



ЗАТВЕРДЖУЮ

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

Сергій ГОРДІЄНКО

« 28 » серпня 2026 р.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ

Дисципліна: «Технічна механіка ОК 9». Вид навчальної роботи: Самостійна робота слухача (СРС) / Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) №1.

Тема РГР №1: «Визначення опорних реакцій, розрахунок ферм та комплексний кінематичний/динамічний аналіз механізму». Загальний обсяг часу на виконання: 18 академічних годин. Освітньо-професійна програма: «Зварювальне виробництво» (спеціальність G9 Прикладна механіка, 131/133).

МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ЦІЛІ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ Самостійна робота над Розрахунково-графічною роботою (РГР) №1 є ключовим етапом переходу від теоретичного засвоєння знань до формування практичних інженерних компетентностей. Для фахівця зі зварювального виробництва вміння самостійно аналізувати напружено-деформований та кінематичний стан конструкцій (рам, ферм, механізмів) є фундаментом професійної кваліфікації. Металоконструкції, що експлуатуються на провідних підприємствах (ТОВ «Інтерпайп», ТОВ «ДАЗ», ТОВ «НВП РІЧ»), вимагають бездоганного попереднього розрахунку для запобігання аварійним ситуаціям.

Відповідно до принципів педагогіки, обізнаної з травмою (Trauma-Informed Approach), самостійна робота структурована так, щоб мінімізувати когнітивне перевантаження та забезпечити психологічну безпеку студента. Процес розбито на чіткі, детерміновані етапи (модулі) з детальними алгоритмами. Помилки на етапі обчислень розглядаються як природна частина інженерного пошуку, що коригується перевірочними рівняннями (верифікацією).

Цілі виконання РГР №1:

Когнітивні: Синтезувати знання зі статички, кінематики та динаміки твердого тіла для комплексного аналізу машинобудівних конструкцій.

Праксеологічні: Відпрацювати навички побудови розрахункових схем, складання рівнянь рівноваги, використання методу МЦШ та кінетостатики.

Організаційні: Набути досвіду оформлення технічної документації за стандартами ЄСКД та ДСТУ.

ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТ ТА СТРУКТУРА 18-ГОДИННОГО ЦИКЛУ Для ефективного засвоєння матеріалу 18 годин самостійної роботи жорстко регламентовані за змістовими блоками:

Етап 1 (4 години): Статика. Визначення опорних реакцій жорстких рам та балок.

Етап 2 (5 годин): Статика. Розрахунок зусиль у стрижнях плоских зварних ферм.

Етап 3 (5 годин): Кінематика. Побудова планів швидкостей та прискорень важільних механізмів.

Етап 4 (4 години): Динаміка та оформлення. Застосування принципу Даламбера. Оформлення звіту в PDF.

ЕТАП 1: ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРНИХ РЕАКЦІЙ (Обсяг: 4 год.) Завдання: Для заданої зварної Г-подібної рами, навантаженої зосередженими силами, моментами та розподіленим навантаженням, визначити реакції опор.

3.1. Теоретичний базис та ідеалізація Будь-яка просторова конструкція для спрощення зводиться до плоскої розрахункової схеми. Застосовується аксіома звільнення від в'язей: подумки відкидаємо опори і замінюємо їх дію на раму невідомими силами (реакціями).

Шарнірно-рухома опора (каток) — дає одну реакцію, перпендикулярну до опорної поверхні.

Шарнірно-нерухома опора — дає дві реакції (X_A , Y_A).

Жорстке защемлення — дає дві реакції (X_A , Y_A) і один реактивний момент (M_A).

3.2. Алгоритм виконання (Guideline)

Зобразити розрахункову схему рами в масштабі згідно зі своїм варіантом (шифром).

Замінити розподілене навантаження q (кН/м) рівнодійною силою $Q=q \cdot L$, прикладеною в центрі ваги епюри навантаження.

