

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ЗПО «ДІТК»

Олександр СТРИЛЕЦЬ

31.08.2025 р.

ПОГОДЖЕНО

Заступник директора з навчально-методичної роботи ЗПО «ДІТК»

Сергій ГОРДІЄНКО

31.08.2025 р.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС: МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ ОК 20 «ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ»

Рівень освіти: Фахова передвища освіта (ОПС «Фаховий молодший бакалавр»)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія (G Інженерія, виробництво та будівництво)

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: «Зварювальне виробництво» (Welding production)

Загальний обсяг практичних занять: 82 години (41 пара)

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ, МЕТОДОЛОГІЯ ТА ФІЛОСОФІЯ ПРАКТИЧНОГО КУРСУ

Навчальна дисципліна «Виготовлення зварних конструкцій» є вершиною професійної підготовки майбутнього фахівця-зварювальника та інженера-технолога. Практичні заняття з цієї дисципліни становлять безпрецедентну частку аудиторного навантаження — 82 години (понад 73% від загального аудиторного фонду). Цей масштаб не є випадковим: саме на практичних заняттях відбувається трансформація абстрактних теоретичних знань з вищої математики, опору матеріалів, фізики зварювальної дуги та матеріалознавства у жорсткі прикладні навички проєктування, розрахунку та створення технологічної документації промислового зразка.

1.1. Проєктно-орієнтований інженерний підхід (Project-Based Engineering Learning)

Філософія курсу відмовляється від абстрактних задач. Кожне практичне заняття моделює реальне виробниче завдання сучасного конструкторського (КБ) або технологічного бюро. Здобувачі освіти працюють з автентичними вихідними даними: технічними завданнями (ТЗ) на розрахунок навантажень, реальними кресленнями нетехнологічних вузлів, які потребують оптимізації, та оригінальними мануалами до зварювального обладнання. Вивчення кожного з чотирьох магістральних модулів завершується розробкою комплексного міні-проєкту (наприклад, повної маршрутної технологічної карти виготовлення двотаврової балки або створення електронної 3D-моделі просторової кроквяної ферми у CAD-системі з автоматичною генерацією специфікацій).

1.2. Цифровізація та інтеграція комп'ютеризованих систем (САПР)

Сучасне зварювальне виробництво та машинобудування неможливі без глибокої цифровізації. Класичне ручне креслення на ватманах замінено інтенсивною роботою у спеціалізованих комп'ютерних лабораторіях. Виконання розрахунково-графічних робіт (РГР) переведено у площину ліцензійних CAD-систем (SolidWorks з обов'язковим використанням модуля Weldments; AutoCAD; Компас-3D). Здобувачі вчаться створювати електронні твердотільні 3D-збірки, розраховувати масо-інерційні характеристики конструкцій, моделювати зварні шви у просторі та автоматично генерувати двовимірні (2D) робочі креслення з таблицями зварних швів за суворими стандартами ЄСКД та міжнародними нормами ISO.

1.3. Педагогіка, обізнана з травмою (Trauma-Informed Approach) Враховуючи об'єктивні реалії відбудови України у 2025 році та наявність серед здобувачів фахової передвищої освіти значної кількості ветеранів, учасників бойових дій та осіб, які постраждали від наслідків війни, освітнє середовище на практичних заняттях жорстко регламентується принципами психологічної безпеки та екологічної комунікації. Зварювальне виробництво — це сфера підвищеної небезпеки, і вивчення причин руйнування металоконструкцій вимагає особливого такту.

- **Альтернативна валідація знань:** Публічний захист складних розрахунково-технологічних проєктів перед академічною групою (який може слугувати сильним тригером або викликати стрес) за першим запитом здобувача негайно замінюється на індивідуальну, тиху письмову співбесіду з викладачем без жодних штрафних академічних санкцій.
- **Декомпозиція когнітивного навантаження (Scaffolding):** Багатокрокові задачі (наприклад, розрахунок еквівалентних напружень при складному просторовому навантаженні з використанням третьої та четвертої теорій міцності) розбиваються на 4-5 мікроетапів. Викладач здійснює формувальне оцінювання та контролює правильність виконання кожного проміжного кроку, що запобігає накопиченню математичних помилок, фрустрації та емоційному вигоранню студента.
- **Усунення тригерів в аудиторії:** Під час розв'язання задач на втому металу (fatigue failure) та крихке руйнування масштабних конструкцій (наприклад, мостових прогонів чи резервуарів високого тиску) суворо забороняється використання реалістичних фото- чи відеоматеріалів техногенних катастроф із людськими жертвами. Академічний акцент робиться виключно на фізико-механічних причинах руйнування: аналізі епюр напружень, вивченні макрошліфів тріщин, впливі водневого окрихчення та наявності концентраторів напружень.

2. СТРУКТУРА ТИПОВОГО ПРАКТИЧНОГО ЗАНЯТТЯ (АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ)

Для забезпечення максимальної дидактичної ефективності та раціонального використання часу кожне двогодинне практичне заняття (пара) будується за уніфікованим, жорстким алгоритмом.

