



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з навчально-методичної роботи
ЗНО «Дніпропетровський професійний технологічний
коледж»

Сергій ГОРДІЄНКО

«28» серпня 2026 р.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ АКАДЕМІЧНИЙ КУРС: «ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ №1

Вступ до механіки. Аксиоматика статички та ідеалізація об'єктів.

1. Предмет і завдання теоретичної механіки в контексті цивільної інженерії

Теоретична механіка — це фундаментальна фізико-математична наука, яка вивчає загальні об'єктивні закони механічного руху та взаємодії матеріальних тіл у просторі та часі. Будучи найдавнішою з точних наук, основи якої були закладені ще в працях Арістотеля та Архімеда, а згодом математично формалізовані Галілео Галілеєм та Ісааком Ньютоном, вона становить непорушний базис для всього сучасного інженерного мистецтва.

У контексті освітньо-професійної програми «Будівництво та експлуатація будівель і споруд», теоретична механіка не є суто абстрактною дисципліною. Вона виступає критично важливою сполучною ланкою між фундаментальною вищою математикою та прикладними будівельними науками, такими як «Опір матеріалів» та «Будівельна механіка». Будь-який процес проектування починається зі статички — розділу теоретичної механіки, що вивчає умови рівноваги систем сил.

Головне завдання теоретичної механіки для інженера-будівельника полягає у забезпеченні методологічного інструментарію для розрахунку несучих конструкцій, стійкості фундаментів, визначення реакцій у вузлах ферм та оцінки впливу як статичних, так і динамічних навантажень (вітрових, снігових, сейсмічних) відповідно до нормативних документів (зокрема, ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи). Жоден архітектурний задум не може бути втілений у життя, якщо інженер не здатен математично довести абсолютну рівновагу (нерухомість відносно Землі) кожного елемента конструкції.



2. Наукова абстракція: моделювання фізичних об'єктів

Реальні будівельні об'єкти (багатоквартирні будинки, мости, баштові крани, сталеві колони) є надзвичайно складними системами. Вони деформуються під навантаженням, змінюють

температуру, складаються з неоднорідних матеріалів. Математично описати рух і взаємодію таких об'єктів з урахуванням усіх їхніх властивостей практично неможливо. Тому теоретична механіка використовує метод **наукової абстракції** (ідеалізації) — цілеспрямоване нехтування другорядними властивостями тіла, які не мають суттєвого впливу на характер його механічного руху або рівноваги у межах конкретної задачі.

Базовими моделями (абстракціями) класичної теоретичної механіки є: **Матеріальна точка** — це найпростіша фізична модель тіла, розмірами та формою якого в умовах даної задачі можна знехтувати, але яке має певну масу. Наприклад, під час розрахунку траєкторії руху кабіни будівельного ліфта вздовж шахти ми можемо розглядати кабіну як матеріальну точку. Проте, якщо ми проектуємо саму кабіну та розраховуємо її каркас, ця абстракція стає неприйнятною.

Абсолютно тверде тіло — це ідеалізована матеріальна система (тіло), відстань між будь-якими двома точками якої залишається незмінною за будь-яких механічних взаємодій. Тобто, абсолютно тверде тіло не деформується (не згинається, не стискається, не розтягується). У реальності всі будівельні матеріали (бетон, сталь, деревина) деформуються під навантаженням. Однак у рамках *статики*, ці макродеформації (частки міліметра) настільки мізерні порівняно з розмірами самої конструкції (метри), що ними можна знехтувати для визначення зовнішніх опорних реакцій.

Суцільне середовище — модель, яка припускає безперервний розподіл маси по всьому об'єму тіла. У цій абстракції нехтують дискретною (молекулярною чи атомарною) структурою речовини. Це дозволяє використовувати апарат диференціального та інтегрального числення для визначення центрів ваги, моментів інерції та розподілених навантажень (наприклад, тиску ґрунту на підпірну стіну).

Механічна система — сукупність матеріальних точок або абсолютно твердих тіл, положення або рух яких взаємопов'язані. Прикладом механічної системи є багатоланкова плоска рама, кроквяна ферма або шарнірний механізм стріли екскаватора.

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ НАУКОВОЇ АБСТРАКЦІЇ



3. Сила як міра механічної взаємодії. Векторна природа сили

Згідно з класичними положеннями підручників В.М. Павловського та С.М. Тарга, механічний рух та стан рівноваги виникають або змінюються лише внаслідок взаємодії тіл. Мірою такої взаємодії в теоретичній механіці є **сила**.