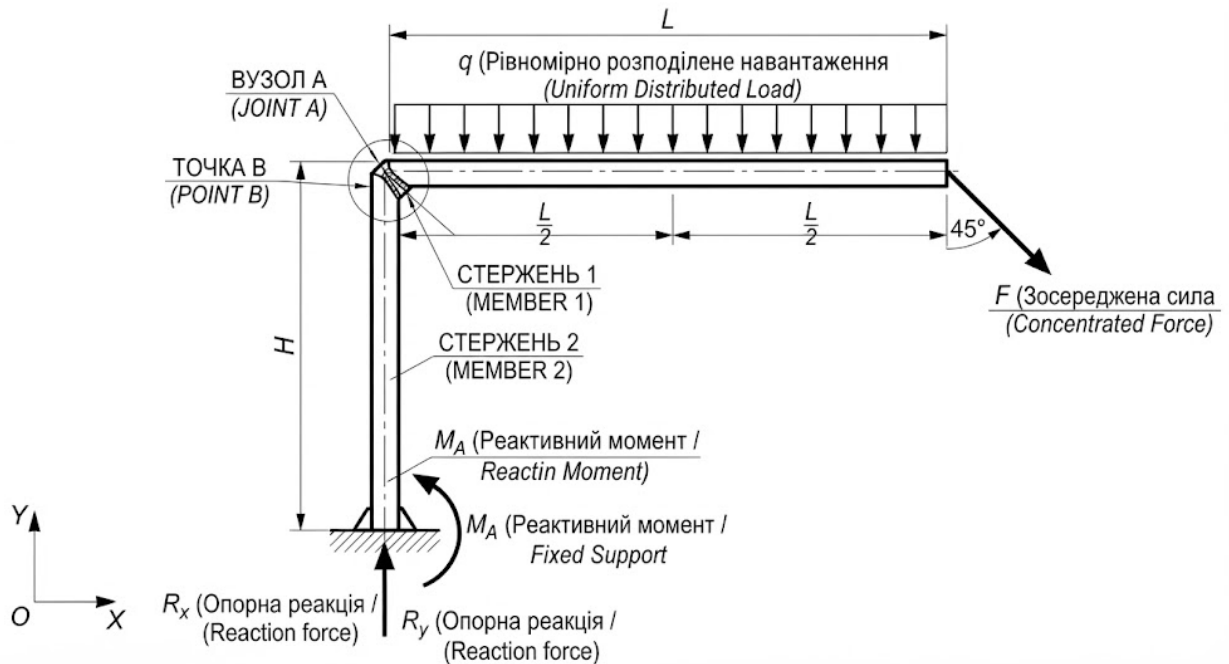
Сили, прикладені під кутом α , розкласти на складові: $F_x = F \cos \alpha$, $F_y = F \sin \alpha$.

Скласти три рівняння рівноваги плоскої системи довільних сил:

$$\sum X = 0; \quad \sum Y = 0; \quad \sum M_A = 0$$

5. Розв'язати систему алгебраїчних рівнянь і знайти числові значення реакцій.
6. Обов'язковий крок: Виконати перевірку, склавши рівняння моментів відносно будь-якої іншої точки B ($\sum M_B = 0$). Якщо результат дорівнює нулю — розрахунок вірний.

СХЕМА РОЗРАХУНКУ ЗВАРНОЇ РАМИ (CALCULATION SCHEME OF WELDED FRAME)



ЕТАП 2: РОЗРАХУНОК ЗУСИЛЬ У СТРИЖНЯХ ЗВАРНИХ ФЕРМ (Обсяг: 5 год.)

Завдання: Для заданої плоскої зварної ферми знайти нульові стрижні, визначити зусилля у всіх стрижнях методом вирізання вузлів та перевірити три найбільш навантажені стрижні методом Ріттера.

4.1. Аналіз нульових стрижнів

Перед обчисленнями оптимізуйте схему. Використовуйте леми:

- Якщо у ненавантаженому вузлі сходяться два стрижні — зусилля в них дорівнюють нулю.
- Якщо у ненавантаженому вузлі сходяться три стрижні, два з яких на одній прямій, зусилля в третьому дорівнює нулю.

