



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з навчально-методичної роботи
ЗНТУ «Дніпровський професійний технологічний
коледж»

Сергій ГОРДІЄНКО

«28» серпня 2026 р.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА»

ЛЕКЦІЯ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й АКСІОМИ СТАТИКИ. ПОНЯТТЯ СИЛИ ТА АБСОЛЮТНО ТВЕРДОГО ТІЛА. В'ЯЗИ ТА ЇХ РЕАКЦІЇ

1. Вступ. Роль і місце статyki в технічній механіці

Навчальна дисципліна «Технічна механіка» є ключовим, системоутворюючим нормативним компонентом циклу фундаментальної та професійно-орієнтованої підготовки фахівців у галузі прикладної механіки та зварювального виробництва [cite: 7]. Механікою називається наука про механічний рух або рівновагу матеріальних тіл і взаємодію між ними, що виникає при цьому [cite: 2]. Теоретична механіка розглядає загальні закони механічного руху матеріальних тіл і механічної взаємодії між ними, спираючись на закони Ньютона (класична ньютонівська механіка) [cite: 2].

За характером задач, що вивчаються, теоретична механіка традиційно поділяється на три взаємопов'язані розділи: статику, кінематику та динаміку [cite: 2]. Статикою називається розділ теоретичної механіки, у якому вивчаються методи еквівалентних перетворень систем сил, приведення їх до найпростішого вигляду, а також встановлюються загальні умови рівноваги матеріальних тіл під дією цих сил [cite: 2, 3].

Глибоке опанування аксіоматики статyki та методів зведення просторових і плоских систем сил є критично важливим когнітивним фундаментом для подальшого розрахунку на міцність, жорсткість і стійкість зварних металоконструкцій, рам, ферм та інших інженерних об'єктів [cite: 7]. Механічний рух у класичній механіці визначається як переміщення тіла по відношенню до іншого тіла, яке відбувається у просторі і часі [cite: 3].

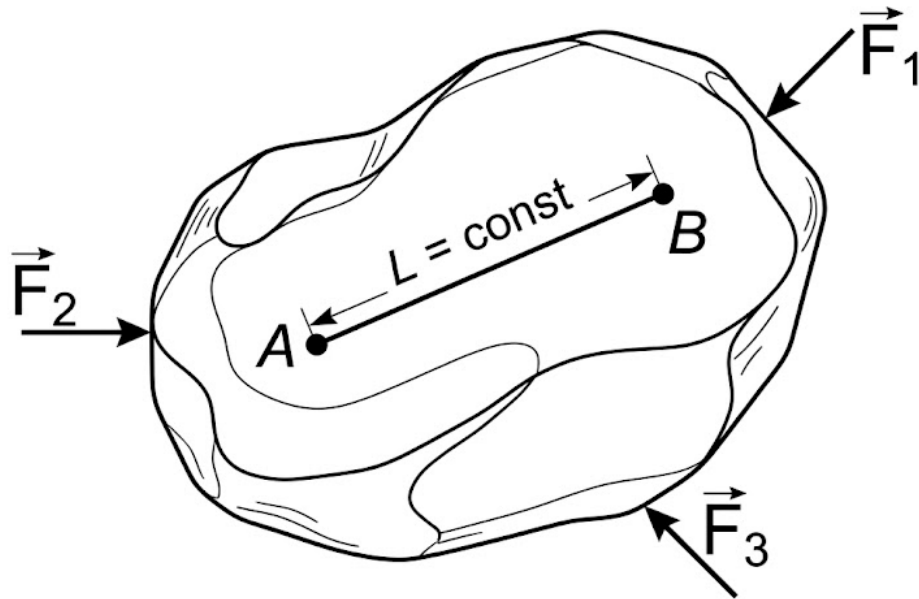
2. Основні абстракції та поняття статyki

Для того, щоб побудувати струнку та логічну математичну теорію рівноваги, у теоретичній механіці широко користуються методом абстракцій, відкидаючи несуттєві для даного конкретного завдання властивості реальних фізичних тіл [cite: 2]. До основних абстракцій механіки відносять: **Матеріальна точка** — це матеріальне тіло, геометричними розмірами якого під час розв'язання конкретної задачі можна знехтувати, або геометрична точка, яка наділена певною масою [cite: 2, 3].

Система матеріальних точок (механічна система) — це таке сполучення матеріальних точок, у якому положення і рух кожної точки залежать від положення і руху інших точок цієї системи [cite: 3].

Абсолютно тверде тіло — це таке ідеалізоване тіло, відстань між будь-якими частками (точками) якого залишається постійною за будь-яких умов; тобто абсолютно тверде тіло зберігає свою геометричну форму незмінною незалежно від дії на нього інших сил [cite: 2, 3]. У статисти деформаціями тіл нехтують.

