



ЗАТВЕРДЖУЮ

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

Сергій ГОРДІЄНКО

«28» серпня 2026 р.

МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

з навчальної дисципліни «Технічна механіка»

Галузь знань: 13 Механічна інженерія / Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: «Зварювальне виробництво»

НАПРЯМ 1: СТАТИКА АБСОЛЮТНО ТВЕРДОГО ТІЛА (16 годин)

ВСТУП ТА МЕТА БЛОКУ

Цей блок завдань орієнтований на формування професійної компетентності щодо зведення систем сил, визначення навантажень та виконання базових статичних розрахунків зварних металоконструкцій. Фахівець повинен вміти аналізувати умови рівноваги та знаходити реакції опорних вузлів, що є відправною точкою для проектування надійних стрижневих систем на таких підприємствах як ТОВ "Інтерпайп", ПП "Висотпромсервіс", ТОВ "Аксор індастрі".

Інклюзивний та безпековий підхід (Trauma-Informed Approach): Організація самостійної роботи базується на принципах структурної передбачуваності та безпеки розрахунків. Здобувачі освіти (зокрема ветерани) працюють із концепціями абсолютної рівноваги, балансу систем та технологічної стабільності. Матеріал виключає використання емоційно напруженої термінології аварійності, фокусуючи увагу на створенні міцних опорних баз та контрольованому розподілі зусиль.

ЗАВДАННЯ 1.1. Опрацювання нормативної бази та алгоритмів зведення систем сил (4 години)

Зміст завдання: Самостійне вивчення методів еквівалентних перетворень плоских та просторових систем сил. Глибокий аналіз основної теореми статички (теореми Пуансо) про приведення довільної системи сил до головного вектора та головного моменту. Самостійне вивчення способів визначення центрів ваги складених перерізів із металопрокату згідно з нормативною базою.

Теоретичний мінімум для опрацювання:

Основою перетворення складних навантажень є **Лема про паралельне перенесення сили**: будь-яку силу F , прикладену до абсолютно твердого тіла в точці A , можна паралельно перенести в будь-яку іншу точку O , додавши при цьому приєднану пару сил, момент якої дорівнює моменту перенесеної сили відносно нової точки O .

Спираючись на цю лему, **Теорема Пуансо** стверджує: будь-яку просторову систему сил, що діє на абсолютно тверде тіло, можна звести до довільно обраного центра O . При цьому система замінюється однією результуючою силою — **головним вектором R** , прикладеним у центрі O , та однією результуючою парою сил із **головним моментом M_O** .

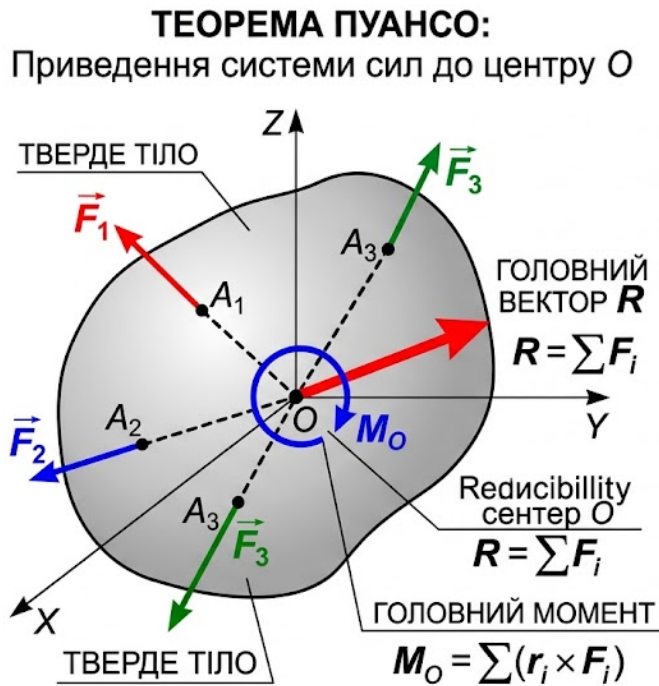
$$R = \sum_{i=1}^n F_i \quad M_O = \sum_{i=1}^n M_O(F_i)$$

Центр ваги складених перерізів. Для зварних балок, які складаються зі стандартного металопрокату (швелери, кутники, двотаври), координати центра ваги $C(x_c, y_c)$

розраховуються методом розбиття на прості фігури з використанням статичних моментів площі:

$$x_c = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

де A_i — площа перерізу окремого профілю; x_i, y_i — координати його власного центра ваги у спільній системі координат.



