

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 ПОСІБНИК ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ (СРС)
З ДИСЦИПЛІНИ ОК 20 «ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ»**

Рівень освіти: Фахова передвища освіта (ОПС «Фаховий молодший бакалавр») **Галузь знань:** 13 Механічна інженерія (Г Інженерія, виробництво та будівництво) **Спеціальність:** 131 Прикладна механіка **Освітньо-професійна програма:** «Зварювальне виробництво» (Welding production) **Загальний обсяг СРС:** 38 годин (відповідно до навчального плану 2025 року)

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ, МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ПСИХОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СРС

Самостійна робота здобувача освіти (СРС) з профільною дисципліною «Виготовлення зварних конструкцій» є фундаментальним компонентом освітнього процесу, спрямованим на формування глибокої епістемологічної автономії, дослідницьких навичок та інженерного мислення майбутнього фахівця-технолога. В умовах інтенсивного оновлення нормативної бази України (переходу від застарілих ГОСТ/СНіП до європейських стандартів Eurocode та ISO) та стрімкого розвитку автоматизованих зварювальних технологій, здатність фахівця самостійно знаходити, аналізувати та впроваджувати нову технічну інформацію стає критичним фактором його конкурентоспроможності на ринку праці.

Загальний обсяг самостійної роботи становить 38 годин, що вимагає від здобувача фахової передвищої освіти високого рівня самоорганізації та відповідальності. СРС логічно доповнює лекційний (30 годин) та практичний (82 години) курси, дозволяючи розширити межі пізнання у вузькоспеціалізованих напрямках, на які не вистачає аудиторного часу.

1.1. Інтеграція компетентнісного підходу у самостійну роботу Методологія виконання СРС базується на практичній значущості результатів. Під час виконання самостійних завдань здобувач не просто компілює теоретичні факти, а діє як самостійний інженер-аналітик: опрацьовує масиви нормативної документації (ДБН, ДСТУ EN), досліджує інноваційні методи зняття залишкових напружень, вивчає специфіку зварювання аерокосмічних сплавів та виконує техніко-економічне нормування реального технологічного процесу.

1.2. Педагогіка, обізнана з травмою (Trauma-Informed Approach)

Організація самостійної роботи у 2025 році беззаперечно враховує складний соціальний контекст: наявність серед здобувачів ветеранів, безпосередніх учасників бойових дій, членів їхніх сімей та осіб, які отримали психологічні чи фізичні травми внаслідок війни. Забезпечення абсолютної психологічної екології освітнього простору під час СРС реалізується через наступні непорушні правила:

- **Гнучке управління дедлайнами (Adaptive Time-Management):** Кожен здобувач, який проходить медичну чи психологічну реабілітацію, бере участь у військових зборах або має ускладнені життєві обставини (зокрема, через нестабільне енергопостачання), має гарантоване

право на індивідуальну пролонгацію термінів здачі розрахунково-аналітичних звітів та ІНДЗ без жодних штрафних санкцій чи зниження рейтингового бала.

- **Асинхронний та безпечний формат звітування:** Усі завдання СРС розроблені таким чином, щоб їх можна було виконати та здати повністю в асинхронному цифровому форматі через системи управління навчанням (LMS Moodle, Google Workspace). Це мінімізує соціальний стрес, пов'язаний із публічними виступами чи жорсткими часовими рамками.

- **Правило «Стоп-слова» (Opt-out) та вибір тематики:** Здобувач має абсолютне право самостійно обирати теми для аналітичного огляду та проєктної роботи з-поміж запропонованих варіантів. Якщо запропонована тема (наприклад, аналіз причин катастрофічного руйнування мостових конструкцій або трубопроводів) викликає психологічний дискомфорт або є тригером, здобувач має право замінити її на нейтральну технологічну тему еквівалентної складності без пояснення причин.

1.3. Академічна доброчесність та використання штучного інтелекту (ШІ) Сучасна прикладна механіка вимагає абсолютної інженерної точності та достовірності даних.

- **Суворо заборона плагіату:** Використання готових рефератів з Інтернету, копіювання чужих розрахунків та компіляція неперевірених даних суворо забороняється і карається анулюванням роботи (оцінка 0 балів) з обов'язковим перепрацюванням.

- **Регламентоване використання ШІ:** Застосування великих мовних моделей (LLM, наприклад ChatGPT, Claude) дозволяється і навіть заохочується, але **виключно як допоміжного довідкового інструменту** — для структурування інформації, пошуку пояснень до складних фізико-металургійних процесів або фактчекінгу. Однак генерація ШІ фінальних текстів висновків, економічних розрахунків або технологічних карт суворо заборонена. Робота має демонструвати особистий аналітичний внесок здобувача.