АБСОЛЮТНО ТВЕРДЕ ТІЛО



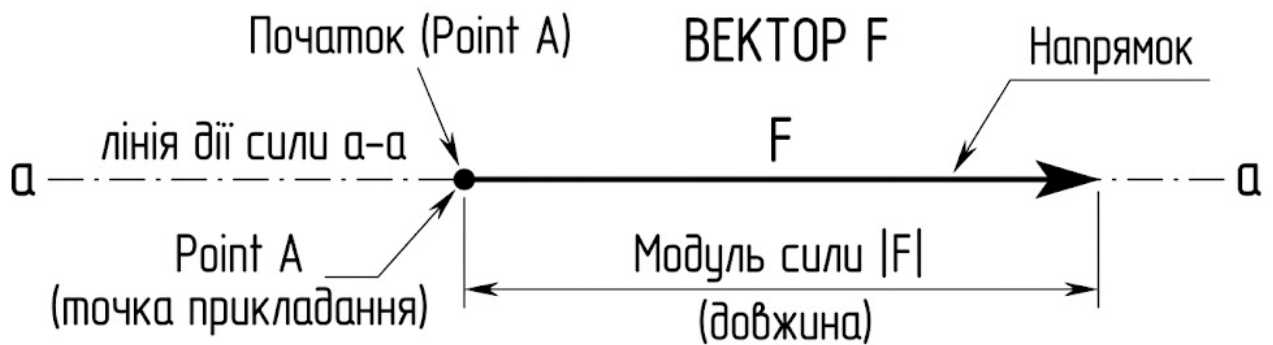
Взаємодія двох тіл, що здатна змінити їх кінематичний стан (стан спокою або руху) або викликати їх деформацію, називається механічною взаємодією [cite: 3]. Кількісною мірою такої механічної взаємодії між матеріальними тілами є **сила** [cite: 2, 3].

Сила є величиною векторною. Її механічна дія на абсолютно тверде тіло визначається трьома основними елементами [cite: 2, 3]: Числовим значенням або модулем сили (вимірюється в Ньютонах, Н) [cite: 2, 3].

Напрямом дії сили у просторі [cite: 2, 3].

Точкою прикладання сили [cite: 2, 3].

Пряма лінія, уздовж якої спрямована сила, називається лінією дії сили [cite: 2, 3]. Графічно сила зображується спрямованим відрізком-вектором, довжина якого у вибраному масштабі виражає модуль сили, а стрілка вказує напрям [cite: 2].



Класифікація систем сил

Сукупність сил, що одночасно діють на абсолютно тверде тіло або механічну систему, називається **системою сил** [cite: 2, 3]. У статичі оперують наступними поняттями:

Еквівалентні системи сил: Якщо одну систему сил, що діють на вільне тверде тіло, можна замінити іншою системою, не порушуючи при цьому стану спокою чи руху тіла, то такі дві системи сил називаються еквівалентними [cite: 2, 3].

Зрівноважена система сил (система, еквівалентна нулю): Це така система сил, під дією якої вільне тверде тіло зберігає свій початковий стан спокою або рівномірного прямолінійного руху [cite: 2, 3].

Рівнодійна сила: Якщо задана система сил виявляється еквівалентною лише одній єдиній силі, то ця сила називається рівнодійною заданої системи сил [cite: 2, 3]. Сила, рівна по модулю рівнодійній і направлена по лінії її дії в протилежну сторону, називається силою, що урівноважує [cite: 3].

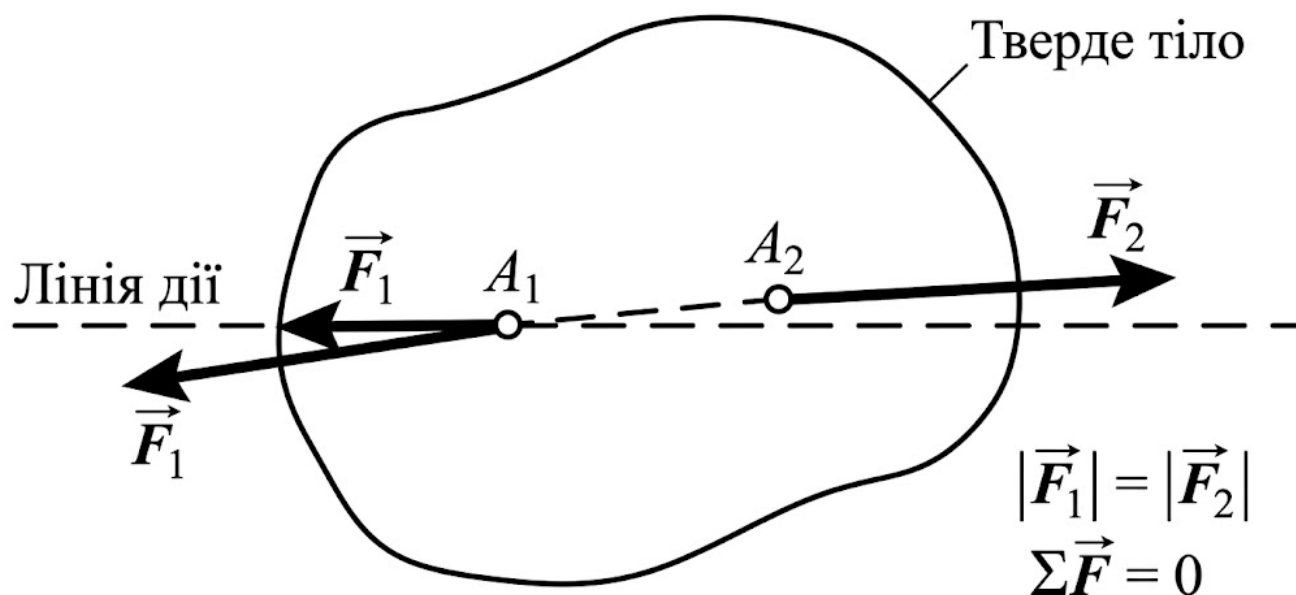
Зовнішні та внутрішні сили: Зовнішніми називають сили, які діють на матеріальні точки даної системи з боку матеріальних точок (тіл), що не належать до цієї системи [cite: 2, 3]. Внутрішніми називають сили взаємодії між точками однієї механічної системи [cite: 2, 3].