Форма звітності: Складання розгорнутого візуального довідника-конспекту з виведенням формул та ескізами. Конспект фотографується (або сканується) та завантажується здобувачем в електронну систему LMS Moodle для асинхронного оцінювання викладачем.

ЗАВДАННЯ 1.2. Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) № 1: «Визначення опорних реакцій жорсткої зварної рами та зусиль у стрижнях ферми» (8 годин)

Зміст завдання: Комплексне індивідуальне завдання за багатоваріантною матрицею, що вимагає застосування аналітичних методів статки. Слухач повинен: ідеалізувати реальну металоконструкцію (побудувати розрахункову схему), розбити її на елементи, застосувати метод перерізів, скласти систему лінійних алгебраїчних рівнянь рівноваги та обчислити опорні реакції. Для зварної ферми необхідно: виявити нульові стрижні за візуальними правилами, визначити зусилля у вузлах методом вирізання вузлів та виконати верифікацію зусиль у заданих панелях методом перерізів (Ріттера).

Методика виконання РГР:

1. Розрахунок жорсткої рами:

Будь-яка плоска рама закріплюється в просторі за допомогою в'язей. Згідно з принципом звільнення від в'язей, відкидаємо опори і замінюємо їх невідомими силами реакцій. Для плоскої системи довільно розташованих сил складаємо три рівняння рівноваги:

$$\sum F_{ix} = 0 \quad \sum F_{iy} = 0 \quad \sum M_A(F_{i0}) =$$

Методична вказівка: Рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю q перед складанням рівнянь замінюється зосередженою силою $Q = q \cdot L$. Після знаходження всіх реакцій **обов'язково** виконується перевірка шляхом складання рівняння моментів відносно іншої точки рами.

- **Розрахунок статично визначуваної ферми:**

У зварних фермах навантаження передається через вузли, тому стрижні працюють тільки на розтяг або стиск. Послідовність дій:

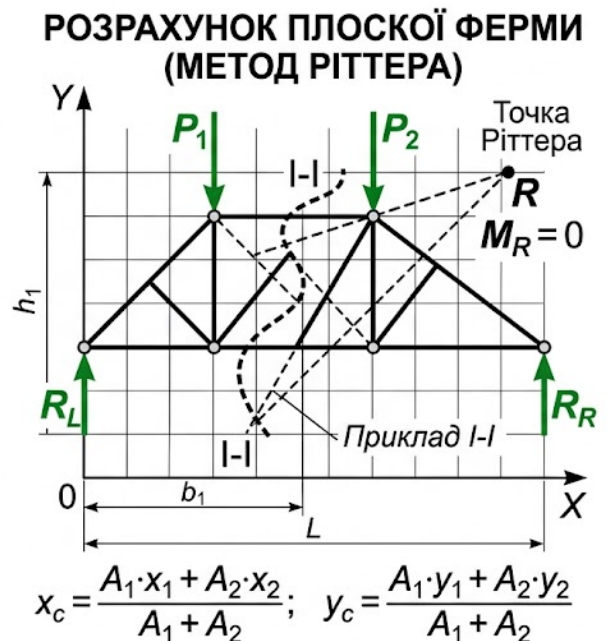
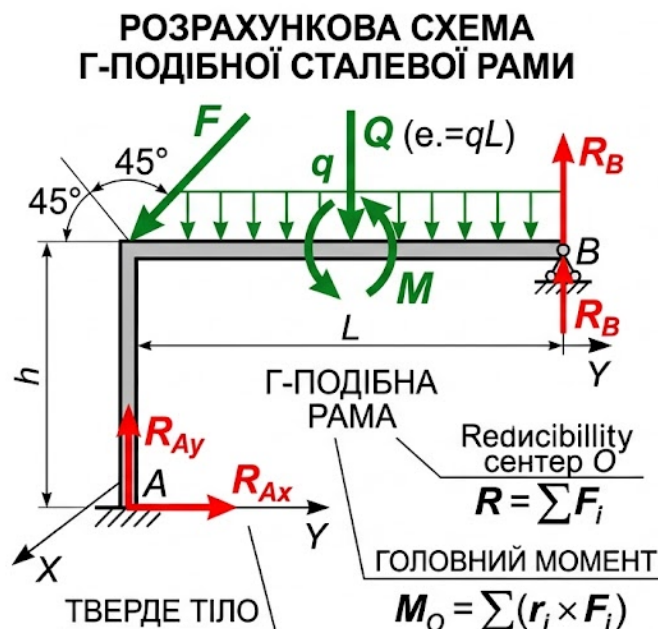
1. Визначення реакцій опор ферми.
2. **Виявлення нульових стрижнів:** Якщо у ненавантаженому вузлі сходяться два стрижні (не на одній прямій), зусилля в них дорівнюють нулю.
3. **Метод вирізання вузлів:** Послідовно вирізаємо вузли. Для кожного вузла складаємо систему:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$