2. РОЗГОРНУТИЙ ЗМІСТ ТА ПОКРОКОВІ ІНСТРУКЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ СРС (38 ГОДИН)

Загальний обсяг самостійної роботи (38 годин) логічно поділено на чотири магістральні домени, що повністю синхронізовані з аудиторними теоретичними та практичними модулями курсу. Кожен домен містить конкретні інструкції, які здобувач повинен неухильно виконувати для досягнення програмних результатів навчання.

ДОМЕН 1. Аналіз нормативної бази проєктування зварних конструкцій (10 годин)

Синхронізація: Модуль 1 "Основи розрахунку та проєктування зварних з'єднань".

Будь-який інженерний розрахунок починається з вибору нормативних параметрів. Завдання спрямоване на розвиток навичок роботи з Державними будівельними нормами (ДБН) та європейськими стандартами.

- **Завдання:** Скласти зведену аналітичну таблицю (довідник) допустимих напружень для розрахунку зварних з'єднань з різних марок сталей при різних видах навантажень.

- **Інструкція до виконання:**

1. Здійснить пошук актуальної редакції нормативного документа: ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції. Норми проєктування" (або відповідного розділу Eurocode 3 - EN 1993).

2. Оберіть три різні марки сталі, що широко застосовуються у зварювальному виробництві: вуглецеву сталь звичайної якості (наприклад, Ст3пс або S235), низьколеговану конструкційну сталь (наприклад, 09Г2С або S355) та високоміцну сталь (наприклад, 14ХГ2САФД).

3. Знайдіть нормативні значення межі текучості (σ_T або R_y) та тимчасового опору розриву (σ_B або R_{un}) для обраних сталей залежно від товщини листового прокату.

4. Випишіть значення коефіцієнтів надійності за матеріалом (γ_m) та коефіцієнтів умов роботи (γ_c) для різних типів конструкцій (балки, колони, ферми).
5. Сформуйте розширену таблицю, в якій вкажіть розрахункові опори зварних з'єднань (стикових, кутових) на стиск, розтяг і зсув (зріз) при ручному дуговому зварюванні (ММА) та автоматичному зварюванні під флюсом (SAW).

6. Напишіть короткий аналітичний висновок (0.5 сторінки) про те, як наявність фізичного контролю якості шва (наприклад, УЗД) впливає на величину розрахункового опору стикового з'єднання на розтяг згідно з нормами ДБН.

- **Форма звіту:** Документ у форматі PDF (електронні таблиці + текстовий висновок).

ДОМЕН 2. Інноваційні методи зняття залишкових зварювальних напружень (10 годин)

Синхронізація: Модуль 2 "Технологічність, зварювальні деформації та напруження".

Класичний високий відпуск у газових або електричних печах є надзвичайно енергозатратним і не завжди можливим для великогабаритних конструкцій. Сучасна інженерія активно впроваджує вібраційну обробку.

- **Завдання:** Розробити розгорнутий науково-технічний реферат або мультимедійну презентацію на тему: «Технологія вібраційного зняття напружень (VSR - Vibratory Stress Relief) як енергоефективна альтернатива термічній обробці великогабаритних зварних станин».

- **Інструкція до виконання:**

1. Знайдіть технічну інформацію про фізичну сутність методу VSR. Поясніть механізм релаксації залишкових напружень під дією субгармонійних механічних вібрацій, що накладаються на конструкцію.

2. Опишіть апаратне забезпечення процесу: дисбалансні вібробудувачі (ексцентрики), датчики-акселерометри, комп'ютеризовані блоки управління зі зворотним зв'язком, струбцини для жорсткого кріплення вібратора до деталі.

3. Наведіть алгоритм проведення процесу: сканування спектра власних резонансних частот конструкції, вибір робочої частоти, час обробки та фінальне контрольне сканування.

4. **Економічний блок (обов'язково):** Складіть порівняльну таблицю переваг та недоліків VSR порівняно з пічним високим відпуском (Thermal Stress Relief). Порівняйте енерговитрати (наприклад, витрати газу на розігрів 10-тонної деталі в печі протягом 12 годин проти роботи 2 кВт вібромотора протягом 45 хвилин), логістичні витрати (транспортування до печі) та екологічний фактор (відсутність викидів CO₂, окалини).

- **Форма звіту:** Реферат (8-10 сторінок формату А4) або презентація (15-20 ілюстрованих слайдів з графіками резонансних частот).

