

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.

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ (СИЛАБУС) 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)

Семестр викладання: 4 семестр

1. РОЗГОРНУТИЙ АКАДЕМІЧНИЙ ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна ОК 23 «Контроль якості зварювання» є фундаментальним, завершальним та інтегруючим обов'язковим освітнім компонентом циклу професійної підготовки здобувачів фахової передвищої освіти за спеціальністю «Прикладна механіка». Сучасне машинобудівне та зварювальне виробництво, орієнтоване на жорсткі вимоги європейського та глобального ринків, базується на беззаперечній концепції: якість неможливо просто «перевірити» або «випробувати» у вже готовому виробі — її необхідно закладати, прогнозувати та суворо контролювати на кожному етапі технологічного процесу (від вхідного контролю матеріалів до фінальної дефектоскопії).

В умовах масштабної відбудови України, стрімкого розвитку вітчизняного оборонно-промислового комплексу, аерокосмічної галузі та відновлення критичної енергетичної інфраструктури, здатність інженера-технолога чи фахівця-дефектоскопіста достовірно виявляти, правильно ідентифікувати та класифікувати дефекти зварних з'єднань є запорукою техногенної безпеки держави та збереження людських життів. Дисципліна формує у здобувачів освіти комплексне розуміння системи управління якістю (QMS) згідно з міжнародними стандартами серії ISO 9001 та специфічними зварювальними нормами ISO 3834.

1.1. Кількісні параметри та архітектура навантаження Архітектура навчальної дисципліни ретельно спроектована з урахуванням її розташування на фінальних етапах теоретичного навчання (4 семестр) і орієнтована на глибоку, інтенсивну практичну роботу зі стандартизованим діагностичним обладнанням та нормативною базою.

- **Кількість кредитів ЄКТС:** 3 кредити
- **Загальна кількість годин:** 90 годин
- **Рік підготовки (курс):** II курс
- **Семестр викладання:** 4 семестр
- **Аудиторні години (всього):** 56 годин
- *з них: Лекційні заняття:* 26 годин (формування глибокого розуміння фізичних основ акустичних, магнітних, радіаційних та капілярних явищ, на яких базуються методи діагностики).
- *з них: Практичні заняття:* 30 годин (відпрацювання моторних навичок роботи з дефектоскопами, вимірювальними шаблонами, хімічними реактивами та розшифровка радіограм).
- **Самостійна робота слухача (СРС):** 34 години (аналітична робота з міжнародними стандартами ISO, EN, ДСТУ).

- **Форма підсумкового контролю:** Екзамен (із диференційованою оцінкою рівня компетентності).

1.2. Методологічний концепт та фахова орієнтованість Дисципліна викладається за методологією практично-орієнтованого навчання (Learning by doing) та кейс-методів (Case-study). Здобувачі освіти проходять повний життєвий цикл роботи інспектора відділу технічного контролю (ВТК) або фахівця лабораторії неруйнівного контролю (ЛНК). Навчання розпочинається з найпростішого, але найважливішого — візуального огляду зварного шва за допомогою спеціалізованих вимірювальних інструментів (універсальних шаблонів зварювальника УШС, катетомірів, ендоскопів), і поступово еволюціонує до використання високотехнологічних цифрових ультразвукових дефектоскопів (УЗД) та розшифровки складних рентгенівських знімків (радіограм). Навчальний процес суворо та безкомпромісно базується на чинних міжнародних стандартах (ISO 6520 — класифікація дефектів, ISO 5817 — рівні якості), що дозволяє випускникам інтегруватися у європейський ринок праці без додаткового перенавчання. Здобувачі також готуються до потенційної сертифікації на II рівень кваліфікації з неруйнівного контролю (NDT Level II згідно з ISO 9712).

1.3. Соціальна інклюзивність, адаптивність та Trauma-Informed підхід

Враховуючи об'єктивні реалії та наявність в академічних групах ветеранів, учасників бойових дій та осіб, травмованих війною, впровадження Педагогіки, обізнаної з травмою (Trauma-Informed Approach), є не просто рекомендацією, а обов'язковою вимогою. Професія дефектоскопіста тісно пов'язана з аналізом причин руйнування металоконструкцій, мостів, трубопроводів та техніки.

- **Екологічність навчального контенту:** При вивченні наслідків наявності критичних дефектів у зварних швах (наприклад, втомних тріщин у магістральних газопроводах чи оболонках реакторів) викладач використовує виключно технічні діаграми, інженерні графіки, АРД-діаграми та металографічні макрошліфи. Категорично забороняється демонструвати натуралістичні фото- чи відеоматеріали техногенних катастроф із людськими жертвами, які можуть слугувати сильними психологічними тригерами.

- **Гнучкість, асинхронність та індивідуалізація:** Для здобувачів фахової передвищої освіти, які проходять медичну чи психологічну реабілітацію, або виконують військові завдання, коледж забезпечує безперешкодну індивідуальну пролонгацію дедлайнів виконання завдань самостійної роботи (СРС) та протоколів практичних занять. Заохочується асинхронне відпрацювання пропущеного матеріалу через платформу LMS Moodle.

- **Безпечна валідація знань (Альтернативні форми):** Захист складних практичних робіт (наприклад, презентація аналітичного звіту з УЗД контролю або розшифровки рентгенограми) може здійснюватися у спокійному індивідуальному письмовому форматі або в електронній системі без стресового публічного виступу перед академічною групою. Діє правило "Opt-out" — право студента зупинити обговорення чутливої теми без штрафних санкцій.