Вектори невідомих зусиль спрямовуємо *від вузла* (припущення про розтяг). Якщо результат від'ємний — стрижень стиснутий.

4. **Метод Ріттера (перевірочний):** Ферма уявно перерізається площиною через три стрижні. Розглядається рівновага відсіченої частини. Складається рівняння моментів відносно *точки Ріттера* — точки перетину ліній дії двох розсічених стрижнів.

ВИКОНАННЯ РГР №1: РАМИ ТА ФЕРМИ (Приклад оформлення Схема 1.2)



Форма звітності: Підготовлений цифровий інженерний звіт у форматі PDF, що завантажується в систему LMS. Звіт має містити: титульний аркуш, вихідні дані варіанта, виконані з дотриманням масштабу розрахункові схеми, розгорнуті рівняння з підстановкою числових значень, таблицю зусиль у стрижнях ферми та висновок. Для захисту РГР здобувач проходить верифікаційний тест в LMS.

ЗАВДАННЯ 1.3. Підготовка до модульного контролю №1 (4 години)

Зміст завдання: Систематизація знань з аксіоматики статичної, тертя (кочення та ковзання) та просторової системи сил. Самостійне опрацювання розрахункових моделей систем з тертям, що є критично важливими для проектування гальмівних та фрикційних механізмів зварювального устаткування.

Теоретичний блок для систематизації:

- **Тертя ковзання:** Сила тертя спокою може набувати будь-яких значень від нуля до свого максимального (граничного) значення. Гранична сила тертя визначається законом Кулона-Амонтона:

$$F_{mp}^{max} = f \cdot N$$

де f — статичний коефіцієнт тертя ковзання; N — нормальна реакція опорної поверхні. Вектор сили тертя завжди спрямований протилежно напрямку можливого руху тіла.

- **Тертя кочення:** Опір коченню виникає внаслідок деформації тіла та опорної поверхні. Момент опору коченню обчислюється як:

$$M_K = k \cdot N$$

де k — коефіцієнт тертя кочення (має розмірність довжини, см або мм).