1. Engineering Briefing / Інженерний інструктаж (10 хв):

Постановка технічного завдання (ТЗ). Викладач, виступаючи в ролі головного інженера, озвучує виробничу проблему. Наприклад: *"Перед нами завдання: розрахувати необхідну довжину флангових швів для кріплення опорної консолі цехового крана, що витримує динамічне навантаження 150 кН. Конструкція працюватиме при температурі -20°C"*. Відбувається колективний аналіз вихідних даних.

2. Methodology & Data Search / Аналітичний етап (15 хв): Самостійна робота здобувачів з нормативними документами. Студенти використовують електронні довідники для визначення допустимих напружень $[\sigma]$ та $[\tau]$ за нормами ДБН чи СНиП, обирають коефіцієнти умов роботи (γ_c) та коефіцієнти надійності за матеріалом (γ_m) залежно від марки сталі (наприклад, 09Г2С).

3. Core Calculation / Проєктно-розрахунковий етап (40 хв):

Основний етап заняття. Здобувачі індивідуально виконують математичні розрахунки на міцність, будують епюри поздовжніх (N) та поперечних (Q) сил, розраховують згинальні моменти (M). На заняттях з технологічного проєктування цей час присвячується 3D-моделюванню вузла в CAD-системі або заповненню маршрутних і операційних технологічних карт виготовлення.

4. Verification & Troubleshooting / Верифікація та пошук помилок (15 хв):

Взаємоперевірка результатів у парах або малих робочих групах (Peer Review). Виявлення та аналіз типових помилок (наприклад, неправильно визначений момент опору перерізу шва

\$W_{ш}\$, або помилка у конвертації одиниць вимірювання МПа у кгс/мм²). Викладач проводить швидку корекцію (troubleshooting).

5. Wrap-up & Reporting / Захист результатів та рефлексія (10 хв):

Захист отриманих інженерних рішень. Оформлення висновку до практичної роботи у зошиті або електронному звіті. Видача домашнього завдання для самостійної роботи (СРС).

3. РОЗГОРНУТИЙ ПОУРОЧНИЙ РОЗПИС ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ (82 ГОДИНИ / 41 ПАРА)

Даний розділ містить вичерпний покроковий опис кожного практичного заняття протягом усього семестру.

МОДУЛЬ 1. Теоретичні основи проєктування та розрахунку зварних з'єднань (20 годин / 10 пар)

Мета модуля: Сформувати міцні навички просторового читання складних машинобудівних креслень, вибору адекватних розрахункових схем та виконання перевірочних і проєктних розрахунків типових зварних з'єднань на статичну та динамічну міцність.

• Практичні 1-2 (4 години). Читання та виконання креслень зварних вузлів. Умовні позначення зварних швів.

○ *Мета:* Навчитися вільно декодувати інформацію, закладену конструктором у креслення.

○ *Завдання:* Здобувачі отримують індивідуальні варіанти машинобудівних робочих креслень складних зварних просторових вузлів (наприклад, вузол кріплення щогли, опорна плита колони).

○ *Алгоритм роботи:* Розшифрувати позначення усіх зварних швів на кресленні згідно з жорсткими вимогами національного стандарту ДСТУ та міжнародного ISO 2553. Здобувач повинен визначити за буквено-цифровим кодом: тип з'єднання (С — стикове, У — кутове, Т — таврове, Н — напусткове), форму підготовки кромок (без скосу, V-подібна, Х-подібна, U-подібна), катет шва (\$K\$), метод зварювання (ручне дугове, напівавтоматичне в захисних газах, під флюсом), наявність підкладок або специфічні вимоги до механічного зняття підсилення шва (зачищення врівень з основним металом).

○ *Результат:* Заповнена таблиця розшифровки креслення. Формування ескізу з'єднання в розрізі.

• Практичні 3-4 (4 години). Розрахунок стикових і кутових швів на статичну міцність (розтяг, стиск, зсув).

○ *Мета:* Опанування базового математичного апарату розрахунку міцності нероз'ємних з'єднань.

○ *Завдання:* Вирішення циклу з 4-5 інженерних перевірочних та проєктних задач.

○ *Алгоритм роботи:*

1. **Стикові з'єднання:** Розрахунок стикового шва сталевий штаби на центральний розтяг. Формула: $\sigma = N / (S \cdot L) \leq [\sigma]_{p}$. Здобувач визначає розрахункову товщину S та розрахункову довжину L (з урахуванням непровару кратерів).

2. **Кутові з'єднання:** Розрахунок лобових і флангових швів напусткового з'єднання на зріз (зсув). Здобувач використовує формулу $\tau = N / (0.7 \cdot K \cdot L) \leq [\tau]$, де $0.7 \cdot K$ — розрахункова товщина шва по бісектрисі прямого кута.

3. **Проєктна задача:** За заданим навантаженням $N = 250$ кН та відомим катетом $K = 8$ мм, розрахувати необхідну довжину L флангових швів для надійного кріплення косинки до основної металоконструкції.

○ *Результат:* Зошит з детально розписаними рішеннями задач та висновками щодо забезпечення або незабезпечення умови міцності.