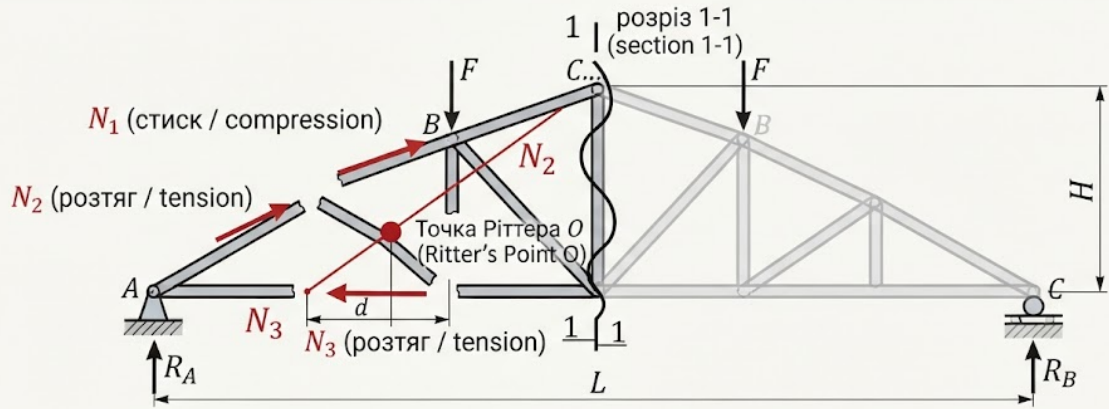
4.2. Метод вирізання вузлів (Аналітичний підхід)

1. Визначити опорні реакції ферми в цілому (аналогічно Етапу 1).
2. Вирізати вузол, у якому сходяться не більше двох невідомих стрижнів.
3. Невідомі зусилля N_i завжди спрямовувати ВІД вузла (припущення про розтяг).
4. Скласти два рівняння проєкцій: $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$. Знайти зусилля. Знак «мінус» означає, що стрижень стиснутий.
5. Послідовно обходити всі вузли ферми.

4.3. Метод перерізів (Спосіб Ріттера)

1. Подумки розрізати ферму на дві частини так, щоб переріз пройшов через три стрижні (з яких один або всі є шуканими).
2. Відкинути одну частину ферми. Замінити відкинуті стрижні невідомими зусиллями, спрямованими назовні.
3. Знайти «точку Ріттера» для шуканого стрижня (це точка перетину ліній дії двох інших розрізаних стрижнів).
4. Скласти рівняння моментів залишеної частини відносно точки Ріттера: $\sum M_{\text{Ritter}} = 0$.
5. Порівняти результати, отримані двома методами.

СХЕМА: АНАЛІЗ ФЕРМИ – МЕТОД РІТТЕРА (SCHEME: TRUSS ANALYSIS – RITTER'S METHOD)



Рівняння рівноваги (Equilibrium Equations):

$$\sum M_O = 0: -R_A \cdot x_A + F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + N_3 \cdot d = 0 \Rightarrow N_3 = \dots \text{ (визначення } N_3 \text{)}$$

$$\sum M_C = 0: N_1 \cdot d_1 - R_A \cdot x_A + \dots = 0 \Rightarrow N_1 = \dots \text{ (визначення } N_1 \text{)}$$

$$\sum M_K = 0: N_2 \cdot d_2 - R_A \cdot x_A + \dots = 0 \Rightarrow N_2 = \dots \text{ (визначення } N_2 \text{)}$$

ЕТАП 3: КОМПЛЕКСНИЙ КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ (Обсяг: 5 год.)

Завдання: Дослідити кінематику важільного механізму (кулісного або кривошипно-повзункового) для заданого положення. Побудувати плани швидкостей та прискорень.

5.1. Побудова плану швидкостей (Метод МЦШ)

Миттєвий центр швидкостей (МЦШ) ланки, що здійснює плоскопаралельний рух (наприклад, шатуна), лежить на перетині перпендикулярів, проведених до векторів швидкостей двох його точок.

1. Обчислити швидкість точки A (шарніра кривошипа), що здійснює обертальний рух: $v_A = \omega \cdot l_{OA}$. Вектор v_A спрямований перпендикулярно до OA .
2. Встановити напрямок руху повзуна B (вдovж напрямної).
3. Провести перпендикуляри до векторів v_A та v_B . Точка їх перетину — P (МЦШ шатуна).
4. Знайти кутову швидкість шатуна: $\omega_{AB} = v_A / PA$.
5. Знайти швидкість повзуна: $v_B = \omega_{AB} \cdot PB$.