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Головна та спеціальна мета дисципліни **Головна мета** — формування у здобувачів фахової передвищої освіти глибокого комплексу теоретичних знань і стійких практичних умінь щодо організації та безпосереднього проведення контролю якості зварних з'єднань, виявлення, достовірної класифікації та оцінки дефектів із застосуванням сучасних руйнівних (DT - Destructive Testing) та неруйнівних (NDT - Non-Destructive Testing) методів діагностики. **Спеціальна мета** — виховання відповідального, скрупульозного та принципового технічного фахівця, здатного самостійно працювати з європейською нормативно-технічною документацією (EN/ISO), грамотно оформлювати офіційні протоколи контролю, формулювати юридично значущі висновки щодо придатності або бракування зварних конструкцій, а також

розробляти технологічні рекомендації щодо усунення причин виникнення дефектів на виробництві (на підприємствах-партнерах ТОВ "СТІЛ ВОРК", ТОВ "ДАЗ", ТОВ "Інтерпайп").

2.2. Основні завдання вивчення дисципліни

1. Детальне вивчення міжнародної класифікації дефектів зварних з'єднань (ISO 6520), фізико-металургійних та технологічних причин їх утворення, а також механізмів їхнього впливу на концентрацію напружень, статичну міцність і втомну довговічність металоконструкцій.
2. Ґрунтовне опанування фізичних основ, технологічних алгоритмів та апаратного забезпечення ключових методів неруйнівного контролю: візуально-вимірювального (VT), капілярної дефектоскопії (PT), магнітопорошкового методу (MT), ультразвукової дефектоскопії (UT) та радіографічного контролю (RT).
3. Ознайомлення з базовими методами руйнівних механічних випробувань (на розтяг, згин, ударну в'язкість, твердість) та основами металографічного аналізу макро- і мікроструктури зварних з'єднань.
4. Набуття стійкої моторної пам'яті та практичних навичок роботи з вимірювальними інструментами (УШС, катетоміри), калібрування ультразвукових дефектоскопів за стандартними зразками (V1, V2) та роботи з еталонами чутливості (IQI).
5. Формування навичок бездоганного документування результатів контролю: складання дефектограм, офіційних протоколів та інженерних висновків відповідно до жорстких вимог стандартів серії ISO 9000 та ISO 3834.

2.3. Формування компетентностей Відповідно до чинного Стандарту фахової передвищої освіти зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (ОПП «Зварювальне виробництво»), навчальна дисципліна забезпечує формування такого комплексу компетентностей:

Загальні компетентності (ЗК):

- **ЗК3.** Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ця компетентність критично важлива для грамотного, безпомилкового та юридично правильного заповнення офіційних протоколів технічного контролю, актів браку та пояснювальних записок).
- **ЗК5.** Здатність використовувати інформаційні, комунікаційні та цифрові технології (робота з сучасними мікропроцесорними дефектоскопами, програмним забезпеченням для розшифровки цифрових радіограм та електронними базами даних стандартів).
- **ЗК7.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (здатність брати на себе відповідальність та приймати однозначне рішення про допуск до експлуатації або бракування відповідальної конструкції на основі показів приладів).
- **ЗК8.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (усвідомлення особистої та кримінальної відповідальності контролера ВТК за безпеку майбутніх користувачів виробу).

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

- **СК1.** Здатність до аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки (глибоке розуміння фізики поширення ультразвукових хвиль, відбиття, заломлення, природи рентгенівського випромінювання та законів магнетизму).
- **СК2.** Здатність обирати оптимальні параметри працездатності матеріалів, конструкцій та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності процесів.
- **СК8.** Здатність використовувати нормативні та довідникові матеріали, стандартні методики, конструкторську і технологічну документацію (вільне оперування нормами ДСТУ, EN ISO 5817, AWS, ASME під час оцінки якості).
- **СК12.** Здатність використовувати професійно-профільні знання й практичні навички для складання технологічних процесів виготовлення, монтажу та ремонту (зокрема, органічна

інтеграція обов'язкових операцій контролю у загальний технологічний маршрут виготовлення деталі).

- **СК15.** Здатність організовувати роботу відповідно до вимог охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля (суворе дотримання норм радіаційної безпеки при РТ, правил вентиляції при роботі з хімічними токсичними пенетрантами при РТ та електробезпеки).

2.4. Програмні результати навчання (РН) Після успішного, повного засвоєння дисципліни здобувач фахової передвищої освіти повинен продемонструвати досягнення наступних результатів:

- **РН3.** Застосовувати нормативні та довідкові дані для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам (це ключовий, найважливіший результат навчання для даної дисципліни).
- **РН9.** Застосовувати знання з основ охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони навколишнього середовища в професійній діяльності (знання правил безпечного поводження з радіоактивними ізотопами Іридій-192, Кобальт-60 при гамма-дефектоскопії).
- **РН11.** Збирати потрібну наукову і технічну інформацію з доступних джерел, зокрема, іноземною мовою (англійською) та застосовувати її для вирішення завдань у галузі прикладної механіки (переклад технічних мануалів до іноземних дефектоскопів).
- **РН13.** Застосовувати знання сучасних комп'ютерних методів контролю і оцінювання точності та якості устаткування, деталей машин, інструментів, основних понять взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань в професійній діяльності (калібрування та робота з сучасними цифровими УЗД-дефектоскопами).

3. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ДИСЦИПЛІНИ

3.1. Нормативно-правова база

Робоча навчальна програма (Силабус) базується на міцному нормативному фундаменті:

1. Законі України «Про фахову передвищу освіту».
2. Чинному Стандарту фахової передвищої освіти, спеціальність 131 «Прикладна механіка».
3. Освітньо-професійній програмі «Зварювальне виробництво», введеній в дію з 01.09.2025 року (наказ №307-а).
4. Фундаментальних міжнародних стандартах якості: ISO 9001 (Системи менеджменту якості), ISO 3834 (Вимоги до якості зварювання), ISO 6520 (Класифікація дефектів), ISO 5817 (Рівні якості).

3.2. Вимоги до кандидатів на підготовку (Пререквізити) Дисципліна вивчається у 4 семестрі і є логічним завершенням фахового циклу. Вона вимагає від здобувачів успішного засвоєння попередніх курсів:

- «Фізика» (глибоке розуміння розділів акустики, поширення пружних хвиль, електромагнетизму та квантової фізики).
- «Матеріалознавство» (розуміння кристалічної будови металів, фазових перетворень, структури мартенситу).
- «Технологічні основи зварювання плавленням» та «Виготовлення зварних конструкцій» (знання технологічних параметрів зварювання та їхнього впливу на утворення дефектів).

3.3. Структурна модель дисципліни (Тримодульна архітектура)

Навчальний курс розрахований на 90 годин і логічно та методично поділений на 3 магістральні змістові модулі, що забезпечує послідовне, еволюційне вивчення — від найпростіших візуальних методів контролю до високотехнологічних та руйнівних:

- **МОДУЛЬ 1. Основи дефектології та візуально-вимірювальний контроль (VT):** Фундаментальна класифікація дефектів за групами (тріщини, пори, шлаки, непровари,

відхилення геометрії), фізико-металургійні причини їх утворення, робота з нормативними документами щодо рівнів якості. Інструментарій візуального та вимірювального контролю (калібри, універсальні шаблони, ендоскопи).

- **МОДУЛЬ 2. Поверхнева та ультразвукова дефектоскопія (РТ, МТ, УТ):** Вивчення фізичних основ капілярного (змочування, капілярний тиск) та магнітопорошкового методів для швидкого пошуку поверхневих мікротріщин. Глибоке вивчення фізики ультразвуку, будови п'єзоперетворювачів (ПЕП), процедур калібрування дефектоскопів за еталонними блоками V1/V2 та методик пошуку внутрішніх прихованих дефектів.

- **МОДУЛЬ 3. Радіографічний контроль, механічні випробування та сертифікація (РТ, ДТ, QMS):** Фізика рентгенівського та гамма-випромінювання, взаємодія випромінювання з речовиною, розшифровка радіограм на негатоскопах. Руйнівні методи (випробування зразків на розтяг, статичний згин, ударну в'язкість). Основи металографії (аналіз макрошліфів). Огляд європейських систем забезпечення якості та міжнародної сертифікації зварних виробництв і зварювальників.

3.4. Етапи підготовки та академічний графік Курс розрахований на 90 годин (3 кредити ЄКТС) і викладається інтенсивно у 4 семестрі. Аудиторне (контактне) навантаження становить 56 годин, з яких: 26 годин — лекційні заняття (13 пар), спрямовані на пояснення складної фізики процесів, та 30 годин — практичні заняття (15 пар) у лабораторії дефектоскопії. Самостійна робота слухача (СРС) складає 34 години і відіграє ключову роль у засвоєнні нормативної бази. Завершується курс Підсумковим Екзаменом, який підтверджує кваліфікацію здобувача.

4. НАВЧАЛЬНИЙ ПЛАН КУРСУ ТА РОЗПОДІЛ ЧАСУ

4.1. Зведений розрахунок навчального часу

Вид навчальної роботи	Кількість годин	% від загального обсягу
УСЬОГО ЗА КУРСОМ (3 кредити ЄКТС)	90	100%
Аудиторні заняття (всього контактних годин)	56	62,2%
з них: Лекційні заняття	26	28,9%
з них: Практичні (лабораторні) заняття	30	33,3%
Самостійна робота слухача (СРС)	34	37,8%
Форма контролю	Екзамен	

4.2. Деталізований розподіл навчальних годин за модулями та темами (4 семестр)

№	Назва модуля, лекційних та практичних занять	Всього (год)	Лекції (год)	Практичні (год)	СРС (год)
I	МОДУЛЬ 1. Основи дефектології та візуально-вимірювальний контроль (VT)	28	8	10	10
1.1	Лекція 1. Вступ. Еволюція систем якості у зварювальному виробництві (стандарти ISO 9001, ISO 3834). Філософія TQM.	2	2	0	0
1.2	Лекція 2. Міжнародна класифікація дефектів зварних з'єднань (ISO 6520). Фізико-металургійні причини утворення дефектів.	2	2	0	0
1.3	Практичні 1-2. Робота з міжнародними стандартами: ідентифікація, класифікація та кодування дефектів за каталогами (ISO 6520).	4	0	4	0