• **Практичні 5-6 (4 години). Розрахунок таврових та напусткових з'єднань при дії згину, кручення та складних навантажень. Побудова епюр.**

○ *Мета:* Навчитися аналізувати складний напружено-деформований стан (СНДС) у зварних вузлах.

○ *Завдання:* Розрахунок зварного вузла консольної балки (таврового перерізу), жорстко привареної до вертикальної стіни кутовими швами по контуру, що зазнає одночасної складної дії згинального моменту M , поперечної перерізуючої сили Q та поздовжньої сили N .

○ *Алгоритм роботи:*

1. Визначення геометричних характеристик перерізу зварних швів: площі перерізу $F_{ш}$, моменту опору $W_{ш}$ та моменту інерції $I_{ш}$.

2. Розрахунок нормальних напружень (σ) від згинального моменту та поздовжньої сили.

3. Розрахунок дотичних напружень (τ) від поперечної сили та крутного моменту.

4. Графічна побудова епюр розподілу нормальних та дотичних напружень по висоті шва.

5. Використання енергетичної теорії міцності (Губера-Мізеса-Генкі) для знаходження еквівалентного напруження: $\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$.

○ *Результат:* Повноцінний інженерний розрахунок з графічними епюрами, що імітує роботу в КБ.

• **Практичні 7-8 (4 години). Розрахунок з'єднань на витривалість. Динамічні навантаження. Концентратори напружень.**

○ *Мета:* Зрозуміти фізику втоми металу та навчитися проєктувати конструкції, стійкі до циклічних навантажень.

○ *Завдання:* Перевірка міцності стикового та напусткового з'єднання, що працює в умовах асиметричного знакозмінного циклу навантаження (наприклад, елемент рами вагона або мостового крана).

○ *Алгоритм роботи:*

1. Визначення максимального ($P_{\max}$) та мінімального ($P_{\min}$) навантаження циклу.

2. Розрахунок амплітуди напружень (σ_a) та середнього напруження циклу (σ_m).

3. Визначення ефективного коефіцієнта концентрації напружень K_{σ} за таблицями залежно від типу з'єднання (для стикового шва з плавним переходом K_{σ} малий, для напусткового з лобовими швами — K_{σ} високий).

4. Розрахунок коефіцієнта запасу міцності за витривалістю (n).

○ *Результат:* Висновок про довговічність вузла та письмові пропозиції щодо технологічних методів підвищення віброміцності (аргонодугове оплавлення країв шва, механічне шліфування переходів).

• **Практичні 9-10 (4 години). Модульний контроль №1 та розбір складних інженерних задач.**

○ *Завдання:* Комп'ютерне тестування (в LMS Moodle) з теоретичних питань Модуля 1 та виконання індивідуальної комплексної контрольної розрахункової задачі на перевірку міцності просторового зварного вузла. Аналіз помилок та рефлексія.

МОДУЛЬ 2. Технологічність зварних конструкцій та зварювальні напруження і деформації (20 годин / 10 пар)

Мета модуля: Навчити здобувачів оцінювати конструкцію з точки зору економічної та технологічної доцільності її виготовлення; розуміти фізику термодформаційних циклів та володіти методами розрахунку і запобігання зварювальним деформаціям.

• **Практичні 11-12 (4 години). Аналіз технологічності зварної конструкції. Підбір матеріалів.**

○ *Мета:* Сформувати критичне мислення щодо ефективності конструювання.
○ *Завдання:* Здобувачам надається креслення свідомо "нетехнологічного" зварного вузла (із важкодоступними для зварювального пальника або автомата швами, перетином швів в одній точці у просторі, надмірним об'ємом наплавленого металу, що веде до перевитрат, використанням дефіцитних профілів).

○ *Алгоритм роботи:*

1. Провести аудит креслення та виявити всі конструктивні вади.
2. Внести конструктивні зміни в ескіз для підвищення технологічності (заміна складеного перерізу на стандартний прокатний, рознесення швів для уникнення тривісного напруженого стану).
3. Підбір оптимальних зварювальних матеріалів. Залежно від заданої марки основної низьколегованої сталі (наприклад, 09Г2С), підібрати марку зварювального дроту (напр., Св-08Г2С), тип флюсу (АН-348А) або склад захисного газу ($\text{\$Ag+CO}_2\text{\$}$), спираючись на хімічний склад металу та довідникові дані. Визначення еквівалента вуглецю ($\text{\$C}_{\text{\$}}$) для оцінки зварюваності.

○ *Результат:* Захист оптимізованого креслення та специфікації матеріалів.

• **Практичні 13-14 (4 години). Розрахунок поздовжньої та поперечної усадки, визначення кутових деформацій.**

○ *Мета:* Опанувати аналітичні методи прогнозування деформацій до початку реального зварювання.

○ *Завдання:* Розрахунок зміни розмірів конструкції після охолодження.