Сила — це векторна фізична величина, яка є кількісною мірою механічної взаємодії матеріальних тіл, внаслідок якої тіло змінює свій кінематичний стан (набуває прискорення) або деформується. У системі СІ сила вимірюється в Ньютонах (***N***), а в будівельних розрахунках часто використовують Кілоньютони (***kN***).

Оскільки сила є векторною величиною (позначається літерою з рискою або стрілкою нагорі, наприклад $\vec{F}$), вона повністю характеризується трьома невід'ємними параметрами: **Точка прикладання**: конкретна точка на тілі, де відбувається контакт або вплив. В абсолютно твердому тілі точку прикладання можна переносити вздовж лінії дії сили (про що йтиметься в аксіомах).

Напрямок: лінія у просторі, вздовж якої діє сила. Ця лінія називається *лінією дії сили*.

Модуль (числове значення): кількісна величина інтенсивності взаємодії. Довжина вектора на кресленні у вибраному масштабі суворо пропорційна модулю сили.

Сукупність усіх сил, що діють на тіло або механічну систему, називається **системою сил**.

Системи сил поділяють на:

Зрівноважена (еквівалентна нулю) система сил: система, дія якої на вільне абсолютно тверде тіло не змінює його кінематичного стану (якщо тіло перебувало у спокої, воно продовжує залишатися у спокої). Це ключове поняття для інженера-будівельника.

Еквівалентні системи сил: дві системи сил називаються еквівалентними, якщо одну систему можна замінити іншою, не порушуючи кінематичного стану тіла.

Рівнодіюча сила: одна єдина сила, яка еквівалентна заданій системі сил. Якщо система сил має рівнодіючу, то вона здатна повністю замінити механічний вплив усієї складної системи на конструкцію.



4. Фундаментальні аксіоми статики

Теоретична механіка, як і геометрія Евкліда, базується на аксіоматичному підході. Аксіоми статики — це фундаментальні твердження, істинність яких підтверджена багатовіковим досвідом людства, експериментальними дослідженнями та спостереженнями за природою. Вони приймаються без математичного доведення і слугують фундаментом для побудови всіх інших теорем та алгоритмів розрахунку.

АКСІОМА I. АКСІОМА ІНЕРЦІЇ (ПЕРШИЙ ЗАКОН ГАЛІЛЕЯ-НЬЮТОНА)

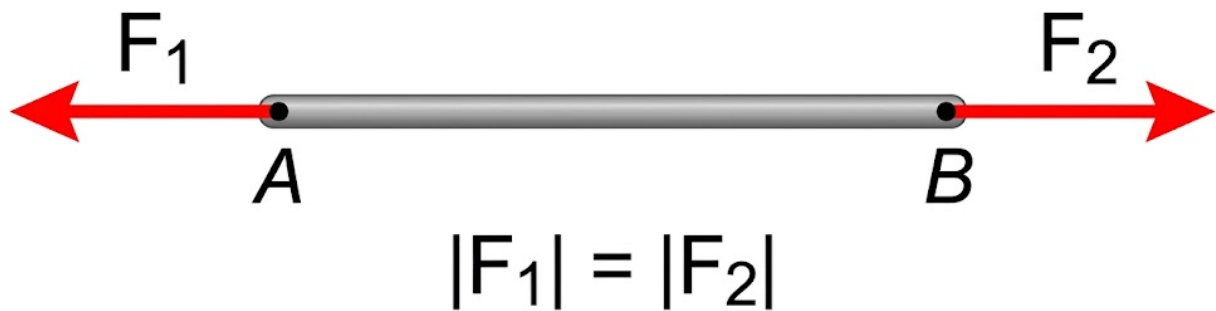
Будь-яке ізольоване матеріальне тіло (або матеріальна точка) зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху доти, доки дія інших тіл (сил) не змусить його змінити цей стан.

Інженерний коментар: Ця аксіома постулює саме існування стану спокою (рівноваги), що є базовим для будь-якої будівельної споруди. Властивість тіла чинити опір зміні свого стану називається інертністю. У статичі ми маємо справу виключно зі станом макроскопічного спокою відносно Землі, яку умовно приймаємо за інерціальну систему відліку.

АКСІОМА II. УМОВА РІВНОВАГИ ДВОХ СИЛ

Для того, щоб дві сили, прикладені до вільного абсолютно твердого тіла, перебували в рівновазі, необхідно і достатньо, щоб ці сили були рівні за модулем і діяли вздовж однієї прямої в протилежних напрямках.