3. Аксиоми статички

В основі теоретичної механіки (зокрема статички) лежить ряд аксіом, що становлять результат глибоких узагальнень численних дослідів і спостережень за рівновагою та рухом тіл, багаторазово підтверджених багатовіковою інженерною практикою [cite: 2]. Ці вихідні положення приймаються без математичного доведення, і з них за допомогою логічних міркувань виводяться всі подальші теореми і правила статички [cite: 2].

Аксиома 1. (Аксиома інерції Галілея). Під дією сил, що взаємно урівноважуються (або за відсутності діючих сил), матеріальна точка (або вільне тіло) зберігає стан спокою або рухається прямолінійно і рівномірно [cite: 3].

Аксиома 2. (Аксиома рівноваги двох сил). Вільне абсолютно тверде тіло може знаходитися під дією двох сил у рівновазі тоді й тільки тоді, коли ці сили рівні за модулем і діють уздовж однієї прямої у протилежних напрямках [cite: 2, 3]. Математично: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Така найпростіша система з двох сил у механіці має назву "двійка сил" [cite: 2]. Ця аксиома доводить, що вільне тіло під дією лише однієї сили перебувати в рівновазі принципово не може [cite: 2].



АКСІОМА РІВНОВАГИ ДВОХ СИЛ

Аксиома 3. (Приєднання і виключення зрівноважених систем сил). Дія заданої системи сил на абсолютно тверде тіло не порушується, якщо до неї додати або відняти зрівноважену систему сил (наприклад, "двійку сил") [cite: 2, 3].

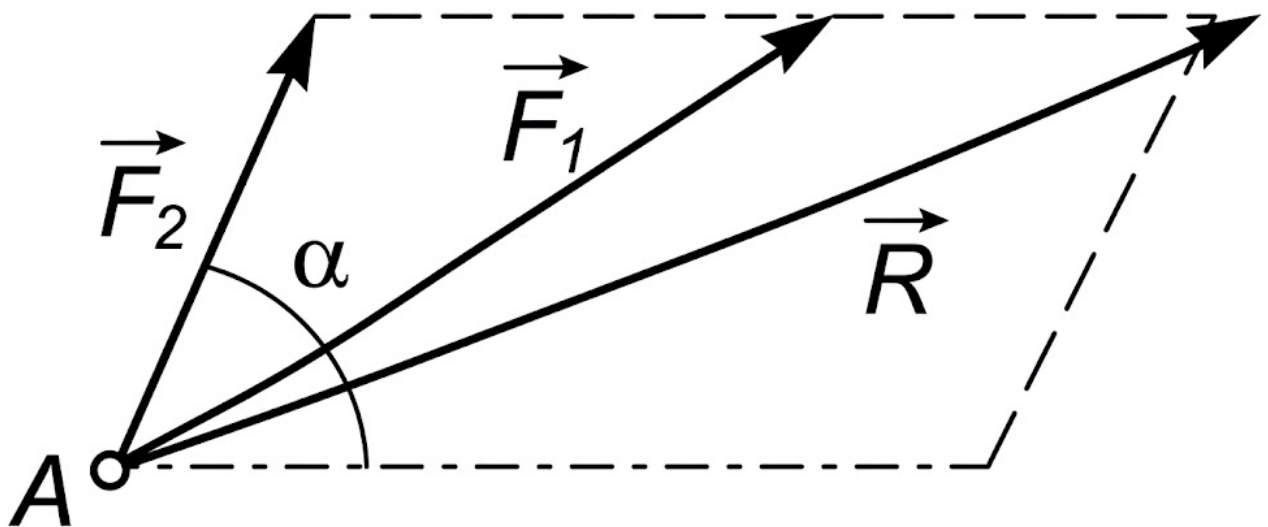
Наслідок з Аксиоми 2 та 3 (Про перенесення сили): Не порушуючи кінематичного стану абсолютно твердого тіла, точку прикладання сили можна переносити вздовж її лінії дії [cite: 2, 3]. Цей наслідок визначає силу, прикладену до абсолютно твердого тіла, як *ковзний вектор*, що може ковзати по власній лінії дії [cite: 2]. Увага: в опорі матеріалів (при

розрахунку на міцність) цим наслідком користуватися не можна, оскільки перенесення сили змінює внутрішній напружено-деформований стан конструкції [cite: 2].

Аксіома 4. (Аксіома паралелограма сил). Система двох сил, прикладених до абсолютно твердого тіла в одній точці, має рівнодійну, яка зображується діагоналлю паралелограма, побудованого на цих силах як на сторонах, і прикладена в тій самій точці [cite: 2, 3].