○ *Алгоритм роботи:*

1. Використовуючи емпіричні формули (наприклад, формули Океробом), визначити величину поздовжньої (вздовж осі шва) та поперечної усадки (в міліметрах) при автоматичному зварюванні під флюсом стикового з'єднання сталевих листів відомої товщини та довжини.
2. Розрахунок кутової деформації (так званої "грибоподібності"). При одnobічному наплавленні валика на плоску пластину або при зварюванні таврового з'єднання (приварювання стінки балки до пояса), нерівномірне нагрівання по товщині викликає кутовий вигин. Здобувачі розраховують стрілу прогину.

○ *Результат:* Знаходження фактичних розмірів конструкції після зварювання та визначення припусків на усадку при розкрої металу.

• **Практичні 15-16 (4 години). Проєктування послідовності накладання швів для зниження деформацій.**

○ *Мета:* Навчитися застосовувати технологічні методи боротьби з викривленням просторових конструкцій.

○ *Завдання:* Розробити графічну карту (схему) просторової та часової послідовності зварювання складної конструкції (наприклад, великогабаритного листового настилу мостового прогону розміром 10x10 метрів з сіткою поздовжніх та поперечних ребер жорсткості).

○ *Алгоритм роботи:*

1. Якщо зварювати шви підряд від одного краю до іншого, настил неминуче вигнеться "шаблею" та піде "хвилями". Здобувачі розробляють оптимальний маршрут.

2. Використання методу "розбиття на карти", методу зварювання "від жорсткого вузла до вільних країв", застосування зворотно-ступінчастого методу (накладання коротких швів у напрямку, зворотному до загального напрямку зварювання) та каскаду для товстолистових конструкцій.

○ *Результат:* Технологічна схема накладання швів з нумерацією послідовності та стрілками напрямків зварювання.

• **Практичні 17-18 (4 години). Призначення режимів термічної обробки для зварних вузлів.**

○ *Мета:* Опанувати методи зняття залишкових макронапружень у металоконструкціях (станах верстатів, пресів), які підлягають подальшій точній механічній обробці (фрезеруванню направляючих).

○ *Завдання:* Призначити оптимальний режим термічної обробки (загальний високий відпуск) для відповідальної зварної посудини під тиском (марка сталі 12Х1МФ).

○ *Алгоритм роботи:* Робота з діаграмами стану залізо-вуглець та графіками термодинамічного розпаду аустеніту. Визначення допустимої швидкості нагрівання (градусів на годину) залежно від максимальної товщини стінки виробу. Визначення температури витримки (наприклад, $600-650^{\circ}\text{C}$). Розрахунок часу витримки при заданій температурі для повної релаксації напружень. Визначення безпечної швидкості охолодження (разом з пічкою до 300°C , далі на спокійному повітрі).

○ *Результат:* Графік термічної обробки (вісь XY — час, вісь Y — температура) із зазначенням усіх критичних параметрів.

• **Практичні 19-20 (4 години). Модульний контроль №2. Захист розрахунково-технологічних рішень.**

○ *Завдання:* Тестування в LMS та публічний (або індивідуальний письмовий) захист розроблених схем накладання швів та графіків термообробки з обґрунтуванням економічної доцільності (наприклад, порівняння витрат на термообробку в печі з витратами на вібраційну обробку VSR).

МОДУЛЬ 3. Технологія виготовлення типових зварних конструкцій (22 години / 11 пар)

Мета модуля: Це наймасштабніший прикладний модуль курсу. Мета — навчити здобувачів розробляти покрокові, деталізовані технологічні процеси (маршрути) виготовлення найпоширеніших у промисловості зварних конструкцій (балок, ферм, резервуарів), обираючи раціональні методи збирання, зварювання та контролю.

• **Практичні 21-24 (8 годин). Розробка технологічного процесу складання та зварювання двотаврової балки.**

○ *Мета:* Опанування повного циклу створення суцільностінної балочної конструкції.

○ *Завдання:* Розробка повного операційного технологічного процесу виготовлення зварної суцільностінної двотаврової балки довжиною 12 м для мостового крана.

○ *Алгоритм роботи (Складання технологічного маршруту):*

1. **Заготівельні операції:** Розкрій металу для поясів і стінки (вибір: гільйотинні ножиці чи портална машина термічного різання). Фрезерування торців під стикування (якщо балка зварюється з кількох частин по довжині). Опис правки листового прокату на багатовалкових листопрямуючих машинах.

2. **Складання:** Опис складання на стелажі (ручний метод за допомогою струбцин і фіксаторів) або у високопродуктивних спеціалізованих стендах. Встановлення прихваток.

3. **Зварювання поясних швів:** Вибір методу — автоматичне зварювання під шаром флюсу (SAW) зварювальним трактором. Розрахунок та призначення оптимальних режимів зварювання (сила струму $I_{\text{зв}}$, напруга дуги $U_{\text{д}}$, швидкість зварювання

\$V_{\{зв\}}\$, діаметр і швидкість подачі дроту). Вибір позиції зварювання ("у човник" для глибокого провару або "в кут" похилим електродом). Застосування кантувачів ланцюгового типу для перевертання важкої балки.