Інженерний коментар: Математично це записується як $F\vec{1} = -F\vec{2}$. Це найпростіша зрівноважена система сил. На практиці ми спостерігаємо цю аксіому в розтягнутих або стиснутих елементах будівельних ферм: якщо стрижень є невагомим, а сили прикладені лише до його кінців (шарнірів), то ці сили можуть діяти лише вздовж осі стрижня, розтягуючи або стискаючи його.



АКСІОМА III. АКСІОМА ПРИЄДНАННЯ І ВИЛУЧЕННЯ ЗРІВНОВАЖЕНОЇ СИСТЕМИ СИЛ

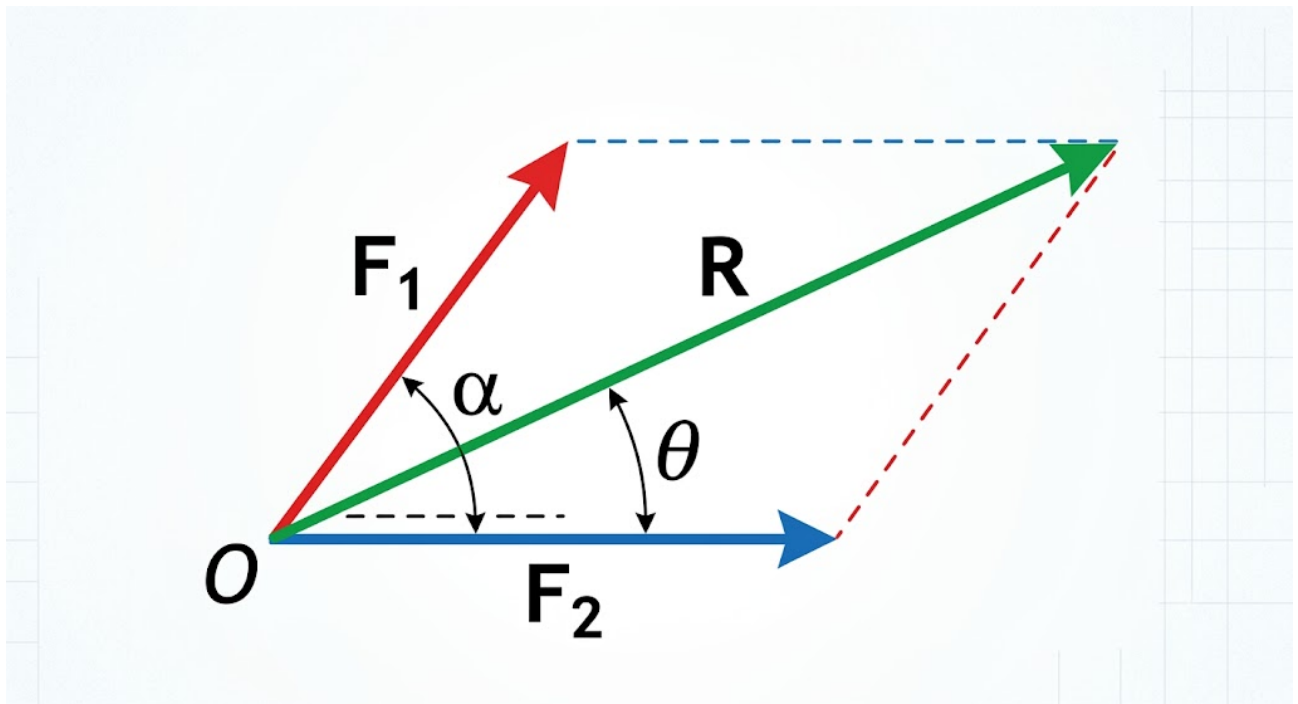
Дія заданої системи сил на абсолютно тверде тіло не зміниться, якщо до неї приєднати або від неї вилучити будь-яку зрівноважену систему сил.

Інженерний коментар: Ця аксіома є надзвичайно потужним інструментом для перетворення та спрощення розрахункових схем. З неї випливає вкрай важливий **наслідок:** Точку прикладання сили можна безперешкодно переносити вздовж її лінії дії в будь-яку іншу точку твердого тіла, не змінюючи при цьому механічного стану (рівноваги) всього тіла. Тобто, для розрахунку реакцій опор балки не має значення, чи ми штовхаємо балку силою в точці А, чи тягнемо її за ту саму лінію дії в точці В. Сила розглядається як ковзний вектор.