- **Просторова система сил:** Якщо сили не лежать в одній площині, для забезпечення абсолютної рівноваги твердого тіла в декартовій системі координат (Oxyz) необхідно і достатньо виконання шести незалежних рівнянь:

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy}$$

$$= 0$$

$$\sum M_x(F_i)$$

$$= 0$$

$$\sum F_{iz}$$

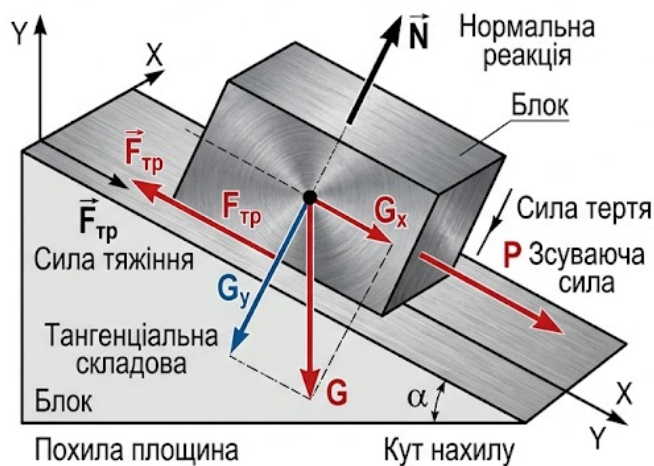
$$\sum M_y(F_i)$$

$$= 0$$

$$\sum M(F_i)$$

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЗНАТЬ: ТЕРТЯ ТА ПРОСТОРОВА СТАТИКА (СХЕМА 1.3)

1. ТЕРТЯ НА ПОХИЛІЙ ПЛОЩИНІ

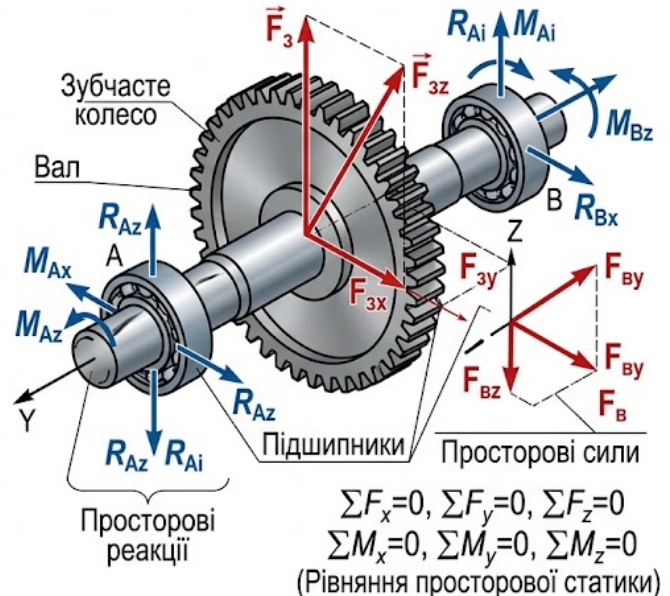


$$F_{\text{тр}} \leq f \cdot N \quad (\text{умова нековзання});$$

$$f - \text{коефіцієнт тертя ковзання};$$

$$F_{\text{тр, max}} = f_0 \cdot N \quad (\text{сила тертя ковзання}).$$

2. ПРОСТОРОВА СТАТИКА ТА РЕАКЦІЇ ОПОР



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ з навчальної дисципліни «Технічна механіка»

Галузь знань: 13 Механічна інженерія / Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: «Зварювальне виробництво»

НАПРЯМ 2: КІНЕМАТИКА ТОЧКИ ТА ТВЕРДОГО ТІЛА (16 годин)

ВСТУП ТА МЕТА БЛОКУ

Цей блок вимагає від слухача здатності застосовувати векторний і диференціальний апарат для дослідження траєкторій, швидкостей та прискорень, що виникають у рухомих ланках зварювальних автоматів, маніпуляторів та позиціонерів. Надійне керування кінематичними параметрами є запорукою високої якості зварювання, оскільки лінійна швидкість руху зварювальної голівки безпосередньо впливає на формування зварювальної ванни.