1.4	Лекція 3. Рівні якості зварних з'єднань (ISO 5817). Сутність та алгоритм візуального контролю (VT).	2	2	0	0
1.5	Практичні 3-4. Візуально-вимірний контроль (VT) натурних зварних швів за допомогою універсальних шаблонів (УШС-3, УШС-4, катетомірів WG).	4	0	4	0
1.6	Лекція 4. Ергономіка контролю: вимоги до освітлення та оптичні прилади для VT (лупи, мікроскопи, жорсткі та гнучкі ендоскопи).	2	2	0	0
1.7	Практичне 5. Оформлення офіційного юридичного протоколу візуально-вимірний контроль згідно з нормативними вимогами.	2	0	2	0
1.8	<i>СРС 1.</i> Глибоке самостійне опрацювання стандарту ISO 5817: порівняльний аналіз вимог до рівнів якості В, С та D для різних товщин металу.	10	0	0	10
II	МОДУЛЬ 2. Поверхнева та ультразвукова дефектоскопія (РТ, МТ, УТ)	32	10	10	12
2.1	Лекція 5. Капілярний контроль (РТ - Penetrant Testing). Фізика змочування, капілярний тиск, види кольорових та флуоресцентних пенетрантів.	2	2	0	0
2.2	Практичне 6. Проведення капілярного контролю. Підготовка поверхні, нанесення пенетранту, проявлення, аналіз індикаторних слідів.	2	0	2	0
2.3	Лекція 6. Магнітопорошковий контроль (МТ). Фізика магнетизму, поля розсіяння, способи намагнічування (полюсний, циркулярний).	2	2	0	0
2.4	Практичне 7. Робота з ручними електромагнітними кліщами (ярмом) та магнітними суспензіями для виявлення поверхневих тріщин.	2	0	2	0
2.5	Лекція 7. Ультразвуковий контроль (УТ). Фізика поширення УЗ-хвиль, п'єзоелектричний ефект, типи хвиль (подовжні, поперечні, Релея).	2	2	0	0
2.6	Лекція 8. Обладнання для УЗД: архітектура дефектоскопів, прямі та похилі перетворювачі (ПЕП). Процедура і фізика калібрування.	2	2	0	0
2.7	Практичне 8. Калібрування цифрового ультразвукового дефектоскопа за	2	0	2	0

	допомогою еталонних стандартних зразків (блоків) V1 (K1) та V2 (K2).				
2.8	Лекція 9. Методики УЗД (луна-імпульсний метод). Оцінка еквівалентної площі виявленого дефекту (АРД-діаграми, криві DAC/TCG).	2	2	0	0
2.9	Практичні 9-10. Сканування стикових з'єднань похилим ПЕП. Пошук, оцінка розмірів, локалізації імітованих дефектів та заповнення протоколу.	4	0	4	0
2.10	СРС 2. Дослідження сучасних інноваційних технологій УЗД: метод фазованих решіток (PAUT) та дифракційно-часовий метод (TOFD).	12	0	0	12
III	МОДУЛЬ 3. Радіографічний контроль, механічні випробування та сертифікація (RT, DT, QMS)	30	8	10	12
3.1	Лекція 10. Радіографічний контроль (RT). Фізика рентгенівського та гамма-випромінювання. Джерела випромінювання (ізотопи та рентген-трубки).	2	2	0	0
3.2	Лекція 11. Взаємодія випромінювання з речовиною. Радіографічні плівки, цифрова радіографія. Еталони чутливості (IQI).	2	2	0	0
3.3	Практичні 11-12. Розшифровка радіограм (рентгенівських плівок) за допомогою негатоскопа. Вимірювання дефектів, визначення класу якості.	4	0	4	0
3.4	Лекція 12. Руйнівний контроль (DT). Механічні випробування зварних з'єднань (статичний розтяг, згин, випробування на ударну в'язкість).	2	2	0	0
3.5	Практичне 13. Аналіз результатів випробувань зразків на розтяг і згин. Побудова та аналіз діаграм деформування.	2	0	2	0
3.6	Лекція 13. Металографічний аналіз (макро- та мікроаналіз). Кваліфікація зварювальників (ISO 9606) та атестація технологій (WPQR).	2	2	0	0
3.7	Практичне 14. Аналіз макрошліфів зварних з'єднань: хімічне травлення, вимірювання глибини проплавлення та розмірів зони термічного впливу (ЗТВ).	2	0	2	0
3.8	Практичне 15. Комплексний кейс: Вибір та інженерне обґрунтування оптимального комплексу методів NDT для заданої металоконструкції. Захист практичного портфоліо.	2	0	2	0

3.9	СРС 3. Охорона праці та радіаційна безпека при проведенні дефектоскопії. Робота з токсичними реактивами.	12	0	0	12
	РАЗОМ ЗА КУРСОМ:	90	26	30	34

5. ПРОГРАМА КУРСУ ТА ЗМІСТОВЕ НАПОВНЕННЯ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ (26 ГОДИН)

Лекційний курс, що складається з 13 пар (26 годин), зосереджений на формуванні глибокого фундаментального розуміння фізичних принципів, на яких базуються методи діагностики. Без розуміння фізики неможливо достовірно інтерпретувати покази складних цифрових приладів, оскільки дефектоскопія є непрямим методом вимірювання.