АКСІОМА IV. АКСІОМА ПАРАЛЕЛОГРАМА СИЛ

Дві сили, прикладені до тіла в одній точці, мають рівнодіючу, прикладену в тій самій точці, яка зображається діагоналлю паралелограма, побудованого на цих силах як на сторонах.

Інженерний коментар: Це правило векторного додавання сил ($\vec{R} = F\vec{1} + F\vec{2}$). Воно дозволяє зводити складні просторові вузли, де сходяться багато стрижнів, до однієї сумарної сили. Ця аксіома є базою для геометричного та аналітичного розрахунку стрижневих просторових конструкцій, куполів та дахових ферм.



АКСІОМА V. АКСІОМА РІВНОСТІ ДІЇ І ПРОТИДІЇ (ТРЕТІЙ ЗАКОН НЬЮТОНА)

Сили механічної взаємодії двох тіл рівні за модулем, діють вздовж однієї прямої і спрямовані в протилежні боки.

Інженерний коментар: Фундаментальний принцип, який пояснює природу опорних реакцій.

Якщо балка тисне на цегляну колону із силою P (дія), то колону обов'язково відповідає балці силою R (протидія, або опорна реакція), причому $P = R$. Ця аксіома також застосовується при методі перерізів, коли ми розрізаємо єдину конструкцію на дві частини для знаходження внутрішніх зусиль.

АКСІОМА VI. ПРИНЦИП ЗАТВЕРДІННЯ

Рівновага нежорсткого (деформованого) тіла під дією даної системи сил не порушиться, якщо це тіло вважати абсолютно твердим (таким, що затверділо).

Інженерний коментар: Цей принцип виправдовує використання моделі "абсолютно твердого тіла" в розрахунках реальних пружних конструкцій (бетону, металу). Якщо гнучкий сталевий трос або пружна дерев'яна балка вже набули стану рівноваги і деформувалися під навантаженням, ми можемо зафіксувати їхню нову геометрію (вважати їх "затверділими") і застосувати до них усі рівняння статички абсолютно твердого тіла.

Висновки

Опанування теоретичної механіки починається з глибокого розуміння природи абстракції.

Перехід від реального тривимірного будівельного об'єкта зі складними фізико-хімічними властивостями до розрахункової схеми, що складається з точок, стрижнів, ідеальних опор та векторів сил — це базове мистецтво, яким повинен оволодіти майбутній фахівець.

Фундаментальні аксіоми статички, розглянуті на цій лекції, є непорушним математичним фундаментом, на основі якого ми навчимося аналізувати поведінку будь-яких просторових систем під дією різноманітних навантажень. Від якості розуміння цих первинних аксіом залежить надійність та безпечність усіх подальших інженерних розрахунків міцності та стійкості будівель.

Література (згідно з Робочою програмою):

1. Павловський В.М. Теоретична механіка: Підручник. — Київ: Техніка, 2007.
2. Батечко Н.Г., Царенко О.М. Теоретична механіка: Навчальний посібник. — Київ: Вища школа, 2008.
3. Тарг С.М. Короткий курс теоретичної механіки.
4. Робоча програма навчальної дисципліни «Теоретична механіка» (ОК7), ЗПО «ДПТК», 2026 р.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ №2

Теорія в'язей. Типологія будівельних опор та аксіома звільнення.

1. Поняття вільного та невідільного тіла

У класичній механіці будь-яке фізичне тіло, що розглядається в тривимірному просторі, може мати різні ступені свободи переміщення. Ступінь свободи — це незалежний напрямок можливого руху тіла.

Абсолютно вільне тверде тіло у просторі має 6 ступенів свободи: три поступальні (уздовж осей X , Y , Z) та три обертальні (навколо цих осей). Залежно від наявності чи відсутності обмежень на ці переміщення, всі тіла поділяються на вільні та невідільні.

Вільним називається таке тіло, переміщення якого у просторі нічим не обмежене. Тобто воно може вільно рухатися в будь-якому напрямку під дією прикладених до нього сил. Прикладом вільного тіла (з певним наближенням) може бути космічний апарат на орбіті, повітряна куля в небі або літак під час польоту.

Невідільним називається тіло, переміщення якого у просторі обмежене іншими тілами, з якими воно безпосередньо контактує. Тіла, які обмежують переміщення даного тіла, називаються **в'язями** (або зв'язками). У будівельній механіці абсолютно всі елементи споруд (балки, колони, ферми, плити перекриття) є невідільними тілами, оскільки їхній рух жорстко обмежується фундаментами, стінами або іншими конструктивними елементами.