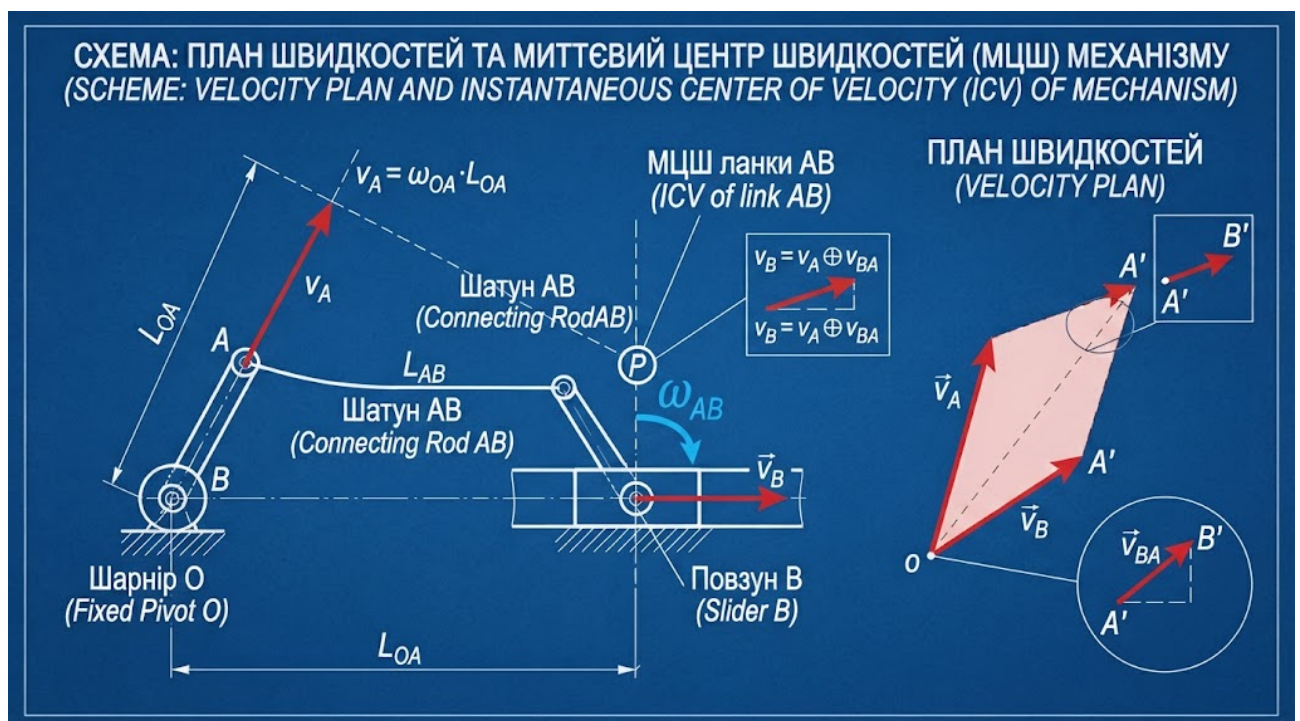
5.2. Аналітичний розрахунок прискорень

1. Нормальне прискорення точки A : $a_A^n = \omega^2 \cdot l_{OA}$ (спрямоване до осі обертання O).
2. Для шатуна скласти векторне рівняння:

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

Де a_{BA}^n — нормальне прискорення (спрямоване від B до A , дорівнює $\omega_{AB}^2 \cdot l_{AB}$), a_{BA}^t — дотичне прискорення (перпендикулярно до AB).

3. Спроектувати векторне рівняння на осі X та Y , що дозволить знайти невідомі модулі лінійного прискорення повзуна a_B та кутового прискорення шатуна ϵ_{AB} .



ЕТАП 4: ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ОФОРМЛЕННЯ (Обсяг: 4 год.) Завдання: Визначити динамічні реакції та зусилля в ланках механізму з урахуванням сил інерції (метод кінетостатики / принцип Даламбера).

6.1. Застосування принципу Даламбера Будь-яку динамічну задачу можна звести до задачі статички, якщо до рухомих ланок умовно прикласти фіктивні сили інерції.

Для мас, що рухаються поступально: сила інерції
 $\Phi = -m a$

(спрямована проти вектора прискорення).

Для ланок, що обертаються: момент сил інерції $M_\Phi = -J\varepsilon$ (спрямований проти вектора кутового прискорення). Скласти рівняння кінтостатики ($\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M = 0$), включивши до них як зовнішні активні сили (вагу, сили опору), так і фіктивні сили інерції. Знайти динамічні зусилля (наприклад, натяг троса або крутний момент двигуна під час розгону).

