

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 (ЛАБОРАТОРНИХ) ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ ОК 23 «КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ»

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

Галузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво

Спеціальність: G9 Прикладна механіка

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

Загальний обсяг практичних занять: 30 годин (15 пар)

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРАКТИЧНОГО КУРСУ

Практичні заняття з дисципліни «Контроль якості зварювання» є критично важливим етапом у формуванні інспектора відділу технічного контролю (ВТК) або фахівця лабораторії неруйнівного контролю (ЛНК). Специфіка курсу полягає в тому, що навички дефектоскопіста базуються на тонкій мікромоториці, зоровій пам'яті та вмінні інтерпретувати непрямі фізичні дані (відбиття ультразвуку, тіньову картину рентгенівських променів, магнітні поля розсіяння). Ці компетентності неможливо здобути виключно з підручників — вони вимагають безпосередньої тактильної роботи зі стандартизованим обладнанням.

1.1. Імітація реального виробничого середовища (Workplace Simulation)

Кожне практичне заняття моделює роботу реальної акредитованої лабораторії NDT (Non-Destructive Testing). Здобувачі працюють з оригінальними європейськими нормативними документами, сертифікованими витратними матеріалами (пенетрантами, магнітними суспензіями) та справжніми цифровими дефектоскопами. Фіналом кожної практичної роботи є не просто відповідь викладачу, а юридично грамотно заповнений офіційний Протокол контролю (Test Report) з висновком «Придатно» (Acceptable) або «Брак» (Rejected).

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

Аналіз дефектів часто пов'язаний з дослідженням причин руйнування металоконструкцій. Для створення психологічно безпечного середовища для здобувачів-ветеранів та осіб із травматичним досвідом діють суворі правила:

- **Екологічна візуалізація:** Для демонстрації наслідків непроварів або тріщин використовуються виключно лабораторні макрошліфи, епюри руйнування або знеособлені технічні фотографії металу. Суворо заборонена демонстрація фото- чи відеоматеріалів реальних техногенних аварій, що містять елементи катастрофи або травмування людей.
- **Зниження сенсорного навантаження:** Робота з УЗ-дефектоскопами (звукові сигнали браку) та ультрафіолетовими лампами (для флуоресцентного контролю) суворо дозується. Здобувач має право покинути лабораторію для сенсорного відпочинку.

- **Стрес-фрі валідація:** Публічний захист протоколів та дефектограм перед групою замінюється індивідуальною експертною бесідою між викладачем (як "головним інженером") та здобувачем (як "інспектором").

1.3. Структура типового практичного заняття

1. **Інструктаж з охорони праці (5 хв):** Обов'язковий етап. Перевірка наявності ЗІЗ (рукавичок при капілярному контролі, захисних окулярів при роботі з УФ-випромінюванням).
2. **Постановка інспекційного завдання (10 хв):** Видача деталей (зразків зварних з'єднань із закладеними дефектами), еталонів та бланків протоколів. Формулювання умов (наприклад: "Провести контроль за рівнем якості В згідно з ISO 5817").
3. **Калібрування та налаштування приладів (15 хв):** Перевірка працездатності дефектоскопів, налаштування "нуля", підготовка реактивів.
4. **Етап сканування / контролю (35 хв):** Самостійна робота здобувачів із пошуку та локалізації дефектів.
5. **Оцінка та документування (15 хв):** Розшифровка результатів, порівняння розмірів дефектів з нормами допусків, ескізування дефектограми.
6. **Підписання протоколу (10 хв):** Захист результатів, виставлення балів, прибирання робочого місця.

2. ПОКРОКОВИЙ АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ (30 ГОДИН)

МОДУЛЬ 1. Основи дефектології та візуально-вимірювальний контроль (VT)

Мета модуля: Навчити здобувачів ідентифікувати дефекти візуально, працювати з міжнародними каталогами (ISO 6520) та вільно володіти вимірювальними шаблонами зварювальника.