Інклюзивний та безпековий підхід (Trauma-Informed Approach): Опрацювання матеріалу з кінематики базується на принципах абсолютної передбачуваності та штатного контролю швидкостей механізмів. Навчальний процес сфокусовано на забезпеченні стабільності руху, плавності прискорень та безпеки експлуатації машин. Для створення психологічно комфортного середовища для всіх здобувачів (включно з ветеранами та членами їх сімей) категорично виключається термінологія неконтрольованих перевантажень, зіткнень чи аварійних руйнувань.

ЗАВДАННЯ 2.1. Аналітичний розрахунок кінематичних характеристик складного руху (4 години)

Зміст завдання: Самостійне опрацювання теореми Коріоліса про додавання прискорень: $\mathbf{a}_a = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_e + \mathbf{a}_c$. Визначення модуля коріолісового прискорення та його напрямку за правилом Жуковського при русі точки по обертовому тілу.

Теоретичний мінімум для опрацювання:

У багатьох технологічних машинах робочий орган здійснює складний рух — він рухається відносно рухомої системи відліку (відносний рух), яка у свою чергу рухається відносно нерухомої станини (переносний рух). Згідно з теоремою Коріоліса, абсолютне прискорення точки у загальному випадку складного руху дорівнює векторній сумі відносного, переносного та коріолісового (поворотного) прискорень:

$$\mathbf{a}_a = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_e + \mathbf{a}_c$$

Прискорення Коріоліса ($\mathbf{a}_c$) враховує зміну відносної швидкості за рахунок переносного обертання та зміну переносної швидкості через відносне переміщення. Воно визначається як подвоєний векторний добуток вектора переносної кутової швидкості $\boldsymbol{\omega}_e$ на вектор відносної лінійної швидкості $\mathbf{V}_r$:

$$\mathbf{a}_c = 2 \cdot \boldsymbol{\omega}_e \times \mathbf{V}_r$$

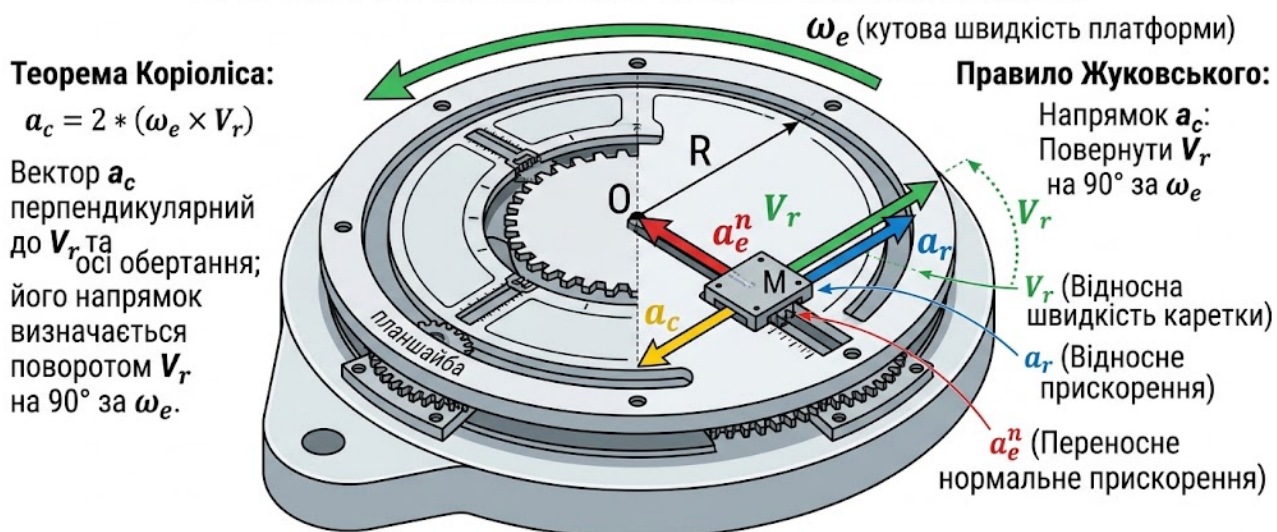
Модуль прискорення Коріоліса дорівнює:

$$a_c = 2 \cdot \omega_e \cdot V_r \cdot \sin(\alpha)$$

де α — кут між віссю переносного обертання та напрямком вектора відносної швидкості.