Рівнодійна сила $\vec{R}$ дорівнює геометричній (векторній) сумі цих сил: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

Правило паралелограма сил



Аксіома 5. (Рівність дії та протидії - Третій закон Ньютона). Сили взаємодії двох матеріальних тіл завжди рівні за модулем і діють по одній прямій у протилежних напрямках [cite: 2, 3]. Математично: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ [cite: 2]. Важливо пам'ятати, що ці сили прикладені до різних тіл, тому вони не утворюють зрівноваженої системи (двійки сил) і їх не можна просто відкинути [cite: 2, 3].

Аксіома 6. (Принцип затвердіння). Рівновага zdeформованого тіла, яке перебуває під дією даної системи сил, не порушиться, якщо це тіло (з усіма набутими деформаціями) раптово затвердіє (стане абсолютно твердим) [cite: 2, 3]. Цей принцип широко використовується в інженерних розрахунках, дозволяючи застосовувати рівняння статички твердого тіла для знаходження опорних реакцій гнучких конструкцій (тросів, балок тощо) [cite: 2].

4. Вільні та невільні тіла. В'язі та їх реакції

Матеріальне тверде тіло, яке не взаємодіє з іншими тілами, нічим не обмежене у просторі і з даного положення може переміститися у будь-якому напрямку, називається *вільним тілом* [cite: 2, 3].

Проте у реальній інженерній та будівельній практиці абсолютно вільних тіл практично не існує.

Деталі машин, зварні конструкції, металопрокат у спорудах обов'язково спираються на фундаменти, підвішуються на тросах або з'єднуються шарнірами з іншими елементами. Тіла, які фізично обмежують свободу руху даного твердого тіла в просторі, називаються **в'язями** [cite: 3]. Тверде тіло, свобода руху якого обмежена в'язями, називається *невільним* [cite: 3].

Сили, які безпосередньо діють на об'єкт і прагнуть змінити його кінематичний стан (вага, тиск вітру, сили тяги, навантаження від обладнання), називаються *активними силами* [cite: 2, 3]. Сила, з якою в'язь діє на тіло, щоб перешкодити будь-яким його переміщенням (опираючись дії активних сил), називається **реакцією в'язі** [cite: 2, 3].

Відмінність реакцій в'язей від активних сил полягає в тому, що їхня величина і напрям заздалегідь невідомі і повністю залежать від активних сил [cite: 2]. Визначення реакцій в'язей є першочерговим і фундаментальним завданням статички під час розрахунку металоконструкцій на міцність [cite: 2].

Принцип звільнення від в'язей

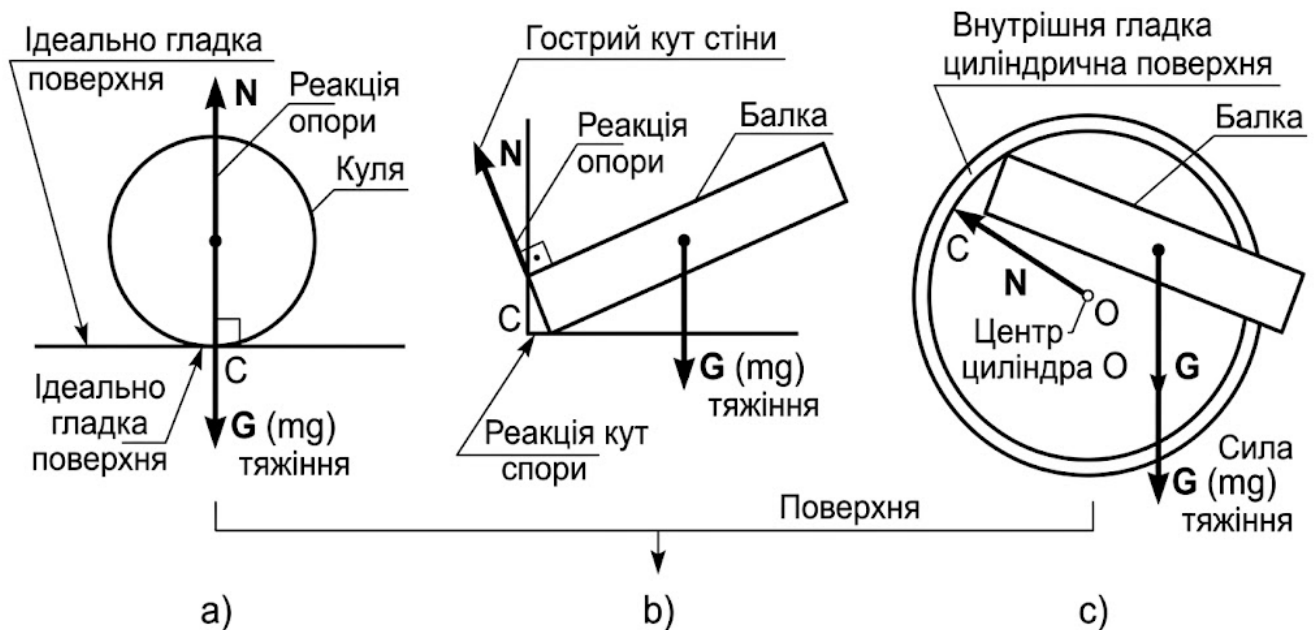
В основі розв'язання задач статки для невідільних тіл лежить **Аксиома в'язей (принцип звільнення від в'язей)**: Невільне матеріальне тіло можна розглядати як вільне, якщо подумки відкинути всі в'язі, замінивши їхню механічну дію відповідними реакціями в'язей [cite: 2, 3]. Звільнене таким чином тіло перебуватиме у стані рівноваги під спільною дією активних сил та реакцій в'язей, що дозволяє складати для нього рівняння статки [cite: 2].