ДОМЕН 3. Специфіка технології зварювання спеціальних матеріалів (10 годин)

Синхронізація: Модуль 3 "Технологія виготовлення типових зварних конструкцій".

Крім типових будівельних низьковуглецевих сталей, сучасний машинобудівник стикається з високотехнологічними матеріалами, зварювання яких вимагає особливого підходу та суворого дотримання технологічної дисципліни.

- **Завдання:** Провести самостійне дослідження технологічних складнощів та методів їх подолання при виготовленні зварних конструкцій з одного з наступних матеріалів (на вибір здобувача):

- *Варіант А:* Алюмінієві сплави (наприклад, АМг6 або дюралюміній) в аерокосмічній та транспортній галузях.

- *Варіант Б:* Титанові сплави в хімічному машинобудуванні.

- *Варіант В:* Високоміцні леговані броньові сталі у військовій техніці.

- **Інструкція до виконання (на прикладі Варіанта А - Алюмінієві сплави):**

1. Опишіть головні фізико-хімічні проблеми зварюваності алюмінію: наявність тугоплавкої оксидної плівки (Al_2O_3 з температурою плавлення 2050°C при температурі плавлення самого алюмінію 660°C), високу теплопровідність, коефіцієнт лінійного розширення та схильність до утворення водневої пористості.

2. Запропонуйте технологічні методи подолання цих проблем. Опишіть необхідність ретельної механічної (шліфування) та хімічної підготовки (травлення) кромок безпосередньо перед зварюванням.

3. Опишіть вибір методу зварювання: аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом на змінному струмі (TIG AC) для катодного руйнування оксидної плівки, або напівавтоматичне зварювання (MIG) в інертних газах (аргон, гелій).

4. Опишіть заходи щодо запобігання кристалізаційним (гарячим) тріщинам, характерним для деяких сплавів алюмінію.

• **Форма звіту:** Технічний аналітичний звіт (структурований PDF-документ обсягом 5-7 сторінок).

ДОМЕН 4. Техніко-економічне нормування розробленого технологічного процесу (8 годин)

Синхронізація: Модуль 4 "Механізація, автоматизація та контроль якості".

Будь-який технологічний процес є життєздатним лише за умови його економічної рентабельності. Інженер повинен вміти розрахувати витрати матеріалів та часу на створення конструкції.

• **Завдання:** Виконати індивідуальний розрахунок техніко-економічних показників для конкретної зварної конструкції, технологічний процес виготовлення якої розроблявся здобувачем на практичних заняттях (наприклад, двотаврової балки).

• **Інструкція до виконання (Покроковий алгоритм розрахунку):**

1. **Визначення маси наплавленого металу (G_n):** Розрахуйте площу поперечного перерізу ($F_{ш}$) кожного зварного шва (для стикового — площу трикутника з урахуванням випуклості, для кутового — площу прямокутного трикутника $0.5 \cdot K^2$). Помножте площу перерізу на загальну довжину швів (L) та густину сталі ($\rho = 7.85 \text{ г/см}^3$). Результат виразіть у кілограмах.

2. **Нормування витрат зварювальних матеріалів ($G_{эл}$):** Врахуйте, що не весь розплавлений електродний метал потрапляє у шов. Розрахуйте повну витрату електродів або зварювального дроту за формулою: $G_{эл} = G_n / (1 - K_v)$, де K_v — коефіцієнт втрат на розбризкування, чад та недогарки (обрати за довідником залежно від способу зварювання — для ручного дугового він становить 15-20%, для автоматичного під флюсом 2-3%). Окремо розрахуйте витрату флюсу або захисного газу (л/хв $\cdot$ час зварювання).

3. **Розрахунок витрат електроенергії (W):** Визначте енерговитрати на зварювання. Використайте формулу: $W = (U_d \cdot I_{зв} \cdot t_o) / (1000 \cdot \eta)$, де U_d — напруга дуги (В), $I_{зв}$ — сила зварювального струму (А), t_o — основний час горіння дуги (год), η — ККД зварювального джерела живлення (для інверторів $\sim 0.85-0.90$).

4. **Нормування часу (T_n):** Розрахуйте основний (машинний) час $t_o = G_n / (\alpha_n \cdot I_{зв})$ (де α_n — коефіцієнт наплавлення). Визначте допоміжний час (t_d) на зачищення кромок, зміну електродів, кантування деталі. Знайдіть штучно-калькуляційний час.

5. Зробіть висновок про те, як перехід від ручного дугового зварювання до автоматичного під флюсом вплине на розраховані показники (продуктивність та собівартість).

• **Форма звіту:** Розрахунково-пояснювальна записка (з наведенням усіх формул, підставлених значень та одиниць вимірювання).