- Лекція 1. Вступ. Еволюція систем якості у зварювальному виробництві (2 год).**

Поняття якості продукції в сучасному машинобудуванні. Роль і місце технічного контролю у виробничому циклі підприємства. Огляд міжнародних систем менеджменту якості (QMS) на базі сімейства стандартів ISO 9001. Філософія загального управління якістю (Total Quality Management - TQM). Детальний огляд специфічного галузевого стандарту ISO 3834 «Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів». Концепція превентивного контролю: «Якість неможливо перевірити у готовому виробі, вона повинна в ньому створюватися на кожному етапі».
- Лекція 2. Міжнародна класифікація дефектів зварних з'єднань (ISO 6520) (2 год).**

Розмежування понять «дефект» (defect — те, що підлягає бракуванню) та «недосконалість» (imperfection — відхилення, що може бути допустимим). Детальна класифікація за міжнародним стандартом ISO 6520, яка поділяє всі дефекти на 6 великих груп: 1) Тріщини (найнебезпечніші: гарячі, холодні, поздовжні, поперечні, кратерні); 2) Порожнини (газові пори, свищі, усадкові раковини); 3) Тверді включення (шлакові, вольфрамові, оксидні плівки); 4) Непровари та відсутність сплавлення (по кромці або між валиками); 5) Відхилення форми та розмірів (підрізи, напливи, провисання кореня, зміщення кромки); 6) Інші дефекти (бризки металу, місцеві пошкодження від випадкового запалювання дуги). Фізико-металургійні та технологічні причини їх утворення (порушення режимів, вологість флюсу тощо).
- Лекція 3. Рівні якості (ISO 5817) та Візуальний контроль (VT) (2 год).**

Принципи нормування якості. Детальний розбір базового європейського стандарту ISO 5817 та його трьох рівнів якості: В (високий — stringent), С (середній — intermediate), D (помірний — moderate). Використання нормативних таблиць стандарту для визначення допустимих міліметрових розмірів недосконалостей (наприклад, глибини підрізу чи діаметра пори) залежно від товщини основного металу t . Метод візуального та вимірювального контролю (Visual Testing - VT) — найпростіший, найдешевший, але абсолютно обов'язковий перший етап будь-якої діагностики, без якого інші методи не застосовуються.
- Лекція 4. Вимоги до освітлення та оптичні прилади для VT (2 год).**

Ергономіка та фізіологія візуального контролю. Суворі норми освітленості робочої зони дефектоскопіста (не менше 350 люкс для загального огляду і понад 500 люкс для детального). Вимоги до кута огляду та відстані до об'єкта (відстань ока не більше 600 мм, кут зору не менше 30° до поверхні). Огляд допоміжних оптичних інструментів: використання вимірювальних луп (зі збільшенням $\times 2$ - $\times 10$), портативних вимірювальних мікроскопів, а також жорстких борескопів і гнучких відеоендоскопів для огляду важкодоступних внутрішніх поверхонь трубопроводів і закритих резервуарів.
- Лекція 5. Капілярний контроль (РТ - Penetrant Testing) (2 год).**

Призначення методу — високонадійне виявлення невидимих неозброєним оком поверхневих мікротріщин, пор і непроварів, що мають вихід на поверхню виробу. Фізична основа методу: явища змочування (крайовий кут змочування має бути гострим), капілярний тиск та закон

Лапласа (втягування рідини у вузькі канали). Класифікація пенетрантів: кольорові (зазвичай яскраво-червоні для денного світла) та флуоресцентні (світяться жовто-зеленим під дією ультрафіолетових UV-A ламп, мають найвищу чутливість). Види проявників (сухі порошки або спиртові суспензії). Чотири класи чутливості капілярного методу.

- **Лекція 6. Магнітопорошковий контроль (MT - Magnetic Testing) (2 год).**

Метод призначений для виявлення поверхневих та підповерхневих (на глибині до 2-3 мм) дефектів виключно у феромагнітних матеріалах (вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталях). Метод абсолютно не працює на алюмінії, міді, титані та аустенітних нержавіючих сталях (через їхню немагнітність). Фізика методу: при намагнічуванні деталі магнітний потік зустрічає перешкоду (тріщину з низькою магнітною проникністю); магнітні силові лінії "випирають" назовні, утворюючи локальне поле магнітного розсіяння; феромагнітні частинки (чорний магнітний порошок або магнітна суспензія) притягуються до цього поля, утворюючи чітко видимий індикаторний малюнок (валик), ширина якого значно перевищує ширину самої тріщини. Способи намагнічування: полюсний (за допомогою ярма) та циркулярний (пропусканням струму).

- **Лекція 7. Ультразвуковий контроль (UT). Фізика поширення УЗ-хвиль (2 год).**

Фундаментальні основи акустичних методів контролю. Фізика ультразвуку: пружні механічні коливання середовища з частотою понад 20 кГц (у зварювальній дефектоскопії застосовується діапазон від 1 до 10 МГц). П'єзоелектричний ефект (прямий та зворотний): здатність кристалів (кварц, титанат барію, п'єзокераміка ЦТС) генерувати УЗ-хвилі під дією змінного електричного струму і навпаки. Типи акустичних хвиль у твердому тілі: поздовжні (хвилі стиску-розтягу, поширюються у всіх середовищах), поперечні (хвилі зсуву, поширюються лише у твердих тілах), поверхневі (хвилі Релея). Швидкість поширення хвиль у сталі (поздовжня ~5900 м/с, поперечна ~3230 м/с). Явища відбиття, заломлення та трансформації хвиль на межі двох середовищ (закон Снелліуса).