• Практичні 1-2 (4 години). Робота зі стандартами: класифікація та кодування дефектів за ISO 6520.

- *Обладнання:* Альбоми фотографій макрошліфів та поверхневих дефектів, стандарт ISO 6520-1 (роздрукований або на планшеті).

- *Алгоритм виконання:*

1. Здобувач отримує 10 фотографій різних дефектних швів.
2. Візуально визначає характер дефекту (тріщина, пора, підріз, зміщення кромки).
3. Здійснює пошук дефекту у класифікаторі ISO 6520, звертаючи увагу на групу (100-600).
4. Заповнює навчальну таблицю: Фото № | Опис дефекту | Цифровий код (напр., 5011 — неперервний підріз) | Англomовний термін (Continuous undercut) | Імовірна технологічна причина утворення.

• Практичні 3-4 (4 години). Візуально-вимірювальний контроль (VT) за допомогою УШС.

- *Обладнання:* Натурні зразки зварних з'єднань (труби, пластини), універсальні шаблони (УШС-3, УШС-4), міжнародні катетоміри WG1-WG15, вимірювальні лупи (x5-x10), штангенциркулі.

- *Алгоритм виконання:*

1. Провести зовнішній огляд шва неозброєним оком та за допомогою лупи при освітленні не менше 500 люкс.
2. За допомогою УШС-3 виміряти геометричні параметри стикового шва: ширину шва (\$e\$), висоту опуклості (\$h\$), глибину підрізів, наявність зміщення кромки.
3. За допомогою катетомірів виміряти фактичний катет (\$K\$) та розрахункову товщину (\$a\$) кутових швів таврового з'єднання.

4. Зіставити отримані фактичні міліметрові розміри з допустимими нормами стандарту ISO 5817 для заданого викладачем рівня якості (наприклад, рівень C).

• **Практичне 5 (2 години). Оформлення офіційного протоколу візуально-вимірального контролю.**

- *Обладнання:* Бланки "Протокол ВБК" (Inspection Report), лінійки, олівці.
- *Алгоритм виконання:* Здобувач формалізує результати попереднього заняття. Заповнює "шапку" документа (об'єкт, номер креслення, марка сталі, спосіб зварювання). У табличній частині вказує координати виявлених дефектів від базової точки, їхні ISO-коди, фактичні розміри. Малює ескіз (розгортку) шва із зазначенням локалізації дефектів. Виносить вердикт: "Зварне з'єднання №... відповідає/не відповідає вимогам ISO 5817, рівень C".

МОДУЛЬ 2. Поверхнева та ультразвукова дефектоскопія (РТ, МТ, УТ)

Мета модуля: Опанувати фізичні методи пошуку прихованих поверхневих та внутрішніх дефектів. Навчити калібрувати електронні прилади.

• **Практичне 6 (2 години). Проведення капілярного контролю (РТ - Penetrant Testing).**

- *Обладнання:* Набір аерозолів для РТ (Cleaner, Penetrant, Developer), зразки з алюмінієвих або аустенітних сталей із мікротріщинами, безворсові серветки, захисні окуляри, нітрилові рукавички. Обов'язкова робота витяжної вентиляції!
- *Алгоритм виконання:*
 1. Знежирення поверхні: рясне нанесення Cleaner, протирання, сушіння (5 хв).
 2. Нанесення червоного пенетранту: рівномірне розпилення на зону шва + 20 мм навколо. Витримка часу проникнення (Dwell time) — 15 хвилин.
 3. Проміжне очищення: акуратне видалення пенетранту серветкою, злегка змоченою в Cleaner. *Важливо: заборонено розпилювати Cleaner прямо на шов, щоб не вимити барвник з мікротріщини!*
 4. Нанесення білого проявника: розпилення тонким рівномірним шаром. Очікування 10 хв.
 5. Інспекція: виявлення яскраво-червоних індикаторних слідів (лінійних — тріщини, округлих — пори). Замірювання їхньої довжини та фіксація у протокол.