3. КОМПЛЕКСНЕ ІНДИВІДУАЛЬНЕ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНЕ ЗАВДАННЯ (ІНДЗ)

Для здобувачів, які мають глибокий інтерес до прикладної механіки та прагнуть отримати найвищі рейтингові бали (оцінка «Відмінно» / А) і сформувати якісне портфоліо для майбутнього працевлаштування, передбачено виконання розширеного творчого проєкту — ІНДЗ.

За попереднім погодженням з викладачем, успішне виконання та захист ІНДЗ може повністю замінити стандартні завдання СРС усіх чотирьох доменів. Проєкт виконується протягом семестру і подається за два тижні до початку екзаменаційної сесії.

Напрями та тематика ІНДЗ (на вибір здобувача):

Проєкт №1. «Reverse Engineering та Аналіз руйнування зварної конструкції»

- **Суть проєкту:** Провести глибокий технічний аудит відомого або гіпотетичного випадку руйнування металоконструкції (мостового прогону, стріли крана, резервуару).

- **Структура роботи:**

1. Опис умов експлуатації конструкції (характер навантажень, температурний режим).
2. Ідентифікація зони руйнування. Аналіз макро- та мікроструктури зламу (в'язке чи крихке руйнування, наявність втомних ліній).
3. Аналіз наявності концентраторів напружень у зоні зламу (різкі переходи перерізу, непровари, підрізи, скупчення пор).
4. **Інженерний висновок:** Чому конструкція не витримала навантажень? (Помилка конструктора у розрахунку міцності, неправильний вибір марки сталі, порушення технології зварювання, відсутність термообробки або дефекти зварного шва).
5. **Пропозиції щодо модернізації:** Запропонувати конструктивні (зміна форми вузла) або технологічні (зміна методу зварювання, застосування УЗД) заходи для недопущення подібних аварій у майбутньому.

Проєкт №2. «Проєктування роботизованої зварювальної комірки (РТК)»

- **Суть проєкту:** Розробити концепт автоматизації зварювання серійної деталі (наприклад, рами квадроцикла або кріплення сонячної панелі).

- **Структура роботи:**

1. Аналіз деталі на придатність до роботизації (доступність швів, жорсткість допусків).
2. Вибір типу промислового робота-маніпулятора (наприклад, 6-осьові роботи KUKA, Yaskawa, Fanuc) за радіусом дії та вантажопідйомністю.
3. Проєктування зварювального кондуктора для жорсткої фіксації деталей.
4. Вибір зварювального позиціонера (наприклад, двовісного, типу H-frame або Ferris wheel) для синхронного обертання деталі під час зварювання.
5. План безпеки комірки: захисна огорожа, світлові бар'єри безпеки (Light curtains), системи витяжки диму.

Проєкт №3. «Пропозиція впровадження CAE-симуляції (Digital Twin) у виробництво»

- **Суть проєкту:** Опис можливостей систем інженерного аналізу для оптимізації виробництва.

- **Структура роботи:**

1. Огляд можливостей програмного забезпечення для симуляції зварювальних процесів (наприклад, SYSWELD, Simufact Welding або модулів ANSYS).
2. Опис процесу створення цифрового двійника (Digital Twin) зварного вузла.
3. Алгоритм виконання термо-структурного аналізу методом скінченних елементів (МСЕ): задання граничних умов, властивостей металу, імітація руху джерела тепла.

4. Очікувані результати симуляції: прогнозування фазових перетворень у зоні термічного впливу, розрахунків залишкових напружень та візуалізація кінцевого жолоблення конструкції. Економічний ефект від впровадження CAE (економія на металі для пробних зразків).

Вимоги до структури та оформлення ІНДЗ:

ІНДЗ оформлюється у вигляді технічного звіту (PDF-документ обсягом 15-25 сторінок).
Обов'язкові розділи:

1. Титульний аркуш (за стандартом закладу).
2. Зміст.
3. Вступ (обґрунтування актуальності обраної проблеми).
4. Основна частина (розділена на 2-3 підрозділи: теорія, розрахунки, графічні схеми або ескізи оснащення).
5. Висновки (чіткі, аргументовані інженерні пропозиції).
6. Список використаних джерел (оформлений за ДСТУ 8302:2015 "Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання").

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОБОТИ З ІНФОРМАЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТА САПР

Успішне виконання СРС та ІНДЗ вимагає від здобувача навичок роботи з цифровими та нормативними ресурсами.

4.1. Робота з нормативними документами (ДБН, ДСТУ, ISO)

Інженер не повинен вчити напам'ять значення міцності для кожної марки сталі, він повинен знати, де їх знайти.