6.2. Вимоги до оформлення РГР №1

Звіт виконується на аркушах формату А4 (або генерується цифровий документ). Усі розрахункові схеми, епюри та плани швидкостей/прискорень виконуються СУВОРО в масштабі (за допомогою САПР або креслярського приладдя).

Текстова частина повинна містити: умову задачі, вихідні дані за варіантом, розгорнуті поетапні розрахунки, перевірочні рівняння та остаточний висновок.

Обов'язкове використання одиниць СІ (сили в Н або кН, моменти в Н·м, напруження в МПа, швидкості в м/с).

Фінальний звіт конвертується у єдиний PDF-файл (Title_RGR1_Surname.pdf) і завантажується в систему дистанційного навчання (LMS/Google Classroom) для перевірки викладачем.



ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ Після завершення виконання РГР №1 слухач повинен самостійно відповісти на такі запитання:

Чому при перевірці знайдених опорних реакцій рами не можна використовувати те саме рівняння моментів, з якого ця реакція була знайдена?

Які фізичні наслідки для міцності ферми матиме випадок, коли зовнішнє навантаження буде прикладене не у вузлі, а посередині стрижня?

У яких специфічних випадках руху механізму миттєвий центр швидкостей (МЦШ) шатуна віддаляється у нескінченність, і що це означає для кутової швидкості ланки?

Яким чином введення фіктивної сили інерції (за Даламбером) дозволяє інженеру розрахувати необхідний запас потужності двигуна крана під час підйому вантажу з прискоренням?

Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) №2. Тема РГР №2: «Побудова епюр Q і M , підбір раціонального перерізу балки з металопрокату та розрахунок зварного з'єднання». Загальний обсяг часу на виконання: 18 академічних годин.

МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ЦІЛІ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ Виконання РГР №2 є кульмінаційним етапом вивчення Змістового модуля 2 «Основи опору матеріалів». Для майбутнього фахівця-зварювальника або техника-механіка вміння самостійно спроектувати несучу балку і розрахувати міцність її зварних вузлів є безпосереднім доказом професійної придатності. Саме такі розрахунки щоденно виконуються інженерно-технічним персоналом на провідних підприємствах-партнерах коледжу, таких як ПП «Висотпромсервіс», ТОВ «Аксор індастрі», ТОВ «ДАЗ», ТОВ «Інтерпайп», ТОВ «НВП РІЧ» та ТОВ «Альтстрім».

Відповідно до принципів інклюзивної інженерної освіти та педагогіки, обізнаної з травмою (Trauma-Informed Approach), процес виконання розрахункової роботи структуровано як створення безпечного, детермінованого та стійкого (resilient) інженерного об'єкта. Студент вчиться закладати необхідні коефіцієнти запасу міцності, превентивно усуваючи ризики руйнувань, що формує відчуття контролю та впевненості у власних професійних рішеннях. Помилки в розрахунках на цьому етапі вітаються як засіб глибокого самоаналізу та навчання.

Цілі виконання РГР №2:

Когнітивні: Синтезувати знання з теорії прямого поперечного згину, навчитися аналізувати напружено-деформований стан балок та зварних швів.

Праксеологічні: Відпрацювати алгоритми побудови епюр Q та M , підбору стандартного металопрокату за ДСТУ/ГОСТ та розрахунку кутових/стикових зварних швів на зріз.

Організаційні: Оформити повноцінний технічний звіт (пояснювальну записку) з дотриманням вимог ЄСКД.

ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТ ТА СТРУКТУРА 18-ГОДИННОГО ЦИКЛУ Для ефективної самоорганізації 18 годин СРС жорстко регламентовано за чотирма змістовими етапами:

Етап 1 (5 годин): Аналітичний розрахунок внутрішніх зусиль (побудова епюр Q та M).

Етап 2 (5 годин): Проектувальний розрахунок на міцність. Підбір перерізу двотавра та швелера за сортаментом.