- **Лекція 8. Обладнання для УЗД: дефектоскопи, ПЕП, калібрування (2 год).**

Архітектура та будова сучасного цифрового ультразвукового дефектоскопа (генератор зондуючих імпульсів, підсилювач, дисплей розгортки типу А-скан). Будова п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП): прямі (випромінюють поздовжні хвилі перпендикулярно поверхні) та похилі (оснащені призмою з плексигласу для генерації поперечних хвиль під заданим кутом — 45°, 60°, 70° — ідеальні для зварних швів). Роль контактної рідини (гліцерин, машинне масло, спеціальний гель) для забезпечення акустичного контакту, оскільки повітряний прошарок є абсолютним відбивачем для ультразвуку. Поняття "мертвої зони" (де контроль неможливий) та ближньої зони перетворювача. Принципи калібрування приладу.

- **Лекція 9. Методики УЗД. Оцінка розмірів дефекту (2 год).**

Сутність луна-імпульсного (ехо-імпульсного) методу, що є найпоширенішим у світі: випромінювання ультракороткого імпульсу та прийом відбитого від дефекту сигналу (луни). Визначення геометричних координат дефекту (глибини залягання Y та відстані вздовж поверхні X) за часом повернення акустичного імпульсу. Оскільки реальний фізичний розмір неправильного дефекту визначити ультразвуком неможливо, вводиться поняття оцінки еквівалентної площі дефекту (його порівнюють з площею ідеального плоского дискового відбивача). Використання спеціалізованих АРД-діаграм (Амплітуда-Відстань-Діаметр) та побудова кривих DAC/TCG (Distance Amplitude Correction / Time Corrected Gain) для налаштування чутливості дефектоскопа на різні глибини.

- **Лекція 10. Радіографічний контроль (RT). Джерела випромінювання (2 год).**

Фізичні основи використання іонізуючого випромінювання (X-Ray та Gamma-Ray) для заглядання всередину металу. Джерела випромінювання: рентгенівські трубки (генерують гальмівне випромінювання при бомбардуванні анода електронами, дозволяють регулювати інтенсивність) та радіоактивні ізотопи (Іридій-192, Кобальт-60, Селен-75, які випромінюють

гамма-кванти постійно). Проникаюча здатність та закони експоненціального послаблення випромінювання при проходженні крізь речовину (закон Бугера). Фізична суть виявлення дефекту: при наявності порожнини (пори, шлаку, непровару) щільність металу в цьому місці менша, тому випромінювання поглинається слабше, і на плівку потрапляє більше фотонів, створюючи темнішу пляму на негативі (тіньова картина дефекту).

- **Лекція 11. Радіографічні плівки та еталони чутливості (IQI) (2 год).**

Будова рентгенівської плівки (емульсійні шари з бромідом срібла). Використання підсилюючих екранів (свинцевої фольги для відсікання розсіяного випромінювання та флуоресцентних екранів для скорочення часу експозиції). Поняття оптичної щільності почорніння плівки. Огляд тенденцій розвитку: перехід до комп'ютерної (CR) та цифрової прямої радіографії (DR) з використанням багаторазових фосфорних пластин та плоскопанельних цифрових детекторів (повна відмова від токсичних хімічних реактивів для проявлення). Для юридичного підтвердження якості та різкості отриманого знімка обов'язково використовують еталони чутливості (IQI - Image Quality Indicators): дротяні (за європейським стандартом EN) або канавкові/кліткові, які встановлюються на деталь з боку джерела випромінювання перед просвічуванням.

- **Лекція 12. Руйнівний контроль (DT). Механічні випробування (2 год).**

Випробування спеціально підготовлених зразків зварних з'єднань (Destructive Testing) для визначення реальних механічних властивостей шва. Випробування на статичний розтяг на розривних машинах (визначення межі текучості σ_T , тимчасового опору розриву σ_B , відносного подовження; обов'язкова фіксація локалізації місця розриву — по основному металу, по ЗТВ чи по шву). Випробування на статичний згин навколо оправки (оцінка здатності шва до пластичної деформації до появи першої тріщини). Випробування на ударний згин (метод Шарпі з V-подібним надрізом) для визначення ударної в'язкості (показника схильності до крихкого руйнування) при нормальних, а головне — при мінусових експлуатаційних температурах. Вимірювання твердості (за Віккерсом HV, Брінеллем HB, Роквеллом HRC) у різних зонах шва (особливо небезпечно підвищення твердості в зоні термічного впливу).

- **Лекція 13. Металографічний аналіз. Кваліфікація персоналу та технологій (2 год).**

Макроструктурний аналіз (огляд відшліфованого та протравленого перерізу при малому збільшенні до $\times 50$) для вивчення загальної форми провару, виявлення макротріщин, шаруватості прокату та шлаків. Мікроструктурний аналіз (травлення спеціальними кислотами та огляд під високоточним металографічним мікроскопом $\times 100$ - $\times 1000$) для вивчення кристалічної структури металу шва, зони термічного впливу (ЗТВ) та лінії сплавлення (оцінка розміру зерна, виявлення крихких мартенситних чи бейнітних структур). Огляд європейських процедур гарантії якості: атестація та сертифікація зварювальників (ISO 9606) та атестація технології зварювання (WPQR — Welding Procedure Qualification Record) з розробкою фінальної специфікації процедури зварювання WPS (Welding Procedure Specification).

6. ПРОГРАМА КУРСУ ТА ЗМІСТОВЕ НАПОВНЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ (30 ГОДИН)

Практичні (лабораторні) заняття є абсолютним серцем дисципліни, формуючи "ручні" компетенції та моторну пам'ять контролера-дефектоскопіста. Усі 15 пар проводяться у спеціалізованій лабораторії неруйнівного контролю з використанням реальних зразків зварних з'єднань (труб, пластин), у які навмисно закладені (імітовані) різні дефекти.