- Використовуйте офіційні бази даних нормативних документів. Для розрахунку будівельних металоконструкцій базовим документом є **ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції»** (або відповідні розділи Eurocode 3).
- Зверніть увагу на додатки до ДБН, де наведені розрахункові опори ($\$R_{y}\$, \$R_{un}\$$) залежно від товщини прокату та розрахункові опори зварних з'єднань ($\$R_{wf}\$, \$R_{wz}\$$).
- Під час вибору зварювальних матеріалів орієнтуйтеся на чинні міжнародні стандарти серії ISO 2560 (для покритих електродів) та ISO 14341 (для суцільного дроту).

4.2. Робота в системах автоматизованого проєктування (CAD/CAE)

- Для моделювання металоконструкцій у **SolidWorks** обов'язково використовуйте спеціалізований модуль «Зварні деталі» (Weldments). Він дозволяє швидко будувати каркаси з 3D-ескізів за допомогою бібліотек стандартних профілів прокату (труб, куточків, швелерів) та автоматично створювати специфікації списку вирізів (Cut List), що значно економить час порівняно зі звичайним твердотільним моделюванням "бобишками".
- Опануйте інструмент відсікання та подовження (Trim/Extend) для правильного сполучення трубчастих елементів ферм.
- Зверніться до офіційних відеоуроків від виробників програмного забезпечення (наприклад, Autodesk University, SolidWorks Tutorials) для вивчення інструментів автоматичного нанесення символів зварних швів на 2D-креслення.

5. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПОЛІТИКА АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Виконання завдань СРС є необхідною умовою для отримання позитивної оцінки з поточного контролю та допуску до підсумкового екзамену. Максимальна сума балів за всі чотири домени СРС становить 10 балів (з 70 балів загального поточного контролю). Якщо здобувач захищає ІНДЗ, оцінка виставляється комплексно за весь проєкт.

Академічний рубрикатор оцінювання СРС / ІНДЗ (10-бальна шкала):

- **Відмінно (9-10 балів):**

Завдання виконані у повному обсязі (або захищено масштабне ІНДЗ). Здобувач демонструє глибоке розуміння інженерних процесів та нормативної бази. Розрахунки виконані безпомилково, з повним наведенням формул, одиниць вимірювання та обґрунтуванням вибору коефіцієнтів з ДБН/СНіП. Аналітичні звіти мають бездоганну логічну структуру, містять ілюстрації, графіки або ескізи в CAD-системах. Робота демонструє високий рівень епістемологічної автономії. Відсутні будь-які ознаки плагіату.

- **Добре (7-8 балів):**

Завдання виконані повністю. Наявне міцне розуміння фізики процесів та технологій. Проте присутні незначні недоліки: невеликі арифметичні помилки в розрахунках техніко-економічних показників (Домен 4), стилістичні огріхи в оформленні звіту, відсутність посилань на конкретні пункти нормативних документів або недостатня глибина економічного аналізу.

- **Задовільно (5-6 балів):**

Виконано лише 60-70% від загального обсягу СРС. Знання мають виключно репродуктивний характер. Аналітичні висновки відсутні або поверхневі. У розрахунках застосовані неправильні формули або невідповідні одиниці вимірювання (наприклад, плутанина між МПа та кгс/см²). Звіт оформлено недбало.

- **Незадовільно (0-4 бали / Анулювання):** Завдання СРС проігноровані або виконані в обсязі менше 50%. Роботи повністю або частково скопійовані у студентів паралельних груп, завантажені з рефератних баз даних або **повністю згенеровані штучним інтелектом (ChatGPT, Gemini тощо)** без осмислення, перевірки розрахунків та інженерної адаптації. Такий результат жорстко кваліфікується як порушення академічної доброчесності. Робота оцінюється у 0 балів, повертається на повне перепрацювання з новими вихідними даними, а факт плагіату фіксується у відомості.

Оформлення текстових документів (Вимоги):

Усі звіти та розрахунково-пояснювальні записки оформлюються на аркушах формату А4. Текст набирається шрифтом Times New Roman, кегль 14, міжрядковий інтервал 1.5. Поля: ліве — 30 мм (для зшивання), праве — 10 мм, верхнє та нижнє — 20 мм. Усі математичні формули повинні бути набрані у редакторі формул (наприклад, Equation або MathType) із розшифровкою кожного символу безпосередньо під формулою. Графіки та ескізи повинні мати нумерацію та підписи. Готові роботи зберігаються у форматі PDF для запобігання зміщенню форматування під час перевірки в LMS Moodle.