• **Практичне 7 (2 години). Магнітопорошковий контроль (МТ - Magnetic Testing).**

- *Обладнання:* Ручний електромагніт (ярмо) змінного струму, чорна або флуоресцентна магнітна суспензія (спрей), феромагнітні зразки з дефектами, еталонний зразок із штучною тріщиною.
- *Алгоритм виконання:*
 1. Перевірка працездатності ярма: ярмо має утримувати еталонний вантаж (наприклад, 4,5 кг для змінного струму) відривним зусиллям.
 2. Встановлення полюсів ярма на шов під кутом 90° до очікуваної осі тріщини.
 3. Натискання кнопки намагнічування (2-3 секунди) з одночасним легким розпиленням магнітної суспензії між полюсами.
 4. Огляд поверхні на наявність чорних смужок (магнітних валиків), що вказують на поле розсіяння над дефектом. Намагнічування у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

• **Практичне 8 (2 години). Калібрування ультразвукового дефектоскопа (УТ).**

- *Обладнання:* Цифровий УЗ-дефектоскоп (USM, EPOCH), похилий ПЕП (60° або 70° , 4 МГц), кабель, контактна рідина (масло/гель), еталонні калібрувальні блоки V1 (K1) та V2 (K2).
- *Алгоритм виконання:*

1. Увімкнення приладу, введення швидкості поперечної хвилі $SC_t = 3230$ м/с.
 2. Встановлення ПЕП на блок V1. Пошук максимуму луна-сигналу від радіусної поверхні R100.
 3. Налаштування "затримки в призмі" (Probe Delay): калібрування так, щоб сигнал від радіуса 100 мм знаходився рівно на позначці 100 мм розгортки екрана.
 4. Перевірка точки виходу променя (індексу ПЕП) та фактичного кута вводу за позначками на блоці V1/V2. Без цієї процедури подальший контроль є нелегітимним.
- **Практичні 9-10 (4 години). Сканування стикових з'єднань похилим ПЕП. Оцінка дефектів.**

○ *Обладнання:* Відкалібрований УЗ-дефектоскоп, стикові зразки товщиною 16-20 мм із закладеними дефектами, контактний гель.

○ *Алгоритм виконання:*

1. Нанесення контактної рідини на зачищену околошовну зону (шириною до 100 мм).
2. Сканування: плавне переміщення ПЕП вздовж шва зигзагоподібними рухами з одночасним повертанням (на $10-15^\circ$) для озвучування всього перерізу шва прямим та одноразово відбитим променем.
3. При появі піку на екрані — пошук максимуму амплітуди.
4. Зчитування координат дефекту: Y (глибина від поверхні) та X (відстань від передньої грані ПЕП до проєкції дефекту на поверхню шва).
5. Оцінка розміру дефекту за АРД-шкалою приладу (порівняння з еталонною площею в mm^2). Ескізування дефектограми.

МОДУЛЬ 3. Радіографічний контроль, механічні випробування та сертифікація (RT, DT, QMS)

Мета модуля: Навчити читати "тіньові картини" рентгенівських знімків, аналізувати макроструктуру металу та правильно підбирати комплексні методи контролю для конкретного виробу.

• **Практичні 11-12 (4 години). Розшифровка радіограм (рентгенівських плівок).**

○ *Обладнання:* Негатоскопи (LED) з регулюванням яскравості, денситометри, прозорі міліметрові лінійки, комплекти навчальних рентгенівських плівок зварних швів, стандарт ISO 5817.