В'язі відіграють критичну роль: вони сприймають навантаження від конструкції та передають його на основу (землю). Без розуміння природи в'язей неможливо виконати жоден розрахунок на міцність, адже саме в місцях контакту з в'язями виникають найбільші зусилля.



2. Аксіома звільнення від в'язей (Принцип звільнення)

Оскільки всі закони статичної та рівноваги були виведені для *вільних* тіл (згадаємо аксіому з першої лекції), виникає математична необхідність застосувати ці закони до невідільних тіл, якими оперує будівельна механіка. Для цього використовується один із найгеніальніших принципів класичної механіки — **Аксіома звільнення від в'язей**.

АКСІОМА ЗВІЛЬНЕННЯ ВІД В'ЯЗЕЙ

Будь-яке невідільне тіло можна розглядати як вільне, якщо подумки відкинути всі в'язі, що обмежують його рух, а їхню механічну дію на тіло замінити відповідними силами — реакціями в'язей.

Інженерний коментар: Ця аксіома є фундаментальним алгоритмом (першим кроком) у розв'язанні будь-якої задачі з теоретичної механіки чи опору матеріалів. Відкидаючи в'язь (наприклад, фундамент), ми повинні запитати себе: "В якому напрямку ця в'язь не давала тілу рухатися?". Саме в цьому напрямку ми зобов'язані прикласти невідомий вектор сили (реакцію), який компенсує відсутність фізичної опори.

Сили, що діють на невільне тіло, після застосування аксіоми звільнення від в'язей, поділяються на дві принципово різні категорії:

Активні сили (задані навантаження): сили, які прагнуть надати тілу руху. Їх величина та напрямок зазвичай відомі або можуть бути легко обчислені (наприклад: власна вага конструкції, снігове навантаження, тиск вітру, вага обладнання).

Реактивні сили (реакції в'язей): сили, з якими в'язі діють на тіло, протидіючи його переміщенню під впливом активних сил. Реакції завжди є заздалегідь невідомими величинами (як за модулем, так часто і за напрямком), і саме їх пошук є головною задачею статyki.



3. Правила напрямку векторів реакцій

Для правильного складання рівнянь рівноваги життєво необхідно безпомилково визначати лінію дії вектора реакції для різних типів опор. Існує **базове евристичне правило статyki**: *"Реакція в'язі завжди спрямована протилежно тому напрямку, в якому ця в'язь не дає (перешкоджає) переміщуватися тілу."*

Якщо опора не дає тілу опускатися вниз — реакція спрямована вертикально вгору. Якщо опора не дає тілу ковзати вправо — реакція спрямована вліво. Якщо в'язь перешкоджає будь-якому лінійному переміщенню у площині, але дозволяє обертання (шарнір) — напрямок реакції заздалегідь невідомий, тому її розкладають на дві ортогональні складові (уздовж осей X та Y). Якщо опора перешкоджає ще й обертанню — виникає *реактивний момент* (пара сил).

4. Класифікація в'язей у будівельній механіці (Типологія опор)

В інженерній практиці реальні вузли з'єднань (зварні шви, болтові кріплення, анкери, бетонні подушки) є складними фізичними об'єктами. Однак для математичного моделювання їх зводять до кількох класичних ідеалізованих типів. Розглянемо детально кожну з них.

4.1. Ідеальна гнучка нитка (трос, канат, ланцюг)

Це в'язь, яка є невагомою та абсолютно гнучкою. Вона може перешкоджати лише віддаленню тіла від точки підвісу, але не перешкоджає його наближенню (нитку неможливо стиснути).