Основні типи в'язей та напрямки їх реакцій

Правильне визначення напрямків реакцій в'язей відіграє вирішальну роль у безпомилковому розв'язанні інженерних задач [cite: 2]. Розглянемо класичні типи в'язей, що зустрічаються в технічній механіці:

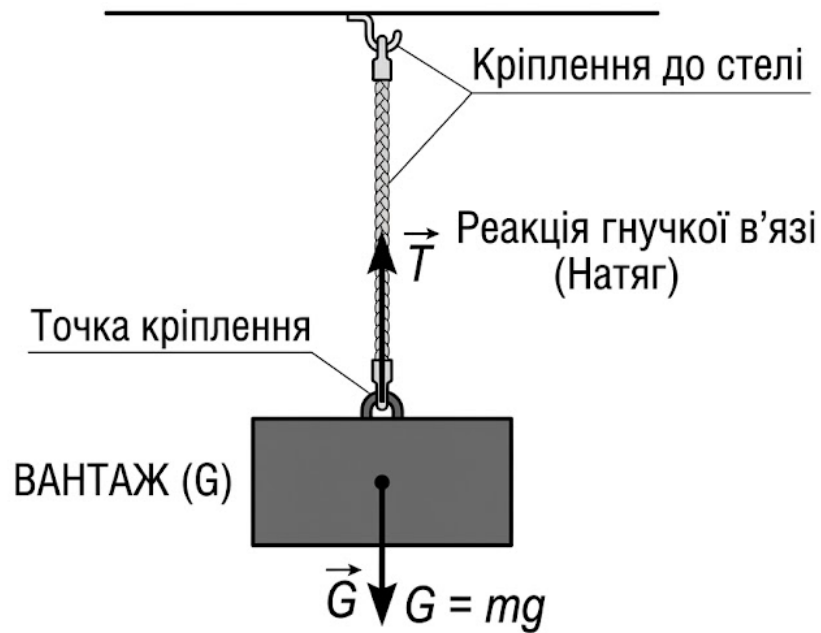
Ідеально гладка опорна поверхня. Це поверхня, тертям об яку можна знехтувати. Реакція такої поверхні спрямована строго перпендикулярно до дотичної площини, проведеної через точку стикання тіла з поверхнею (тобто по спільній нормалі) [cite: 2, 3]. Якщо тіло спирається на кут (ребро), реакція направляється по нормалі до поверхні самого тіла [cite: 2].

РЕАКЦІЯ ІДЕАЛЬНО ГЛАДКОЇ ПОВЕРХНІ



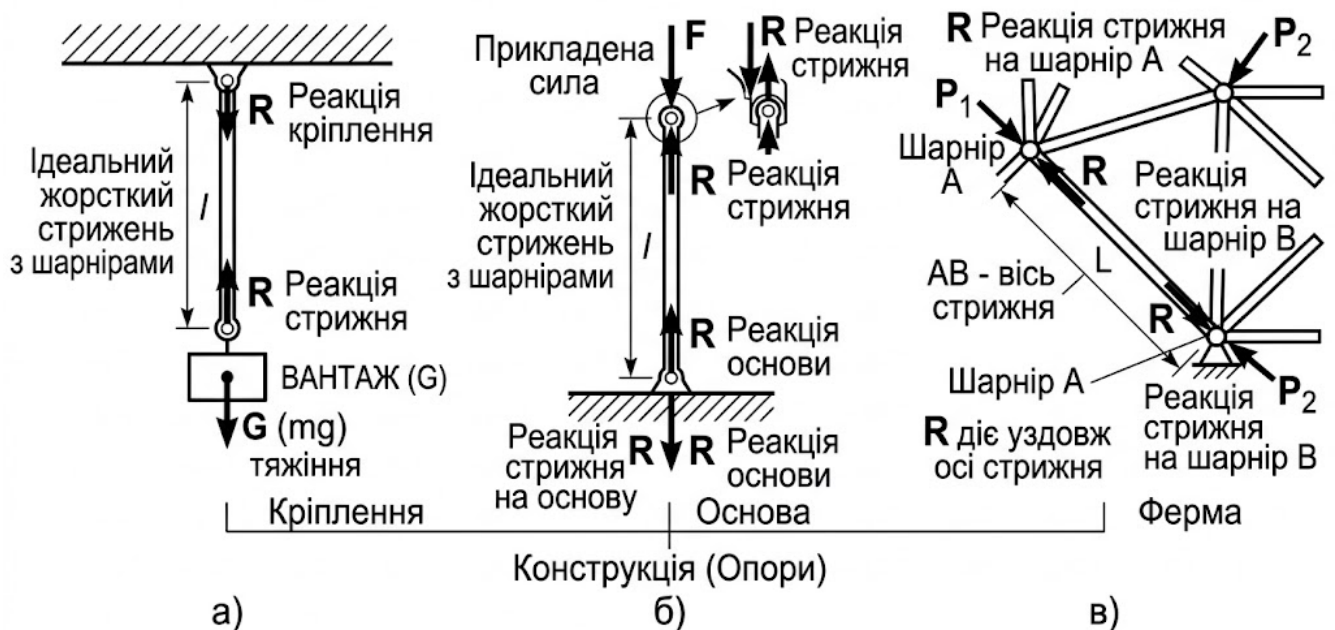
Гнучка в'язь (нитка, канат, ланцюг, трос). Гнучкі тіла здатні працювати виключно на розтяг [cite: 2]. Реакція гнучкої в'язі (позначається зазвичай літерою T) завжди спрямована вздовж нитки (троса) від тіла до точки підвісу [cite: 2].