○ *Алгоритм виконання:*

1. Розміщення плівки на екрані негатоскопа. Визначення оптичної щільності фону (за допомогою денситометра або візуально).
2. Пошук зображення еталона чутливості (IQI). Визначення номера найтоншої дротинки, яку чітко видно. Запис чутливості контролю у протокол.
3. Ідентифікація дефектів: темні округлі плями — пори; темні витягнуті смуги з нерівними краями — шлаки; різка пряма лінія по центру шва — непровар кореня; зигзагоподібні тонкі темні лінії — тріщини; світлі плями — вольфрамові включення.
4. Вимірювання довжини та сумарної площі дефектів. Визначення балу якості або класу допустимості за ISO.

• **Практичне 13 (2 години). Аналіз результатів механічних випробувань (DT).**

○ *Обладнання:* Машинні діаграми (графіки розтягу) від випробувальної машини, зразки після випробувань на статичний розтяг, згин та ударний згин (Шарпі).

○ *Алгоритм виконання:*

1. Здобувач аналізує криву розтягу. Визначає точки межі плинності та руйнування. Обчислює напруження σ_T та σ_B .

2. Візуальний огляд зруйнованих зразків: локалізація розриву (основний метал чи шов). Оцінка в'язкого (волокнистого) чи крихкого (кристалічного) характеру зламу.

• **Практичне 14 (2 години). Металографічний аналіз макрошліфів.**

○ *Обладнання:* Відполіровані макрошліфи (поперечні перерізи швів), 4% розчин азотної кислоти в етиловому спирті (ніталь), лупи вимірювальні, мікроскопи.

○ *Алгоритм виконання:*

1. Хімічне травлення макрошліфа тампоном, змоченим у ніталі (до появи контрастного малюнка структури), промивання спиртом.

2. Візуальна ідентифікація зон: метал шва (стовбчасті кристали), лінія сплавлення, зона термічного впливу (ЗТВ), основний метал.

3. Вимірювання геометричних параметрів шва (глибина проплавлення, ширина шва) за допомогою вимірювальної лупи. Перевірка наявності міжваликових непроварів.

• **Практичне 15 (2 години). Комплексний кейс: Обґрунтування методів NDT. Захист портфолію.**

○ *Обладнання:* Індивідуальні портфолію здобувачів (всі заповнені за семестр протоколи).

○ *Алгоритм виконання:*

1. Викладач видає ситуативну задачу (Кейс). *Наприклад: "Спроектовано резервуар для аміаку. Матеріал — сталь 09Г2С, товщина 16 мм. Стики стикові двосторонні. Запропонуйте програму контролю."*

2. Здобувач письмово або усно аргументує вибір комбінації методів: 100% VT $\rightarrow$ 100% UT (для пошуку площинних дефектів) $\rightarrow$ 10% RT (для архівації знімків перетинів швів) $\rightarrow$ 100% MT (для гарантії відсутності поверхневих тріщин).

3. Здобувач надає викладачу своє Портфолію протоколів для фінальної перевірки, захищає свої висновки і отримує допуск до екзамену.

3. АКАДЕМІЧНИЙ РУБРИКАТОР ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ НА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТТЯХ

Оцінювання роботи здобувача на практичних заняттях становить основу поточного контролю (максимум 40 балів із загальних 70 балів поточного контролю за семестр). За кожен практичну роботу (всього 15 робіт) здобувач отримує бали, які сумуються.

Критерії оцінювання однієї практичної роботи (Assessment Rubric):

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

○ Здобувач працює абсолютно самостійно і впевнено. Дотримується всіх правил техніки безпеки.

○ Апаратура (УЗ-дефектоскоп) відкалібрована безпомилково і швидко. Вимірювання шаблонами УШС точні (похибка не перевищує 0.5 мм).

○ Усі виявлені дефекти правильно ідентифіковані та закодовані згідно з ISO 6520.

○ Офіційний протокол контролю (Report) заповнений бездоганно: вказані всі параметри контролю, ескізи дефектів чіткі, висновки за стандартом ISO 5817 сформульовано грамотно і категорично (без подвійних тлумачень).