4. **Виправлення деформацій:** Опис процесу виправлення грибоподібності полиць балки (наслідок кутових зварювальних деформацій) на правильних вальцях. Приварювання опорних ребер жорсткості напівавтоматом (MIG/MAG).

○ *Результат:* Заповнена стандартизована маршрутна технологічна карта з переліком усіх операцій, обладнання та режимів.

• **Практичні 25-27 (6 годин). Проектування та розробка технологічної карти виготовлення кроквяної ферми.**

○ *Мета:* Засвоєння специфіки роботи з ґратчастими конструкціями, де домінують кутові шви та високі вимоги до точності геометрії вузлів.

○ *Завдання:* Розробити технологію складання та зварювання сталеві кроквяної ферми покриття промислової будівлі (проліт 24 м), виготовленої з парних куточків.

○ *Алгоритм роботи:*

1. Вибір раціонального способу складання: за розміткою на плазі (для одиничного виробництва), за копіром, або в універсальному складальному кондукторі з пневмопритисками (для серійного виробництва).

2. Конструювання та розрахунок вузлів ферми. Визначення форми та розмірів фасонки (косинки). Аналітичний розрахунок необхідної довжини кутових швів кріплення розкосів та стійок до фасонки по обуху та по перу куточка, виходячи з розрахункових зусиль у стрижнях ферми (стиск/розтяг).

3. Визначення правильної просторової послідовності зварювання вузлів ферми. Складання технологічної схеми, де вказано порядок виконання швів для зменшення загальної усадки конструкції та запобігання втраті заданого будівельного підйому (вигину ферми вгору).

○ *Результат:* Ескізи вузлів ферми з розрахованими швами та операційна карта складання-зварювання.

• **Практичні 28-30 (6 годин). Особливості виготовлення резервуарів. Розрахунки на міцність та рулонний метод.**

○ *Мета:* Вивчення технології виготовлення критично відповідальних оболонкових конструкцій, що працюють під тиском.

○ *Завдання:* Розрахувати параметри та розробити технологічну схему виготовлення вертикального циліндричного резервуара (РВС) для зберігання нафтопродуктів.

○ *Алгоритм роботи:*

1. **Інженерний розрахунок:** Виконання розрахунків на міцність. Визначення необхідної товщини стінки циліндричного резервуара на різних поясах (знизу тиск рідини більший) та товщини його сферичного або еліптичного днища, що працюють під заданим високим внутрішнім тиском (застосування котельної формули).

2. **Метод полістового складання:** Опис традиційного методу. Вальцювання листів (обичайок), складання на роликівих стендах, автоматичне зварювання поздовжніх та кільцевих стикових швів.

3. **Рулонний метод:** Детальний опис інноваційного рулонного методу (метод Патона). Розкладка листів на заводському двоярусному стані, автоматичне зварювання полотнищ з окремих листів під флюсом, 100% неруйнівний контроль (УЗД, рентген), згортання готового стінового полотнища в рулон на спеціальний каркас. Опис процесу розгортання рулону на будівельному майданчику за допомогою тракторів та зварювання монтажного вертикального замикаючого шва напівавтоматичним зварюванням у захисних газах (MAG) з використанням порошкового дроту.

- *Результат:* Пояснювальна записка з розрахунками на міцність та графічними схемами рулонного методу монтажу.

- **Практичні 31 (2 години). Аналіз технологічних схем виготовлення важких рамних та корпусних конструкцій.**

- *Завдання:* Ознайомлення з технологією виготовлення масивних станин пресів та корпусів суднових редукторів з товстолистової сталі (товщина 50-150 мм). Огляд застосування електрошлакового зварювання (ЕШЗ) для однопрохідного з'єднання металу великої товщини. Обов'язковість термічної обробки (відпуску) після зварювання для зняття напружень перед механічною обробкою напрямних.

МОДУЛЬ 4. Організація виробництва, автоматизація, САПР та контроль якості (20 годин / 10 пар)

Мета модуля: Навчити здобувачів використовувати сучасні комп'ютеризовані системи проєктування (CAD/CAM/CAE), підбирати ефективне засоби комплексної механізації (кондуктори, маніпулятори, роботи) та застосовувати адекватні методи неруйнівного контролю (NDT) для гарантування якості зварних конструкцій.

- **Практичні 32-35 (8 годин). Робота в CAD-системах: 3D-моделювання зварного вузла.**

- *Мета:* Формування практичних цифрових навичок (Digital Skills) інженера-конструктора. Робота проводиться у спеціалізованому комп'ютерному класі.

- *Завдання:* Створення повної електронної моделі просторового зварного вузла (наприклад, трубчастої рами багі, опори трубопроводу або фермової конструкції) у середовищі SolidWorks (з використанням модуля Weldments) або AutoCAD / Autodesk Inventor.