Правило Жуковського для практичного знаходження напрямку a_c : необхідно вектор відносної швидкості V_r спроектувати на площину, перпендикулярну до осі переносного обертання, і цю проєкцію повернути на 90° у напрямку переносного обертання ω_e .

РОЗРАХУНКОВА КАРТКА ПРАВИЛО ЖУКОВСЬКОГО ТА ТЕОРЕМА КОРІОЛІСА



МОДУЛЬ: $a_c = 2 \cdot \omega_e \cdot V_r \cdot \sin(90^\circ) = 2 \cdot \omega_e \cdot V_r$ Загальне прискорення: $a_{total} = a_r + a_c^n + a_c$

Форма звітності: Розрахункова картка-звіт (Task Card) із послідовним виведенням векторних формул для конкретного варіанта механізму, завантажена на перевірку в LMS.

ЗАВДАННЯ 2.2. Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) № 2:

«Кінематичний аналіз кулісного механізму зварювального автомата» (8 годин)

Зміст завдання: Слухач отримує кінематичну схему плоского механізму із заданим законом руху ведучого кривошипа. Необхідно визначити лінійні та кутові швидкості і прискорення вказаних ланок для заданого моменту часу. Розрахунок виконується з обов'язковою ідентифікацією миттєвого центра швидкостей (МЦШ) та побудовою багатокутників (планів) швидкостей і прискорень.

Методичні вказівки до виконання РГР №2:

Кінематичний аналіз важільно-кулісних механізмів, які широко застосовуються для забезпечення зворотно-поступального руху зварювальних інструментів, включає графоаналітичне та аналітичне дослідження швидкостей і прискорень.

- **Структурний аналіз механізму:** Побудова кінематичної схеми механізму у вибраному масштабі довжин μ_l для заданого положення (кута повороту ведучого кривошипа ϕ).
- **Визначення швидкостей (Метод МЦШ):**
 4. Швидкість точки A (шарніра ведучого кривошипа OA): $V_A = \omega_1 \cdot l_{OA}$. Вектор $\overline{V_A}$ перпендикулярний до OA .
 5. Для шатуна або куліси, що здійснює плоскопаралельний рух, визначається **Миттєвий центр швидкостей (МЦШ)** — точка площини, швидкість якої в даний момент дорівнює нулю. МЦШ (точка P) знаходиться на перетині перпендикулярів, відновлених з двох точок ланки до векторів їхніх швидкостей.
 6. Кутова швидкість ланки AB : $\omega_{AB} = V_A / P_A$.
 7. Швидкість будь-якої іншої точки B : $V_B = \omega_{AB} \cdot P_B$.
- **Побудова плану швидкостей:** З довільного полюса p_v відкладаються вектори швидкостей у вибраному масштабі μ_v . На основі векторного рівняння