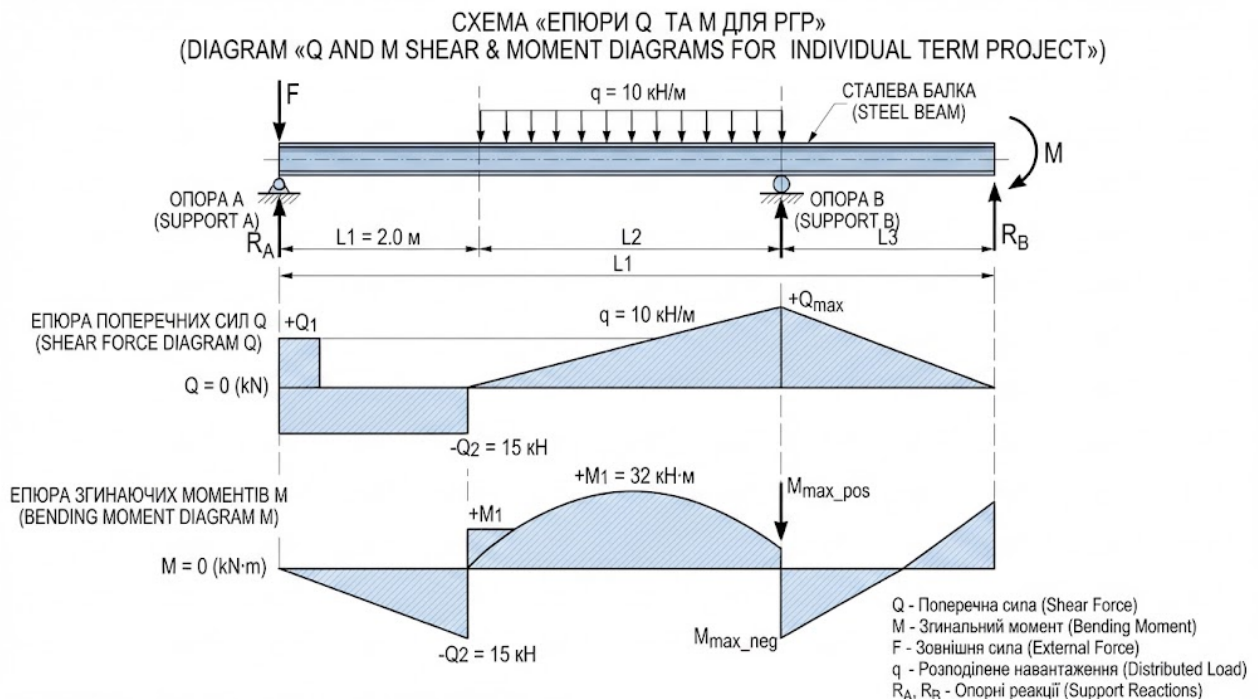
Етап 3 (4 години): Розрахунок зварного з'єднання опорного вузла балки.

Етап 4 (4 години): Перевірочні розрахунки стінки на дотичні напруження та оформлення інженерного звіту.

ЕТАП 1: АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВНУТРІШНІХ ЗУСИЛЬ (Обсяг: 5 год.) Завдання: Для заданої двоопорної балки з консольними звисами (згідно з індивідуальним шифром) визначити опорні реакції та побудувати епюри поперечних сил (Q) і згинальних моментів (M).

3.1. Алгоритм виконання (Guideline)

1. Розрахункова схема: Зобразити балку в масштабі. Замінити розподілене навантаження q рівнодійною $Q_{eq} = q \cdot l$, прикладеною в центрі вантажної ділянки.
2. Визначення реакцій: Скласти рівняння моментів відносно опор $\sum M_A = 0$ та $\sum M_B = 0$. Знайти реакції R_A та R_B . Обов'язково виконати перевірку: $\sum Y = 0$.
3. Метод перерізів: Розбити балку на вантажні ділянки. Ввести локальні координати z_i для кожної ділянки. Скласти аналітичні рівняння $Q(z_i)$ та $M(z_i)$.
4. Обчислення ординат: Підставити граничні значення z_i . Знайти переріз, де еюра Q перетинає нульову вісь ($Q = 0$). У цьому перерізі обчислити екстремальне (максимальне) значення згинального моменту M_{max} .
5. Побудова еюр: Під схемою балки провести базисні лінії. Побудувати еюру Q (прямі лінії) та еюру M (прямі та параболи). Перевірити відповідність побудови диференціальним залежностям Журавського ($dM/dz = Q$).



ЕТАП 2: ПРОЄКТУВАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ПЕРЕРІЗУ (Обсяг: 5 год.)

Завдання: З умови міцності за нормальними напруженнями підібрати два варіанти профілю балки: сталевий двотавр та сталевий швелер. Вибрати раціональний варіант.