- *Алгоритм роботи:*

1. Побудова 3D-ескізу каркаса (скелета) конструкції.
2. Призначення профілів стандартизованого металопрокату (труби квадратного чи круглого перерізу, швелери) на відрізки ескізу з використанням бібліотек профілів.
3. Автоматичне відсікання та підганяння кутів сполучення профілів (Trimming/Extending).
4. Візуалізація та генерація 3D-моделей зварних швів (Weld bead) із заданням їх геометричних параметрів (катет, довжина, тип).
5. Визначення точної маси і центру тяжіння готової металоконструкції за допомогою інструментів CAD-системи.
6. Автоматична генерація 2D-креслення з електронної 3D-моделі з автоматичним створенням специфікації (Cut list) та таблиці зварних швів за стандартами ЄСКД.

- *Результат:* Роздруковане або збережене в PDF 2D робоче креслення зварної конструкції зі специфікацією та 3D-візуалізацією, готове до видачі у виробництво.

- **Практичні 36-38 (6 годин). Вибір засобів механізації та автоматизації. Проєктування оснащення.**

- *Мета:* Навчитися оптимізувати складально-зварювальний процес за допомогою сучасного обладнання.

- *Завдання:* Здобувачам надається креслення масогабаритної деталі складної форми (наприклад, рама кар'єрного екскаватора або балка мостового крана вагою понад 5 тонн). Необхідно підібрати обладнання для маніпулювання виробом.

- *Алгоритм роботи:*

1. Вивчення технічних каталогів виробників зварювального обладнання та оснащення.

2. Підбір стандартного зварювального маніпулятора, позиціонера (з поворотною і нахильною планшайбою) або двостійкового кантувача за необхідною вантажопідйомністю, обертовим та перекидним моментом. Це дозволить зварювальнику накладати всі шви в оптимальному "нижньому" положенні (в човник).

3. Проектування: скласти ескіз (кінематичну схему) спеціалізованого складального пристрою (кондуктора). Зобразити базові поверхні, упори та затискні елементи (механічні струбцини, пневматичні або гідравлічні циліндри-фіксатори) для забезпечення жорсткої фіксації деталей та ідеальної співвісності труб перед зварюванням неповоротного стику.

4. Основи робототехніки: коротке ознайомлення з інтеграцією промислових роботів (Робототехнічні комплекси - РТК) у лінію.

○ *Результат:* Ескізи складального оснащення та специфікація обраного маніпулятора з обґрунтуванням його вантажопідйомності.

• **Практичні 39-41 (6 годин). Основи контролю якості (NDT). Захист технологічних проєктів.**

○ *Мета:* Засвоїти методи неруйнівного контролю (Non-Destructive Testing) для виявлення дефектів зварних з'єднань та підбити підсумки семестру.

○ *Завдання 1 (Контроль якості):* Розгляд та аналіз автентичних дефектограм ультразвукової дефектоскопії (УЗД) та радіографічних (рентгенівських) знімків реальних зварних швів.

○ *Алгоритм:* За характером зображення на рентгенівській плівці (темні плями, смуги) або за формою луна-сигналу на екрані УЗ-дефектоскопа визначити тип виявленого дефекту (газова пора, тріщина, шлакове включення, непровар кореня шва, підріз). Використовуючи нормативи ДСТУ EN ISO 5817, визначити допустимість знайденого дефекту для конструкцій певного класу відповідальності (наприклад, для посудин під тиском). Огляд капілярного (кольорового) та магнітопорошкового методів для виявлення поверхневих мікротріщин.

○ *Завдання 2 (Захист):* Фінальний етап курсу — комплексний захист розробленого (протягом Модуля 3 та 4) технологічного процесу виготовлення конструкції. Здобувач проводить презентацію перед академічною групою (або індивідуально викладачу за правилом Opt-out) з глибоким інженерним обґрунтуванням прийнятих технологічних, конструктивних, економічних рішень та вибору методів контролю якості.

○ *Результат:* Атестація здобувача, виставлення підсумкових балів за поточну роботу. Допуск до екзамену.

4. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ (СРС)

Самостійна робота є обов'язковим, критично важливим компонентом підготовки фахового молодшого бакалавра. Загальний обсяг СРС становить 38 годин (понад 21% загального обсягу курсу). Вона спрямована на поглиблення теоретичних знань, опрацювання великих масивів нормативної бази (ДСТУ, ISO, СНіП) та розвиток навичок автономної інженерної та дослідницької діяльності. Результати СРС оформлюються у вигляді розгорнутих технічних звітів, рефератів, мультимедійних презентацій та індивідуальних розрахунково-пояснювальних записок. Виконання СРС регулярно оцінюється викладачем у системі накопичувальних балів (максимум 10 балів за семестр).

Зміст СРС за магістральними доменами:

• **СРС 1 (10 годин): Опрацювання нормативної бази та стандартів.** Здобувач здійснює самостійний пошук та глибокий аналіз чинної національної (ДСТУ, ДБН В.2.6-198:2014) та європейської (Eurocode 3) нормативної літератури, щоб навчитися правильно обирати значення допустимих напружень $[\sigma]$ та $[\tau]$ при розрахунках на статичні та змінні навантаження. Необхідно дослідити вплив умов експлуатації конструкції (дія мінусових

температур до -40°C, сейсмічність регіону, агресивність хімічного середовища) на вибір коефіцієнтів надійності та запасу міцності. Складання зведеної довідкової таблиці для різних марок сталей.