Реакція гнучкої в'язі



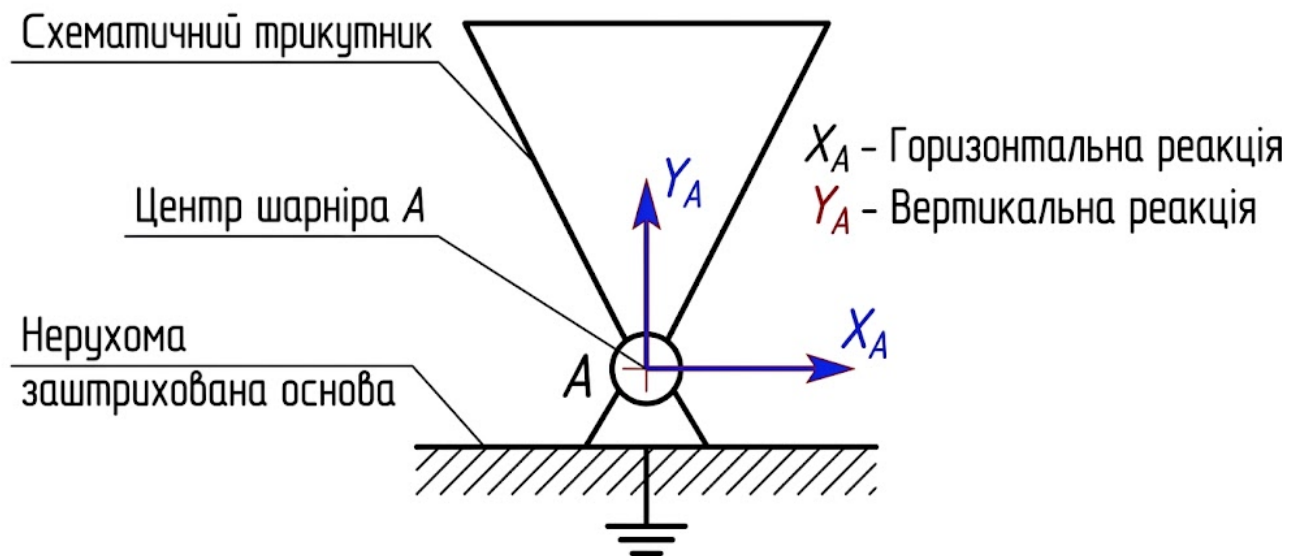
Ідеальний жорсткий стрижень. Невагомий стрижень, закріплений по кінцях ідеальними шарнірами, працює виключно на розтяг або стиск [cite: 2]. Реакція такого стрижня завжди спрямована строго вздовж прямої, що з'єднує осі шарнірів [cite: 2].

РЕАКЦІЯ ІДЕАЛЬНОГО СТРИЖНЯ



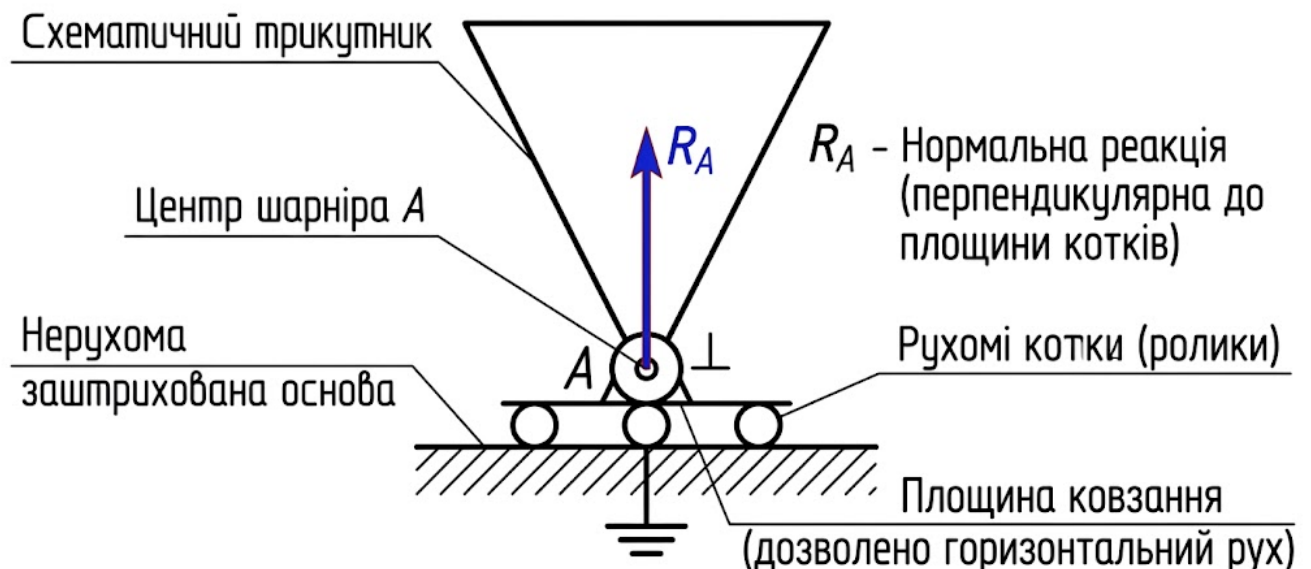
Нерухомий циліндричний шарнір. Дозволяє тілу обертатися навколо осі шарніра, але перешкоджає будь-якому лінійному переміщенню у площині, перпендикулярній до осі [cite: 2, 3]. Оскільки заздалегідь невідомо, куди буде тиснути вал на обойму під дією довільної системи сил, реакцію нерухомого шарніра представляють у вигляді двох взаємно перпендикулярних координатних складових X_A та Y_A у розрахунковій площині [cite: 2, 3]. Загальна реакція: $R = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$ [cite: 2].