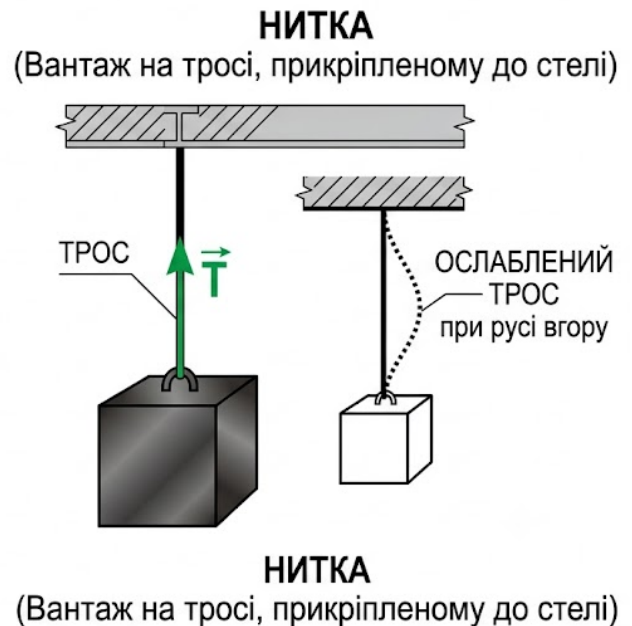
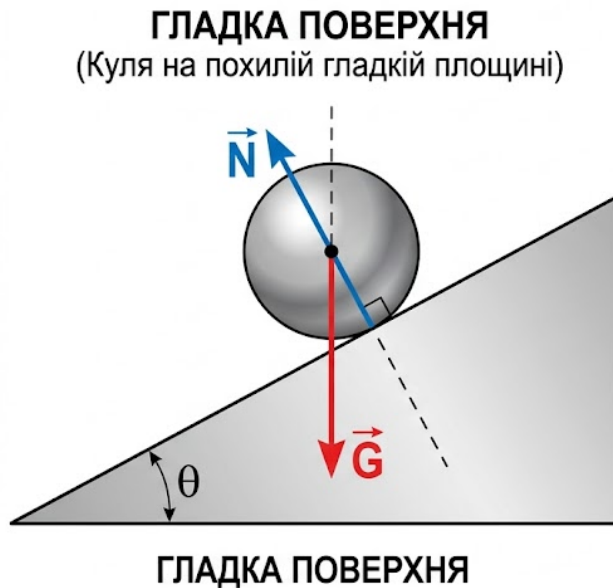
Правило реакції: Реакція ідеальної нитки (зазвичай позначається літерою T — від англ. Tension) завжди спрямована вздовж самої нитки від досліджуваного тіла до точки підвісу. Кількість невідомих складових: 1 (модуль сили натягу).

4.2. Ідеально гладка поверхня (або опора)

Гладкою називається поверхня, тертям об яку в умовах даної задачі можна знехтувати. Така в'язь перешкоджає переміщенню тіла лише в напрямку, перпендикулярному до самої поверхні (забороняє тілу провалюватися всередину опори).

Правило реакції: Реакція гладкої поверхні (або реакція гладкої опори) позначається літерою N (Normal) і завжди спрямована строго по *спільній нормалі* (перпендикуляру) до дотичної площини дотичних поверхонь тіла і в'язі. Кількість невідомих: 1 (модуль).

ДВІ НЕВЕЛИКІ СХЕМИ ПОРУЧ



4.3. Шарнірно-рухома опора (Коток)

Це один із найпоширеніших типів опор для мостових прольотів та довгих ферм. Шарнірно-рухома опора складається з шарніра, який спирається на котки (циліндри), розміщені на опорній площині. Така конструкція дозволяє балці вільно повертатися навколо осі шарніра (компенсуючи прогини) та вільно ковзати уздовж опорної площини (компенсуючи температурні розширення металу чи бетону). Опора забороняє переміщення лише в одному напрямку — перпендикулярно до опорної площини.

Правило реакції: Реакція шарнірно-рухомої опори завжди спрямована перпендикулярно до опорної площини, по якій можуть котитися котки. Умовно позначається R_y (якщо площина горизонтальна).

Кількість невідомих: 1 (модуль вертикальної сили).

4.4. Шарнірно-нерухома опора (Циліндричний шарнір)

Ця опора жорстко кріпиться до основи. Балка з'єднується з опорою за допомогою металевого пальця (циліндричного шарніра). В'язь дозволяє балці вільно обертатися навколо осі шарніра, але абсолютно унеможливорює її лінійне переміщення в будь-якому напрямку в площині (ні вправо-вліво, ні вгору-вниз).

Правило реакції: Оскільки напрямок, в якому опора перешкоджає руху, заздалегідь невідомий (опір чиниться у всіх напрямках площини), реакцію шарнірно-нерухомої опори R розкладають на дві взаємно перпендикулярні складові (проекції) — R_x та R_y . Повний модуль реакції знаходиться за теоремою Піфагора: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$. Кількість невідомих: 2 (дві складові сили).