- **СРС 2 (10 годин): Інноваційні методи зняття залишкових напружень (VSR).**

Сучасне машинобудування відходить від енергозатратних печей. Завдання: розробка розгорнутої ілюстрованої презентації або наукового реферату на тему: «Сучасне комп'ютеризоване обладнання для вібраційного зняття залишкових зварювальних напружень (VSR - Vibratory Stress Relief) як екологічна та енергоефективна альтернатива термічній обробці». Здобувач повинен навести порівняльний аналіз економічної (вартість газу/електроенергії) та часової ефективності вібраційної обробки важких зварних станин безпосередньо в цеху порівняно з високотемпературним відпуском у великогабаритних газових печах.

- **СРС 3 (10 годин): Технологія зварювання та виготовлення конструкцій зі спеціальних сплавів.** Самостійне детальне опрацювання специфіки та технологічних складнощів виготовлення зварних конструкцій (резервуарів, авіаційних рам) з алюмінієвих сплавів (наприклад, АМг6), титанових сплавів та високоміцних броньових сталей. Аналіз особливостей попередньої підготовки кромки (хімічне травлення, шабрування для видалення оксидної плівки), жорстких вимог до захисного середовища (застосування аргону та гелію найвищої чистоти), методів запобігання водневій пористості та тугоплавким оксидним включенням.

- **СРС 4 (8 годин): Економічне нормування та розрахунок техніко-економічних показників.**

Виконання індивідуального комплексного економічного розрахунку для розробленого раніше на практичних заняттях технологічного процесу (наприклад, виготовлення партії двотаврових балок). Здобувач повинен визначити:

1. Загальну масу наплавленого металу.
2. Провести технічне нормування витрат зварювальних матеріалів: розрахувати необхідну кількість електродів, зварювального дроту та флюсу, з урахуванням коефіцієнтів втрат на розбризкування, недогарки та чад.
3. Розрахувати витрати електроенергії на роботу зварювальних постів.
4. Визначити основну (технологічну) норму часу на виконання всіх зварювальних операцій (\$T_{\text{о\\$}}\$) для розрахунку заробітної плати робітників та оцінки загальної собівартості продукції.

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ: ЯК УСПІШНО ПРОЙТИ ПРАКТИЧНИЙ КУРС

Для успішного виконання завдань, розрахунково-графічних робіт (РГР) та складання підсумкового екзамену з дисципліни «Виготовлення зварних конструкцій», здобувачам фахової передвищої освіти настійно рекомендується дотримуватися наступних стратегій:

1. **Не ігноруйте базові розрахунки.** Практична механіка не пробачає математичних помилок. Перед виконанням РГР з розрахунку на міцність, обов'язково повторіть побудову епюр згинальних моментів та перерізуючих сил з дисципліни «Технічна механіка». Вивчіть напам'ять формулу розрахунку еквівалентних напружень за четвертою теорією міцності:
$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$
.

2. **Опануйте САД-системи на базовому рівні.** Сучасний конструктор не креслить олівцем. Попередньо ознайомтеся з базовим інструментарієм SolidWorks (зокрема інструментом «Weldments / Зварні деталі») або AutoCAD. Можливість візуалізувати просторову конструкцію в 3D значно полегшить вам розуміння того, де виникають критичні напруження та деформації.

3. **Мислите як технолог.** Розробляючи маршрутну технологічну карту, завжди запитуйте себе: "Чи зможе зварювальник фізично дістатися пальником до цього шва?", "Як ми будемо перевертати цю 5-тонну балку в цеху?", "Чи не поведе цю раму після зварювання так, що ми не зможемо відфрезерувати площину?". Обирайте найбільш економічні та автоматизовані методи (наприклад, зварювання під флюсом завжди продуктивніше за ручне дугове для довгих прямих швів).

4. **Користуйтеся довідниками, а не штучним інтелектом.** ChatGPT може написати гарний текст, але він часто помиляється у виборі специфічних інженерних коефіцієнтів або маркуванні українських сталей за ДСТУ. Вчіться працювати з офіційною нормативною базою, «Довідником зварника» та таблицями допустимих напружень. Це ваша головна зброя на екзамені.

5. **Пам'ятайте про свої права (Trauma-Informed Approach).** Практичний курс є інтенсивним і вимагає високої концентрації. Якщо ви відчуваєте вигорання, стрес від публічного захисту проєкту або маєте об'єктивні життєві обставини (служба, лікування, блекаути), які заважають вчасно здати розрахункову роботу — негайно повідомте про це викладача. Вам буде надано індивідуальну пролонгацію дедлайну або альтернативний письмовий варіант захисту без жодного зниження рейтингових балів. Освітнє середовище коледжу працює на вашу підтримку, а не на покарання.

6. АКАДЕМІЧНИЙ РУБРИКАТОР ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ НА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТТЯХ

Оцінювання роботи здобувача на практичних заняттях становить основу поточного контролю (максимум 40 балів з 70 можливих за семестр). За кожне з 41 практичного заняття здобувач може отримати відповідну частку балів залежно від якості виконання інженерного завдання.