СХЕМА 8: ШАРНІРНО-НЕРУХОМА ОПОРА (ЦИЛІНДРИЧНИЙ ШАРНІР)



Рухомий циліндричний шарнір (опора на котках). Дозволяє тілу не тільки обертатися навколо осі шарніра, але й вільно переміщатися паралельно опорній площині [cite: 2, 3]. Ця в'язь перешкоджає переміщенню лише перпендикулярно до опорної площини. Отже, реакція рухомої опори завжди має лише одну складову, спрямовану по нормалі до опорної площини котків [cite: 2, 3].

СХЕМА 9: ШАРНІРНО-РУХОМА ОПОРА НА КОТКАХ (РУХОМИЙ ШАРНІР)



Жорстке защемлення (вкладення). Якщо кінець балки або консолі глибоко і жорстко замурований у стіну, тіло позбавляється всіх ступенів свободи у площині: воно не може переміщуватися лінійно і не може обертатися [cite: 2, 3]. Отже, реакція жорсткого защемлення складається з двох сил (координатних складових X_A і Y_A) та реактивного моменту пари сил (моменту защемлення M_A), який перешкоджає повороту [cite: 2].

ЖОРСТКЕ ЗАЦЕМЛЕННЯ КОНСОЛЬНОЇ БАЛКИ



Опора з тертям (реальна поверхня). Якщо шорсткість поверхні враховується, то крім нормальної реакції R_n (спрямованої перпендикулярно до поверхні), виникає дотична реакція R_t (сила тертя), яка перешкоджає ковзанню тіла [cite: 2]. Повна реакція відхиляється від нормалі на кут тертя [cite: 2].

Висновки

Вивчення основних абстракцій та аксіоматичного базису статки дозволяє коректно формалізувати та математично описувати силову взаємодію між деталями машин та елементами конструкцій. Алгоритм застосування принципу звільнення від в'язей, коли всі фізичні обмеження замінюються відповідними реактивними зусиллями, є фундаментальним кроком (переходом від реального фізичного об'єкта до розрахункової схеми) у будь-якому інженерному розрахунку металоконструкцій на міцність та надійність .

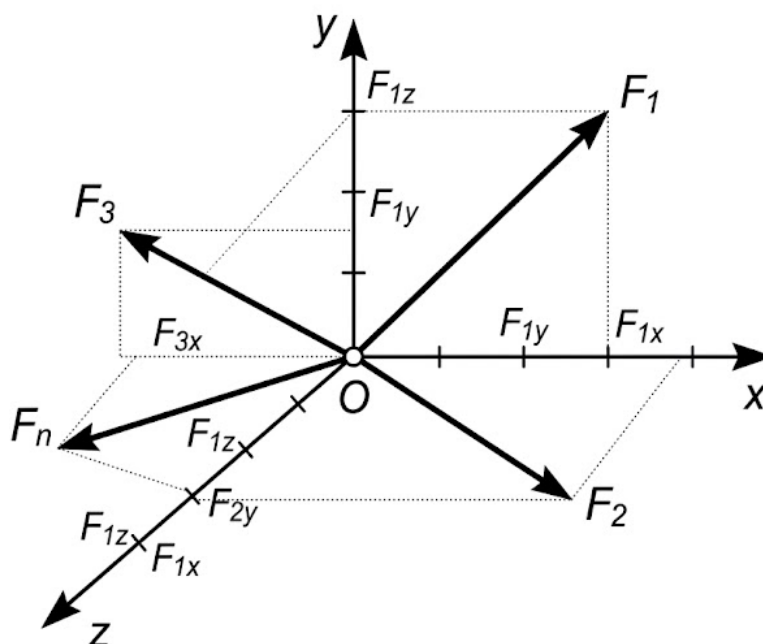
ЛЕКЦІЯ 2. СИСТЕМА ЗБІЖНИХ СИЛ. ПРИВЕДЕННЯ ДО РІВНОДІЙНОЇ. ГЕОМЕТРИЧНІ ТА АНАЛІТИЧНІ УМОВИ РІВНОВАГИ

1. Визначення системи збіжних сил

Дослідження складних інженерних об'єктів (наприклад, зварних металоконструкцій, рам, ферм) у технічній механіці часто зводиться до розв'язання задач рівноваги окремих вузлів, де перетинаються лінії дії кількох сил [cite: 7]. Система сил, лінії дії яких перетинаються в одній спільній точці, називається **системою збіжних сил** [cite: 2, 3]. Спільну точку перетину ліній дії називають *точкою збігу* сил [cite: 2].