- **Практичні 1-2 (4 години). Робота з міжнародними стандартами: класифікація дефектів за каталогами ISO 6520.**

- *Мета:* Опанувати міжнародну систему спілкування дефектоскопістів — систему цифрового кодування дефектів.

- *Алгоритм виконання:* Здобувачі освіти отримують роздаткові матеріали: великий альбом фотографій макрошліфів та рентгенограм із наявними дефектами. Завдання студента — спочатку ідентифікувати дефект візуально, потім знайти його детальний опис у наданому стандарті ISO 6520, визначити його точний тризначний або чотиризначний цифровий код (наприклад, 100 — тріщина, 104 — кратерна тріщина, 2011 — газова пора, 301 — шлакове включення, 401 — непровар кореня шва, 5011 — неперервний підріз) та записати його правильну англomовну назву.

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

- *Мета:* Набуття стійких навичок роботи зі спеціалізованим вимірювальним інструментом зварювальника.

- *Алгоритм виконання:* Здобувачі отримують реальні зварні пластини (стиківі та таврові) і труби. За допомогою універсальних шаблонів зварювальника (УШС-3, УШС-4, спеціалізованих катетомірів типу WG) студенти практично вимірюють геометричні параметри шва: ширину шва, висоту опуклості (підсилення), глибину небезпечних підрізів, величину кутового зміщення кромки. Після вимірювання здобувачі порівнюють отримані фактичні міліметрові значення з допустимими нормами за стандартом ISO 5817 для трьох рівнів якості (В, С, D) і виносять вердикт про придатність.

- **Практичне 5 (2 години). Оформлення офіційного протоколу візуально-вимірювального контролю (ВВК).**

- *Мета:* Навчити здобувачів юридично грамотно документувати результати своєї перевірки.

- *Алгоритм виконання:* Задokumentувати результати вимірювань попереднього заняття. Студент заповнює стандартний галузевий формуляр "Протокол візуально-вимірювального контролю". Вносить точні дані про об'єкт контролю (номер стику, креслення), матеріал, тип з'єднання, перелік усіх знайдених дефектів (із зазначенням їхніх ISO кодів та точних розмірів), формулює фінальний висновок про придатність ("Придатно / Брак") та ставить свій особистий підпис як інспектор, усвідомлюючи відповідальність.

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

- *Мета:* Виявлення найтонших поверхневих мікротріщин на алюмінієвих або сталевих зразках, невидимих для ока.

- *Алгоритм виконання:* Здобувачі виконують повний цикл РТ-контролю: 1) Ретельне механічне очищення та хімічне знежирення поверхні зразка (Cleaner). 2) Нанесення яскраво-червоного проникаючого пенетранту з аерозольного балона (Penetrant). 3) Технологічна витримка 10-15 хвилин для глибокого капілярного проникнення рідини в тріщини. 4) Акуратне видалення надлишків пенетранту з поверхні безворсовою тканиною так, щоб не вимити його з самої тріщини. 5) Нанесення тонкого шару білого проявника (Developer). 6) Огляд поверхні через 10 хвилин. Студенти спостерігають, як червона рідина "витягується" з тріщин на біле тло. Оформлення ескізу індикаторних слідів у зошиті.

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

- *Мета:* Пошук поверхневих та підповерхневих дефектів у феромагнітних сталях з високою продуктивністю.

- *Алгоритм виконання:* Нанесення тонкого шару білої контрастної фарби на сталевий зразок з прихованими тріщинами (опціонально для кращого контрасту). Намагнічування деталі за допомогою потужного ручного електромагнітного ярма (кліщів). Одночасне нанесення (напилення) чорної магнітної суспензії з балона. Здобувачі спостерігають та аналізують блискавичне утворення чорних магнітних валиків над тріщинами та непроварами, що виходять на поверхню. Оцінка орієнтації тріщини відносно полюсів ярма.

- **Практичне 8 (2 години). Калібрування цифрового ультразвукового дефектоскопа.**

- *Мета:* Підготовка складного електронного приладу до роботи (найвідповідальніший етап УЗД, від якого залежить 100% достовірності контролю).
- *Алгоритм виконання:* Здобувач самостійно підключає похилий п'єзоперетворювач (ПЕП, наприклад, з кутом 60° і частотою 4 МГц) до цифрового дефектоскопа (типу Krautkrämer USM 35 або Olympus). Встановлює в меню швидкість поперечної хвилі в сталі (3230 м/с). Далі проводить налаштування "нуля" перетворювача (затримки імпульсу в призмі ПЕП) за допомогою міжнародного калібрувального блоку V1 (K1). Після цього перевіряє реальний кут вводу променя та виконує налаштування глибиноміра (розгортки екрана) за допомогою радіусного блоку V2 (K2).

