (доповіді). Мова:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правильна; - чиста; - ясна; - точна; - логічна; - виразна; - лаконічна. <p>Комунікаційна стратегія:</p> <ul style="list-style-type: none"> - послідовний і несуперечливий розвиток думки; - наявність логічних власних суджень; - доречна аргументації та її відповідність відстоюваним положенням; - правильна структура відповіді (доповіді); - правильність відповідей на запитання; - доречна техніка відповідей на запитання; - здатність робити висновки та формулювати пропозиції 	95-100
	<p>Достатнє володіння проблематикою галузі з незначними хибами.</p> <p>Достатня зрозумілість відповіді (доповіді) з незначними хибами.</p> <p>Доречна комунікаційна стратегія з незначними хибами</p>	90-94

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано п'ять вимог)	74-79
	Задовільне володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано сім вимог)	70-73
	Часткове володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано дев'ять вимог)	65-69
	Фрагментарне володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано 10 вимог)	60-64
	Рівень комунікації незадовільний	<60
<i>Відповідальність і автономія</i>		
♦ управління складною технічною або професійною діяльністю чи проектами;	Відмінне володіння компетенціями менеджменту особистості, орієнтованих на: 1) управління комплексними проектами, що передбачає: - дослідницький характер навчальної діяльності, позначена вмінням	95-100

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
<p>♦ спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у непередбачуваних робочих та/або навчальних контекстах;</p> <p>♦ формування суджень, що враховують соціальні, наукові та етичні аспекти;</p> <p>♦ організація та керівництво професійним розвитком осіб та груп;</p> <p>♦ здатність продовжувати навчання із значним ступенем автономії</p>	<p>самостійно оцінювати різноманітні життєві ситуації, явища, факти, виявляти і відстоювати особисту позицію;</p> <ul style="list-style-type: none"> - здатність до роботи в команді; - контроль власних дій; <p>2) відповідальність за прийняття рішень в непередбачуваних умовах, що включає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обґрунтування власних рішень положеннями нормативної бази галузевого та державного рівнів; - самостійність під час виконання поставлених завдань; - ініціативу в обговоренні проблем; - відповідальність за взаємовідносини; <p>3) відповідальність за професійний розвиток окремих осіб та/або груп осіб, що передбачає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - використання професійно-орієнтовних навичок; - використання доказів із самостійною і правильною аргументацією; - володіння всіма видами навчальної діяльності; <p>4) здатність до подальшого навчання з високим рівнем автономності, що передбачає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ступінь володіння фундаментальними знаннями; - самостійність оцінних суджень; - високий рівень сформованості загальнонавчальних умінь і навичок; - самостійний пошук та аналіз джерел інформації 	
	<p>Упевнене володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано дві вимоги)</p>	<p>90-94</p>

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано шість вимог)	74-79
	Задовільне володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано сім вимог)	70-73
	Задовільне володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано вісім вимог)	65-69
	Рівень відповідальності і автономії фрагментарний	60-64
	Рівень відповідальності і автономії незадовільний	<60

Перелік посилань

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

1. Каталог металопрокату. Компанія STEELMAN. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.metallprokat.com.ua/> (дата звернення: 30.07.2022).
2. Каталог продукції. Інтернет-магазин shopUA.in. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://shopua.in/> (дата звернення: 30.07.2022).

Рекомендована література

3. Теоретична механіка [Текст] : підруч. Для студ. вищ. Навч. Закл. / М. А. Павловський. – К. : Техніка, 2002. – 512 с. ISBN 966-575-184-0
4. Теоретична механіка [Текст] : збірник задач: навч. Посібник для студ. вищих навч. Закл. / О. С. Апостолюк [та ін.] ; ред. М. А. Павловський. – К. : Техніка, 2007. – 400 с. ISBN 966-575-059-3
5. Методика розв'язування і збірник задач з теоретичної механіки [Текст] : навч. Посіб. Для студ. вищ. Навч. Закл. / В. В. Божидарнік, Л. Д. Величко ; Луцький держ. Технічний ун-т, Львівський держ. Ун-т безпеки життєдіяльності. – Вид. 2-е, допов., переробл. – Луцьк : Надстир'я, 2007. – 504 с. – Бібліогр.: с. 500-501. ISBN 978-966-517-585-8

Онищенко Сергій Валерійович
Колосов Дмитро Леонідович

**РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ НА РІВНОВАГУ ЗБІЖНОЇ СИСТЕМИ СИЛ
В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD.**

Методичні рекомендації до самопідготовки студентів (практикум) з тем
«Моделювання взаємозв’язків об’єктів» та «Система збіжних сил»
дисципліни «Теоретична механіка» для бакалаврів спеціальностей
131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство»

Видається в авторській редакції

Підписано до видання 09.09.2022
Електронний ресурс Авт. арк. 2,2

Розроблено і видано в
Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.