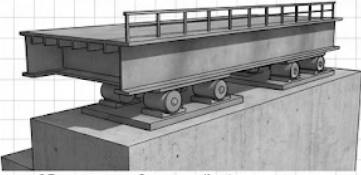
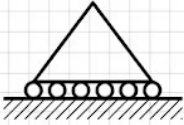
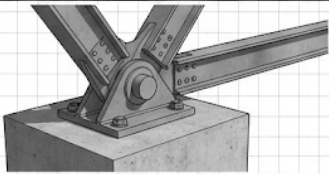
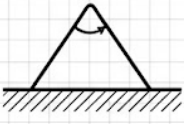
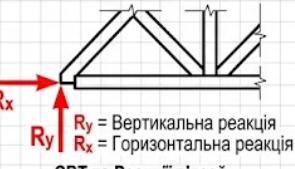
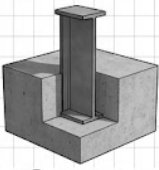
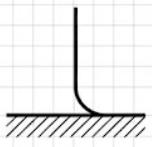
4.5. Жорстке защемлення (Анкерне кріплення)

Найбільш жорсткий тип з'єднання. Прикладом є балконна плита, мачта, замурована у фундамент, або сталева консоль, приварена до колони. Жорстке защемлення забороняє будь-які переміщення тіла: неможливо зсунути тіло ні по вертикалі, ні по горизонталі, а також *неможливо повернути (обернути)* його в площині кріплення.

Правило реакції: Оскільки заборонені два лінійні переміщення, виникають дві складові реактивної сили R_x та R_y . Оскільки заборонено обертання, стіна чинить опір повороту балки, генеруючи невідому пару сил, яка характеризується **реактивним моментом защемлення** M_A . Кількість невідомих: 3 (дві сили і один момент).

Тип в'язі (опори)	Умовне позначення на розрахунковій схемі	Кількість невідомих складових реакції	Характер реакції (Вектори)
Шарнірно-рухома опора (коток)	Трикутник, під яким зображено кружечки (котки) або лінію з проміжком над штриховкою.	1 (одна сила)	Один вектор R_y , перпендикулярний до поверхні кочення.
Шарнірно-нерухома опора	Трикутник, вершина якого є шарніром, а основа жорстко заштрихована (прикріплена до землі).	2 (дві ортогональні сили)	Два вектори R_x та R_y , прикладені до центру шарніра.
Жорстке защемлення	Кінець балки впирається у вертикальну лінію з густою штриховкою.	3 (дві сили + момент)	Два вектори R_x , R_y та дугова стрілка реактивного моменту M .

ТИПОЛОГІЯ ОПОР: ЗВЕДЕНА ТАБЛИЦЯ-ІЛЮСТРАЦІЯ

ТИП ОПОРИ	3D МОДЕЛЬ (РЕАЛІЗАЦІЯ)	2D КРЕСЛЯРСЬКЕ ПОЗНАЧЕННЯ	СХЕМА ВІЛЬНОГО ТІЛА ТА РЕАКЦІЇ
ШАРНІРНО-РУХОМА ОПОРА	 3D-модель: Сталевий міст на котках	 2D Позначення	 R_y = Вертикальна реакція СВТ та Реакції в'язей
ШАРНІРНО-НЕРУХОМА ОПОРА	 3D-модель: Сталевий вузол ферми на пальці	 2D Позначення	 R_y = Вертикальна реакція R_x = Горизонтальна реакція СВТ та Реакції в'язей
ЗАЩЕМЛЕННЯ	 3D-модель: Двотавр, залитий у бетон	 2D Позначення	 R_y = Вертикальна реакція R_x = Горизонтальна реакція M = Згинальний момент СВТ та Реакції в'язей

Висновки та інженерне значення

Відкидання в'язей та заміна їх правильними векторами реакцій є найвідповідальнішим етапом у діяльності інженера-проектувальника. Помилка на цьому етапі (наприклад, плутанина між рухомим та нерухомим шарніром) автоматично робить усі наступні обчислення у програмах САПР (Lira-SAPR, SCAD) хибними, що може призвести до аварій на будівництві або руйнування споруд в процесі експлуатації. Ретельне вивчення типології опор дозволяє алгоритмізувати перехід від реалістичних архітектурних креслень до строгих математичних розрахункових схем, які розв'язуються за допомогою рівнянь статyki.

Література (згідно з Робочою програмою):

1. Павловський В.М. Теоретична механіка: Підручник. – Київ: Техніка, 2007.
2. Батечко Н.Г., Царенко О.М. Теоретична механіка: Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 2008.

3. Тарг С.М. Короткий курс теоретичної механіки.