4.1. Алгоритм виконання (Guideline)

Визначення небезпечного перерізу: З побудованої еюри M виписати абсолютне максимальне значення згинального моменту $|M_{max}|$ (у кН·м, перевести в Н·мм).

Обчислення допустимого напруження: Задано матеріал — сталь Ст3 (границя плинності $\sigma_T = 240$ МПа). Допустимий коефіцієнт запасу міцності $[n] = 1.5$.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n]} = \frac{240}{1.5} = 160 \text{ МПа}$$

1. Визначення необхідного моменту опору:

$$W_x^{\text{необх}} \geq \frac{|M_{\max}|}{[\sigma]}$$

Робота з сортаментами (ДСТУ/ГОСТ):

За таблицею ГОСТ 8239-89 (ДСТУ 8768) знайти найближчий більший профіль двотавра. Виписати його номер, W_x , J_x , S_x , товщину стінки d , і масу 1 погонного метра ($m_{\text{дв}}$).

За таблицею ГОСТ 8240-97 (ДСТУ 3436) знайти найближчий більший профіль швелера. Виписати його параметри і масу 1 пог. м ($m_{\text{шв}}$).

Оптимізація: Порівняти маси. Профіль з меншою масою є економічно вигіднішим. Зробити обґрунтований інженерний висновок.

РАЦІОНАЛЬНІ ПЕРЕРІЗИ МЕТАЛОПРОКАТУ
(RATIONAL CROSS-SECTIONS OF ROLLED METAL)

ДВАТАВР (I-BEAM)

СТАЛЬ (STEEL)

ШВЕЛЕР (CHANNEL)

ПОТРІБНИЙ МОМЕНТ ОПОРУ
(REQUIRED SECTION MODULUS)
 $W_x \geq 218.75 \text{ см}^3$

СОРТАМЕНТ (SPECIFICATION TABLE)

Номер профілю (Profile Number)	h	b	s	t	A (Площа (Area))	J_x
№24	200	115	5.6	9.5	34.8	289
№24	240	115	5.6	9.5	34.8	289
№24	240	115	5.6	9.5	34.8	289

ВИБРАНО: ДВАТАВР №24
(SELECTED: I-BEAM No. 24)

ЕТАП 3: РОЗРАХУНОК ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ БАЛКИ (Обсяг: 4 год.) Завдання:

Розрахувати кутовий зварний шов, що з'єднує опорну частину підбраної балки з опорною колоною (плитою). Це завдання є специфічним для кваліфікації «Зварювальне виробництво».

5.1. Теоретичний базис для кутових швів Опорна реакція (наприклад, R_A), яка передається від балки на колону, намагається «зрізати» зварний шов. Розрахунок кутових флангових швів ведеться виключно на дотичні напруження (на зріз). Згідно з нормами, руйнування кутового шва відбувається по бісектрисі прямого кута. Розрахункова площа зрізу одного шва:

$$A_w = 0.7 \cdot k \cdot l_w$$

Де k — катет шва (зазвичай дорівнює товщині найтоншої деталі, тобто товщині стінки балки d), l_w — розрахункова довжина шва.

5.2. Алгоритм виконання (Guideline)

Визначити зрізуюче зусилля: Сила, що діє на зварний вузол, дорівнює максимальній опорній реакції R_{max} .

Визначити геометрію шва: Балка приварюється до плити двома фланговими вертикальними швами (з обох боків стінки). Катет шва приймаємо $k=d$ (товщина стінки підібраного двотавра).

Умова міцності зварного з'єднання:

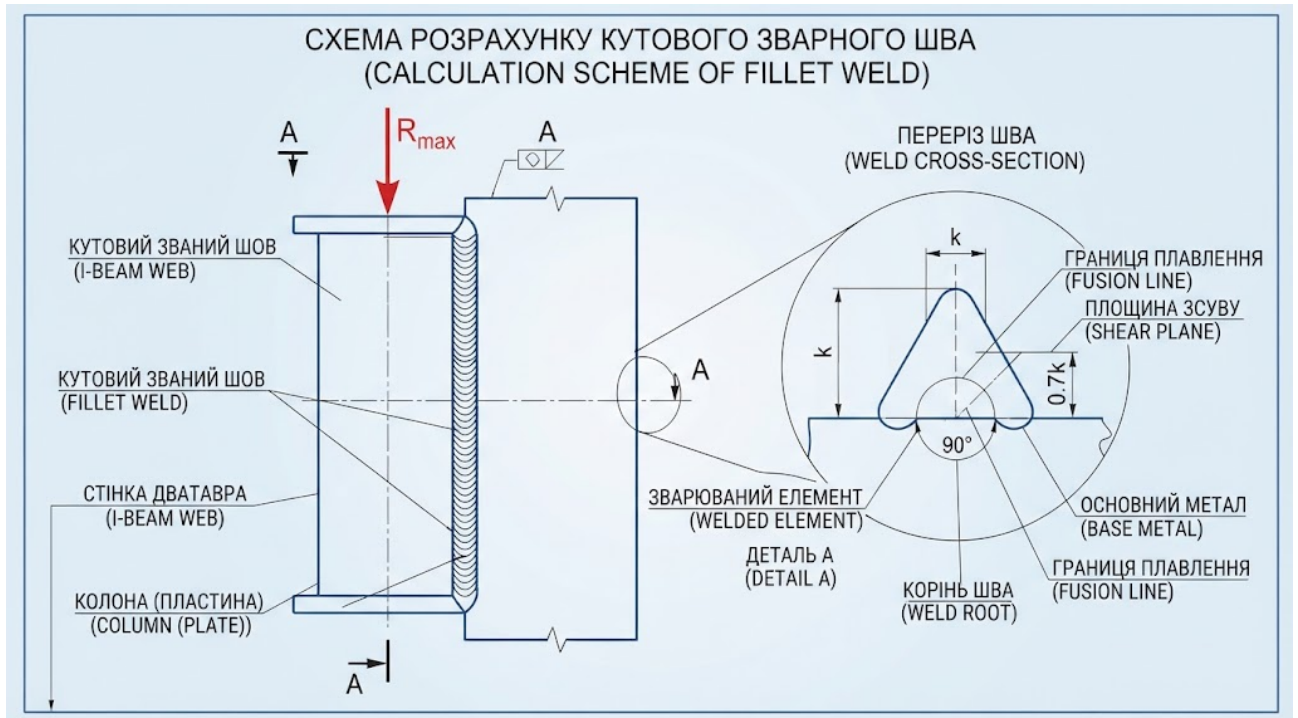
$$\tau_w = \frac{R_{max}}{2 \cdot 0.7 \cdot k \cdot l_w} \leq [\tau']$$

Де $[\tau']$ — допустиме напруження для зварного шва на зріз (приймається $[\tau'] = 0.6 \cdot [\sigma]$).

4. Проектувальний розрахунок шва: Знайти необхідну довжину кожного з двох кутових швів l_w :

$$l_w \geq \frac{R_{max}}{1.4 \cdot k \cdot [\tau']}$$

Додати до знайденої довжини 10 мм (на непровар кратерів шва на початку і в кінці). Зробити висновок, чи поміститься цей шов на висоті балки ($l_w < h_{балки}$).



ЕТАП 4: ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ОФОРМЛЕННЯ (Обсяг: 4 год.) Завдання: Перевірити стінку підбраної балки на зріз за формулою Журавського та оформити звіт.

6.1. Перевірка за формулою Журавського Максимальна поперечна сила $|Q_{max}|$ (визначена з епюри Q) намагається зрізати стінку двотавра на рівні нейтральної осі. Перевірочна умова міцності на дотичні напруження:

$$\tau_{max} = \frac{|Q_{max}| \cdot S_x}{J_x \cdot d} \leq [\tau]$$

Де S_x, J_x, d — геометричні характеристики підбраного двотавра, виписані з ГОСТ. Якщо τ_{max} значно менше за допустиме $[\tau]$ (що типово для довгих балок), зробити висновок, що міцність стінки на зріз повністю забезпечена.

6.2. Вимоги до оформлення РГР №2

Інженерний звіт виконується на аркушах формату A4 з дотриманням рамок за стандартами ЄСКД.

Структура:

Титульний аркуш (затвердженого зразка).

Технічне завдання (вихідні дані за індивідуальним шифром).

Розрахункова схема, епюри Q та M (виконуються строго в масштабі з нанесенням штриховки та значень ординат).

Детальні аналітичні розрахунки до кожного з етапів.

Ескіз опорного зварного вузла із зазначенням довжини та катета шва.

Загальний висновок щодо працездатності спроектованої конструкції.