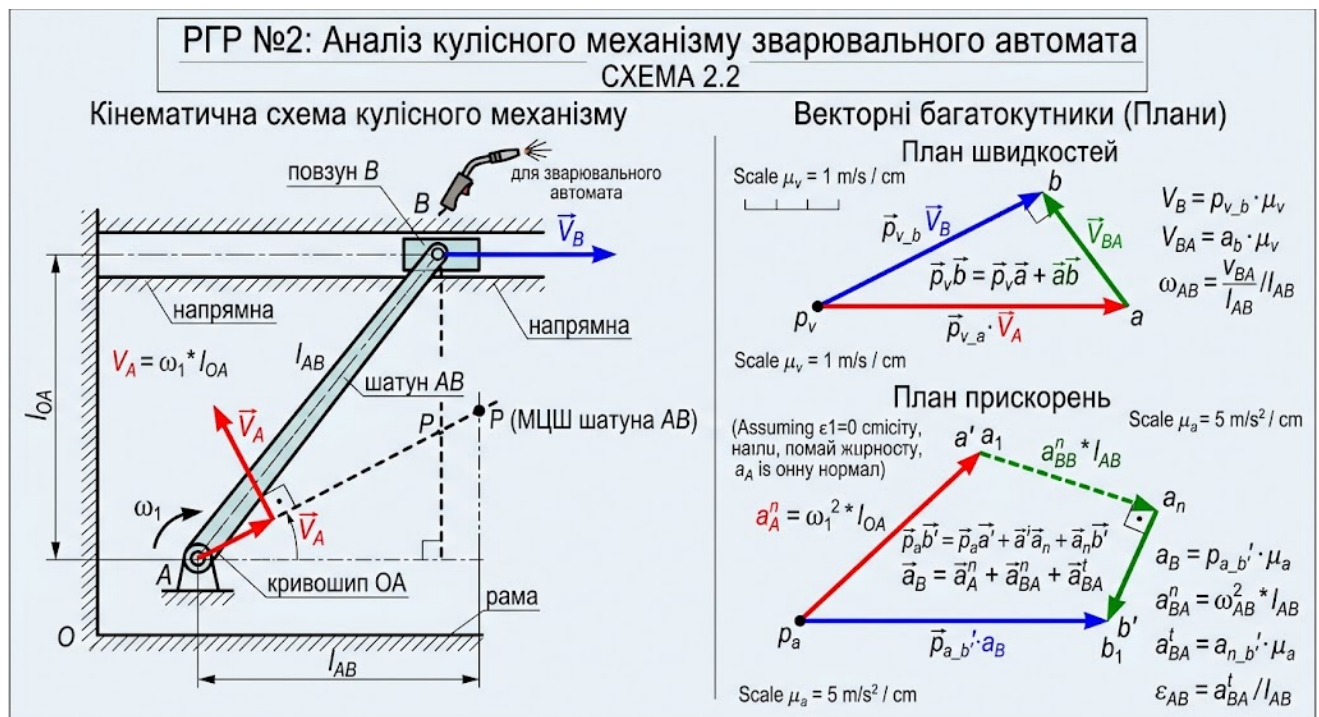
$\overline{V_B} = \overline{V_A} + \overline{V_{BA}}$ будується трикутник швидкостей, що дозволяє графічно перевірити аналітичні розрахунки.

• **Визначення прискорень (Метод планів прискорень):**

- Прискорення точки A кривошипа при рівномірному обертанні ($\epsilon_1 = 0$) має лише нормальну складову: $a_A = a_A^n = \omega_1^2 \cdot l_{OA}$ (спрямоване від A до O).
- Для точки B складається векторне рівняння прискорень:

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}}^n + \overline{a_{BA}}^t$$

- Нормальне прискорення точки B навколо A : $a_{BA}^n = \omega_{AB}^2 \cdot l_{AB}$ (спрямоване від B до A).
- З довільного полюса p_a будується план прискорень з урахуванням напрямків та ліній дії відомих і невідомих векторів. Замкнення багатокутника визначає модулі тангенціальних прискорень та повне прискорення a_B .



Форма звітності: Розгорнутий цифровий звіт у системі LMS, що містить аналітичні розрахунки, побудовані в масштабі кінематичні схеми, плани швидкостей та прискорень. Захист роботи передбачає обґрунтування правильності побудови кінематичних планів на основі теореми про швидкості точок плоскої фігури.

ЗАВДАННЯ 2.3. Підготовка до модульного контролю № 2 та заліку (4 години)

Зміст завдання: Консолідація та систематизація знань про базові види руху твердого тіла: поступальний, обертальний та плоскопаралельний (плоский) рух. Глобальна систематизація матеріалу за 3-й семестр для підготовки до складання підсумкового заліку.

Питання для теоретичного опрацювання:

- **Поступальний рух:** рух, при якому будь-яка пряма, жорстко пов'язана з тілом, залишається паралельною своєму початковому положенню. Траєкторії, швидкості та прискорення всіх точок тіла абсолютно однакові. Тіло можна моделювати як одну матеріальну точку.