4. Робоча програма навчальної дисципліни «Теоретична механіка» (ОК7), ЗПО «ДПТК», 2026 р.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ №3

Система збіжних сил та умови її абсолютної рівноваги

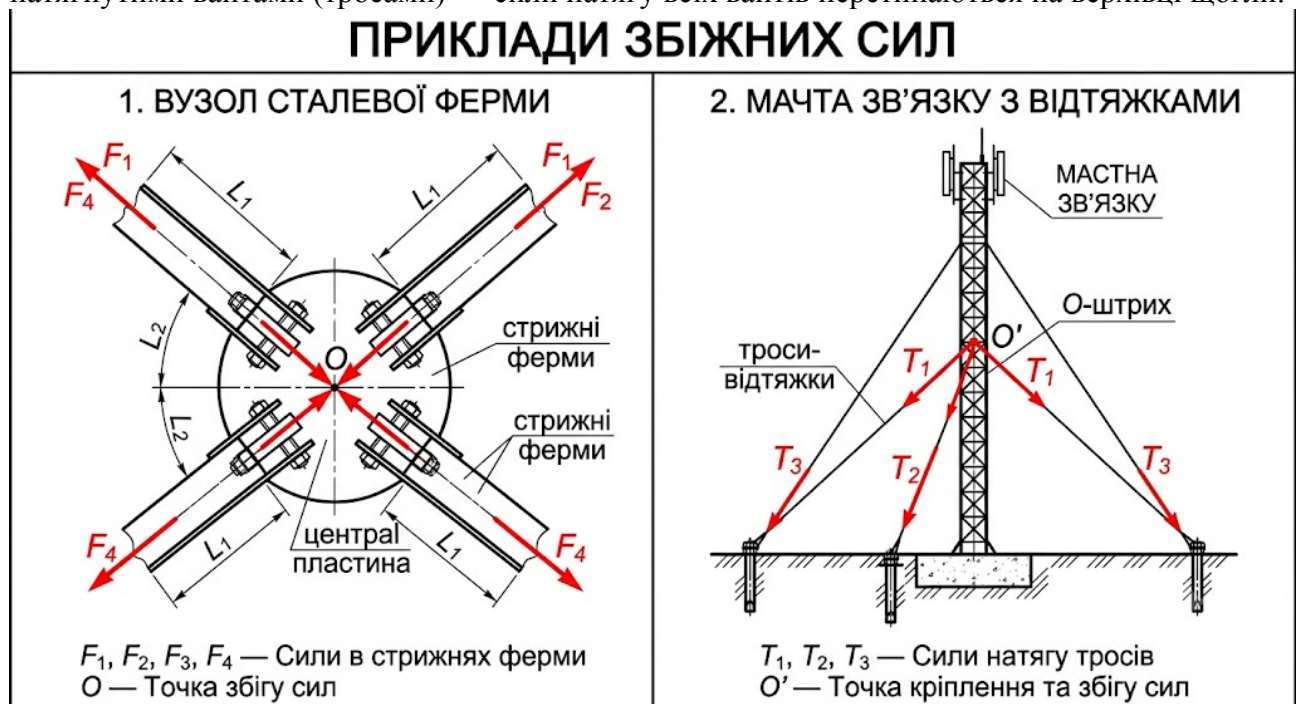
1. Поняття про систему збіжних сил

В інженерній практиці, зокрема під час проектування будівель, мостів, естакад та опорних конструкцій, дуже рідко трапляються випадки, коли на тіло діє лише одна сила. Зазвичай ми маємо справу зі складною взаємодією багатьох силових факторів. Найпростішою, але надзвичайно важливою для розрахунків є **система збіжних сил**.

Системою збіжних сил називається така система сил, лінії дії яких перетинаються в одній спільній точці. Завдяки аксіомі про можливість перенесення сили вздовж її лінії дії (наслідок з третьої аксіоми статyki), ми можемо подумки перенести точки прикладання всіх цих сил у точку їхнього перетину.

Таким чином, вивчення системи збіжних сил зводиться до вивчення системи сил, що прикладені до однієї матеріальної точки.

У цивільній інженерії класичним прикладом просторової системи збіжних сил є **вузол кроквяної ферми** або просторової структурної плити покриття. У такому вузлі за допомогою фасонки (металевої пластини) з'єднуються кілька стрижнів. Якщо вважати шарніри ідеальними (такими, що не сприймають моментів), то зусилля від усіх стрижнів діятимуть виключно вздовж їхніх осей, перетинаючись в геометричному центрі вузла. Аналогічним прикладом є щогла, яка утримується у вертикальному положенні кількома натягнутими вантами (тросами) — сили натягу всіх вантів перетинаються на верхівці щогли.



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