• **Достатній рівень (добре):**

○ Здобувач розуміє алгоритм і фізику методу, але виконує маніпуляції невпевнено або повільно.

○ Калібрування приладу виконане з другої спроби. Наявні дрібні похибки у вимірюваннях координат дефекту на УЗД (1-2 мм).

- Дефекти на радіограмах знайдено, але неточно визначено їхній клас якості за ISO.

- Протокол заповнений, але містить стилістичні або дрібні термінологічні помилки, які не впливають на фінальний висновок щодо придатності деталі.

- **Пороговий рівень (задовільно):**

- Знання носять репродуктивний характер. Здобувач плутає послідовність нанесення капілярних реактивів або не розуміє призначення блоку V2.

- Потребує постійних прямих підказок викладача для виявлення дефекту на екрані розгортки дефектоскопа або на рентгенівському знімку.

- Протокол заповнений неохайно, з пропущеними обов'язковими графами (не вказана чутливість контролю або параметри перетворювача).

- **Низький рівень (незадовільно / 0 балів):**

- Нездатність налаштувати прилад або візуально ідентифікувати базовий макродефект (наприклад, наскрізну тріщину).

- Грубе порушення правил безпеки (наприклад, розпилення пенетранту на гарячу деталь або в обличчя).

- **Плагіат:** Списування чужого протоколу контролю або записування "вигаданих" цифр координат дефекту без проведення реального вимірювання приладом (фальсифікація). Робота анулюється і потребує індивідуального перепрацювання з новим зразком.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ (HSE)

Практичні заняття з неруйнівного контролю пов'язані з використанням специфічних хімічних реагентів, електрообладнання та імітаторів джерел випромінювання. Дотримання вимог безпеки (HSE - Health, Safety, and Environment) є критичним.

1. Капілярна дефектоскопія (РТ):

- Дефектоскопічні матеріали (очисники, пенетранти, проявники) постачаються в аерозольних балонах під тиском. Вони містять леткі розчинники (ацетон, спирти) та є легкозаймистими.

- Робота дозволяється **виключно при увімкненій припливно-витяжній вентиляції**. Забороняється використання відкритого вогню або проведення зварювальних робіт поруч із місцем контролю.

- Для запобігання алергічним реакціям та дерматитам здобувачі зобов'язані працювати в захисних нітрилових рукавичках. При використанні флуоресцентних пенетрантів та УФ-ламп обов'язковим є носіння спеціальних захисних окулярів з УФ-фільтром.

2. Магнітопорошковий контроль (МТ):

- Ручні електромагнітні ярма працюють від мережі 220В. Перед кожним використанням здобувач зобов'язаний візуально перевірити цілісність ізоляції кабелю живлення та корпусу приладу.

- Забороняється проводити магнітопорошковий контроль на мокрих поверхнях або у вологих рукавичках (загроза ураження електричним струмом).

3. Радіографічний контроль (РТ):

- В умовах навчальної лабораторії коледжу робота з реальними радіоактивними ізотопами (Іридій-192) не проводиться. Заняття базуються на читанні готових рентгенограм (плівок) на негатоскопах.

- Однак, негатоскопи високої яскравості (LED-панелі) випромінюють інтенсивне світло. Здобувачам забороняється дивитися на увімкнений негатоскоп без накладеної на нього плівки (загроза пошкодження сітківки ока). Використання діафрагмування (шторки) негатоскопа є обов'язковим.

4. Робота з макрошліфами (Металографія):

○ Хімічне травлення макрошліфів виконується розчином ніталю (розчин азотної кислоти в спирті). Робота проводиться виключно у витяжній шафі, у захисних окулярах і хімічно стійких рукавичках. Потрапляння кислоти на шкіру викликає хімічний опік.

У разі ігнорування будь-якого з пунктів правил техніки безпеки, здобувач негайно відсторонюється від виконання лабораторної роботи.