- **Обертальний рух:** рух, при якому всі точки тіла описують кола навколо єдиної нерухомої осі. Характеризується загальними для всього тіла параметрами: кутом повороту ϕ , кутовою швидкістю ω та кутовим прискоренням ϵ . Лінійні параметри точки (V , a_n , a_τ) прямо пропорційні відстані R до осі обертання.
- **Плоскопаралельний (плоский) рух:** рух, при якому всі точки тіла переміщуються паралельно певній нерухомій площині (наприклад, рух шатуна). Згідно з теоремою про розкладання руху, він розглядається як сума поступального руху разом із довільно обраним полюсом та обертального руху навколо цього полюса. Теорема про проєкції швидкостей двох точок тіла на вісь, що проходить через ці точки.

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИДІВ РУХУ ТВЕРДОГО ТІЛА

1. ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХ
(Поступальний рух твердого тіла)

Траєкторії всіх точок тіла ідентичні та паралельні. Орієнтація тіла в просторі не змінюється. ($v_A = v_B$, $v_A = v_B$)

2. ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ
(Обертальний рух навколо нерухомої осі)

Траєкторії точок тіла — концентричні кола з центром на осі обертання. Лінійна швидкість залежить від відстані до осі. ($V = \omega \cdot r$)

3. ПЛОСКИЙ РУХ (Плоский (складний) рух)

Комплексний рух: поєднання поступального руху центра мас і обертання тіла навколо цього центра. Складні траєкторії точок. (Траєкторія точки обода — циклоїда)

Комплексний рух: поєднання поступального руху центра мас і обертання тіла навколо цього центра. Складні траєкторії точок. (Траєкторія точки обода — циклоїда)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ з навчальної дисципліни «Технічна механіка»

Галузь знань: 13 Механічна інженерія / Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: «Зварювальне виробництво»

НАПРЯМ 3: ДИНАМІКА (16 годин)

ВСТУП ТА МЕТА БЛОКУ

Етап має на меті загальну консолідацію знань про рух механічних систем під дією сил. Він спрямований на розвиток здатності розраховувати машини в умовах динамічних перевантажень, вібрацій та контактних взаємодій (ударів), що є критичним для забезпечення довговічності зварних швів та надійності металоконструкцій у промисловому секторі (наприклад, на підприємствах машинобудівної галузі ТОВ "Інтерпайп", ТОВ "ДАЗ", ТОВ "Аксор індастрі").

Інклюзивний та безпековий підхід (Trauma-Informed Approach): Організація самостійної роботи з динаміки будується на створенні відчуття контролю над фізичними процесами. Вивчення теорії удару та вібрацій акцентується на здатності систем *пружно поглинати енергію, адаптуватися та стабілізуватися*. Здобувачі (особливо ветерани) повинні бачити інженерні інструменти гасіння коливань та віброізоляції. Уникається емоційно-напружена термінологія («руйнівні удари», «катастрофічний резонанс»), яка замінюється на «перехідні процеси», «контактна взаємодія» та «режими розстроювання».

ЗАВДАННЯ 3.1. Загальні теореми динаміки та теорія удару (4 години)

Зміст завдання: Самостійне вивчення та порівняльний аналіз теорем про зміну кількості руху, моменту кількості руху (кінетичного моменту) та кінетичної енергії системи. Опрацювання теорії прямого центрального удару, поняття імпульсу сили та коефіцієнта відновлення при контактній взаємодії (ударі).

Теоретичний мінімум для опрацювання:

- **Теорема про зміну кількості руху:** Зміна вектора кількості руху механічної системи за певний проміжок часу дорівнює векторній сумі імпульсів зовнішніх сил за цей же час. Застосовується для задач, де відомі сили та час їх дії.

$$K_2 - K_1 = \sum S_i^e$$

- **Теорема про зміну кінетичного моменту:** Використовується переважно для обертального руху (наприклад, маніпуляторів). Похідна від кінетичного моменту відносно осі дорівнює сумі моментів зовнішніх сил.

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