Критерії оцінювання (Assessment Rubric):

- **Високий експертний рівень (відмінно):**

- Здобувач працює абсолютно самостійно.
- Математичні розрахунки на міцність, витривалість та деформації виконані безпомилково, з правильним вибором коефіцієнтів з довідників. Епюри напружень побудовані ідеально.
- У CAD-системі (SolidWorks/AutoCAD) створено технологічно бездоганну 3D-модель зварної збірки; автоматично згенероване 2D креслення повністю відповідає нормам ЄСКД та ISO (маркування швів, розміри, специфікація).
- При розробці технологічних карт здобувач здатен логічно та аргументовано обґрунтувати вибір зварювального обладнання, спеціального оснащення (кантувачів, кондукторів) та оптимальних режимів зварювання. Економічне мислення присутнє.

- **Достатній рівень (добре):**

- Здобувач впевнено володіє алгоритмом проєктування та розуміє сутність технологічних процесів виготовлення металоконструкцій.
- Розрахунково-графічні роботи (РГР) виконані в цілому вірно, проте наявні незначні арифметичні помилки у розрахунках або дрібні стилістичні недоліки в умовному маркуванні зварних швів на кресленнях.
- Здобувач вміє працювати з електронними довідниками та нормативною базою, але іноді потребує консультації викладача для вибору складного технологічного рішення. Технологічна карта заповнена правильно.

- **Пороговий рівень (задовільно):**

- Знання носять виключно репродуктивний характер (робота за шаблоном).

- Здобувач допускає суттєві концептуальні помилки у формулах розрахунку на міцність або неправильно будує епюри сил, які потребують прямого коригування та підказок викладача.

- Зазнає значних труднощів при самостійному розробленні логічної маршрутної карти або вкрай слабо орієнтується в інтерфейсі CAD-програм (не може змодельовати зварний шов або згенерувати специфікацію).

- **Низький рівень (незадовільно):**

- Фахові інженерні компетенції абсолютно не сформовані.

- Здобувач не здатний виконати базовий елементарний розрахунок прямого стикового з'єднання на простий розтяг. Не вміє читати прості машинобудівні креслення зварних вузлів.

- Повна відмова від виконання роботи в комп'ютерному класі. Робота з програмним забезпеченням відсутня. Присутній доведений факт плагіату чужої розрахункової роботи або сліпого копіювання текстів, згенерованих ШІ. Робота оцінюється у 0 балів і вимагає повного перепрацювання з новими вихідними даними.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Вивчення дисципліни «Виготовлення зварних конструкцій» передбачає інтенсивну роботу в спеціалізованих аудиторіях, комп'ютерних лабораторіях CAD-проектування та, за необхідності демонстрації процесів, у зварювальних майстернях. Здобувачі зобов'язані беззаперечно дотримуватися правил безпеки життєдіяльності та охорони праці (HSE - Health, Safety, and Environment).

1. Правила роботи в комп'ютерних лабораторіях (CAD-класах):

- Суворо забороняється самостійно вмикати/вимикати живлення серверів, втручатися в апаратну частину ПК, підключати сторонні носії інформації (флеш-накопичувачі) без дозволу викладача (для запобігання зараженню мережі шкідливим ПЗ).

- Забороняється змінювати системні налаштування ліцензійних програм (SolidWorks, AutoCAD).

- При виявленні запаху горілої ізоляції, іскріння розеток або нестабільної роботи монітора, здобувач зобов'язаний негайно припинити роботу, відійти від робочого місця та повідомити викладача.

2. Правила безпеки при відвідуванні зварювальних майстерень (для демонстрації технологій):

- Допуск у майстерню дозволяється виключно в спецодязі (бавовняний костюм, закрите шкіряне взуття). Категорично заборонено використання синтетичного одягу, який може спалахнути від іскор.

- Для захисту очей від ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання зварювальної дуги, спостереження за процесом зварювання дозволяється **виключно** через спеціальні захисні світлофільтри (зварювальні маски типу "Хамелеон" або ручні щитки). Дивитися на відкриту дугу незахищеними очима суворо заборонено (загроза електроофтальмії).

- У майстерні обов'язкове використання засобів індивідуального захисту слуху (беруші, навушники) під час роботи кутових шліфувальних машин (болгарок) та пневматичного інструменту.

- Забороняється торкатися зварених деталей голими руками, оскільки вони довго зберігають високу температуру (загроза важких термічних опіків). Для переміщення гарячих деталей слід використовувати спеціальні щипці (кліщі) та вогнетривкі краги.

- Перебуваючи в зоні роботи складально-зварювального оснащення (кондукторів з пневмопритисками, кантувачів, маніпуляторів) та промислових роботів, суворо дотримуватися безпечної дистанції. Забороняється поміщати руки в робочу зону механізмів, що рухаються (загроза важких механічних травм, ампутації).
- Порушення правил техніки безпеки веде до негайного відсторонення здобувача від практичних занять з відповідними адміністративними наслідками.