Залежно від просторового розташування ліній дії, система збіжних сил може бути просторовою або плоскою. У плоскій системі всі лінії дії сил належать одній площині, тоді як у просторовій вони розподілені у тривимірному просторі [cite: 2].

СХЕМА 1. Система збіжних сил у просторі (чорно-біле векторне креслення)



2. Геометричний спосіб додавання збіжних сил. Приведення до рівнодійної

Найпростішою операцією в статичі є зведення (приведення) системи збіжних сил до найпростішого еквівалентного вигляду. Згідно з аксіомою паралелограма сил, будь-яку кількість сил із загальною точкою прикладання можна додавати геометрично [cite: 2].

Додавання двох збіжних сил. Правило паралелограма і трикутника

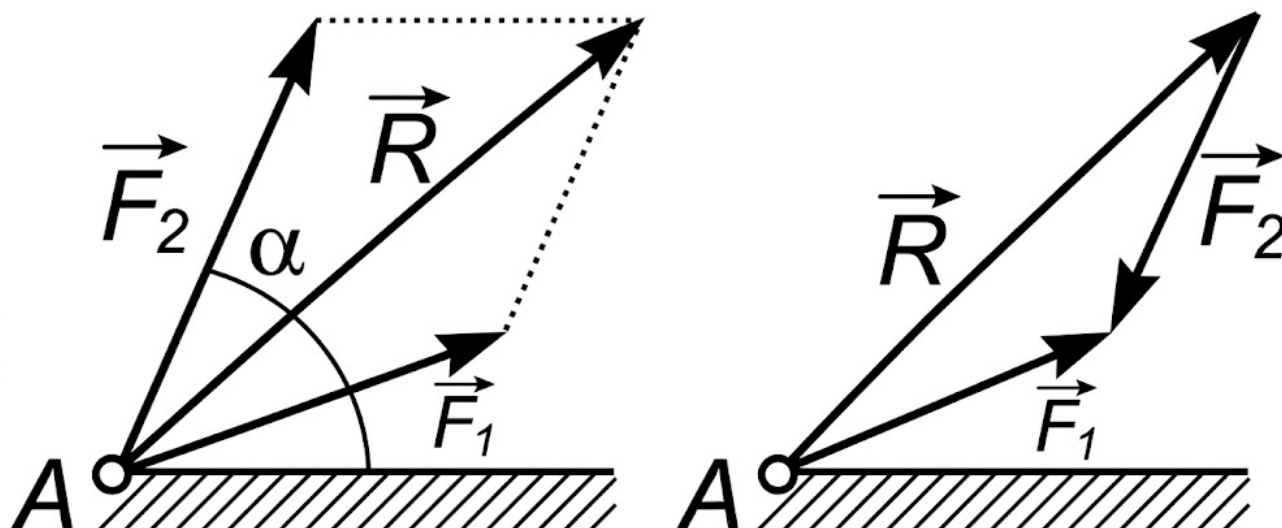
Рівнодійна R двох сил F_1 і F_2 , лінії дії яких перетинаються, прикладена в точці їх перетину і геометрично є діагоналлю паралелограма, побудованого на цих силах [cite: 2, 3]. Векторна рівність має вигляд: $R = F_1 + F_2$ [cite: 3]. Модуль рівнодійної сили обчислюється за теоремою косинусів [cite: 2, 3]:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos\varphi}$$

де φ — кут між векторами F_1 і F_2 [cite: 2, 3].

Побудову паралелограма сил завжди можна замінити побудовою *трикутника сил* [cite: 2, 3]. Для цього з кінця вектора F_1 відкладають вектор F_2 , і вектор рівнодійної R з'єднує початок першого вектора з кінцем другого. Напрямок рівнодійної сили по контуру силового трикутника протилежний напрямку обходу контуру [cite: 3].

ПАРАЛЕЛОГРАМ СИЛ ТРИКУТНИК СИЛ



Багатокутник сил (Силовий багатокутник)

Коли до тіла прикладено не дві, а довільна система n збіжних сил $F_1, F_2, \dots, F_n$, їх рівнодійну знаходять шляхом послідовного векторного додавання за правилом багатокутника (силового багатокутника) [cite: 2, 3]. Для цього з кінця вектора F_1 відкладають вектор F_2 , з кінця F_2 — вектор F_3 і так далі до останнього вектора F_n [cite: 2]. З'єднавши початок першого вектора з кінцем останнього, отримуємо рівнодійну силу R :

$$R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum F_i$$

Одержаний таким чином багатокутник має назву *многокутника сил*, замикальна сторона якого виявляється рівнодійною силою системи [cite: 2, 3]. Напрямок рівнодійної по контуру силового багатокутника спрямований назустріч обходу цього контуру [cite: 3]. Таким чином, доведено **Теорему про рівнодійну збіжних сил**: Система збіжних сил еквівалентна одній силі (рівнодійній), яка дорівнює геометричній сумі цих сил і прикладена в точці їх збігу [cite: 2].

Документ містить ознайомчий фрагмент (стор. 1–10). Повна версія доступна в електронній бібліотеці закладу після входу в особистий кабінет студента