• **Практичні 9-10 (4 години). Сканування стикових з'єднань похилим ПЕП. Оцінка дефектів.**

- *Мета:* Практичний пошук внутрішніх прихованих дефектів у зварному шві та визначення їхніх координат.
- *Алгоритм виконання:* Студент наносить контактну рідину (масло/гель) на зачищену зону біля зварного шва пластини (товщина металу 16-20 мм). Проводить сканування зигзагоподібними (поперечно-повздовжніми) рухами ПЕП з одночасним легким повертанням (кутовим скануванням). При раптовій появі луна-сигналу (піку) на екрані дефектоскопа, студент невеликими рухами ПЕП добивається максимізації амплітуди цього сигналу. Зчитує з дисплея координати: глибину залягання дефекту (Y_S) та відстань до осі шва (X_S). Далі проводить оцінку еквівалентної площі знайденого дефекту, використовуючи вбудовані криві DAC (Distance Amplitude Correction). Заповнення офіційного протоколу УЗД.

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

- *Мета:* Читання та інтерпретація рентгенівських плівок зварних швів, як у справжній ЛНК.
- *Алгоритм виконання:* Здобувач розміщує рентгенівську плівку на екрані негатоскопа (спеціального приладу для підсвічування плівок високої яскравості). Спочатку оцінює якість самого знімка: перевіряє оптичну щільність та шукає зображення еталона чутливості (дротяного IQI). Визначає, який найтонший дріт еталона видно на знімку (це визначає чутливість контролю). Далі студент ідентифікує реальні дефекти за формою і контрастом темних плям (круглі чорні крапки — газові пори, витягнуті темні смуги з нерівними краями — шлакові включення, тонка темна лінія строго по центру шва — непровар кореня, дві паралельні темні лінії — підрізи). Проводить точне вимірювання довжини дефектів за допомогою прозорої лінійки та відносить шов до конкретного класу якості за стандартом ISO 5817.

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

- *Мета:* Математична обробка експериментальних даних випробувань на розтяг і згин.
- *Алгоритм виконання:* Здобувачі аналізують отримані в лабораторії опору матеріалів (або згенеровані викладачем) машинні діаграми розтягу реальних зварних зразків. Визначають за графіком зусилля текучості та зусилля руйнування. Обчислюють межу текучості та тимчасовий опір розриву у Мегапаскалях. Аналізують кут згину при випробуванні на статичний згин навколо оправки до появи першої мікротріщини.

• **Практичне 14 (2 години). Макроструктурний аналіз зварних з'єднань (Металографія).**

- *Мета:* Візуалізація внутрішньої мікроструктури шва для оцінки якості проплавлення.
- *Алгоритм виконання:* Студенти отримують заздалегідь підготовлені (відрізані та відполіровані до дзеркального блиску) поперечні перерізи зварних швів. За допомогою ватної палички обережно проводять хімічне травлення поверхні слабким розчином азотної кислоти у

спирті (ніталем). Спостерігають візуалізацію макроструктури: чітко проявляється литий метал шва, світла лінія сплавлення та затемнена зона термічного впливу (ЗТВ). За допомогою лупи з вимірювальною шкалою вимірюють фактичну глибину провару, ширину шва та ширину ЗТВ, а також шукають можливі внутрішні макротріщини.

- **Практичне 15 (2 години). Комплексний аналітичний кейс та захист портфоліо.**

- *Мета:* Перевірка здатності здобувача до комплексного інженерного синтезу знань.

- *Алгоритм виконання:* Викладач задає складні вихідні дані. Наприклад: "Необхідно проконтролювати монтажний кільцевий стик магістрального трубопроводу високого тиску. Товщина стінки 25 мм, марка сталі 12Х1МФ, доступ для дефектоскопіста є лише ззовні труби". Здобувач повинен аргументовано обґрунтувати вибір оптимального комплексу методів контролю. *Еталонна відповідь:* 100% візуальний контроль (VT) + 10% магнітопорошковий контроль (MT) для надійного пошуку поверхневих тріщин + 100% ультразвуковий контроль (UT) для пошуку внутрішніх несправ та 20% радіографічного контролю (RT) для підтвердження результатів УЗД. Фінальний захист накопиченого портфоліо заповнених протоколів.

7. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ (СРС)

Самостійна робота становить 34 години (майже 38% від загального обсягу курсу) і є абсолютно обов'язковим елементом підготовки кваліфікованого інспектора. Вона спрямована на опрацювання нормативної бази та вивчення інноваційних технологій, які постійно з'являються на ринку. Результати оцінюються в системі поточних накопичувальних балів (максимум 10 балів).

- **Домен 1 (10 годин): Глибоке опрацювання стандарту ISO 5817.** Здобувач повинен самостійно завантажити, перекласти та проаналізувати оригінальний європейський стандарт ISO 5817. *Завдання:* скласти зведену порівняльну електронну таблицю допустимих геометричних розмірів 5 різних найпоширеніших дефектів (газова пора, шлакове включення, підріз, несправ кореня, надмірна опуклість шва) для рівнів якості В (найвищий — stringent), С (intermediate) і D (найнижчий — moderate) для фіксованої товщини основного металу $s_t = 10\text{ мм}$. Це завдання формує жорсткі навички роботи з міжнародними табличними нормами, що є критично важливим для досягнення результату навчання РНЗ.

- **Домен 2 (12 годин): Інноваційні цифрові технології УЗД (PAUT та TOFD).**

Класичний УЗ-дефектоскоп поступово відходить у минуле. Підготовка аналітичної презентації (10-15 ілюстрованих слайдів) про найсучасніші технології ультразвукової дефектоскопії. Здобувач повинен пояснити інженерній аудиторії фізичний принцип методу фазованих решіток (Phased Array UT — PAUT), який використовує електронне (а не механічне) фокусування та сканування променем під різними кутами без фізичного переміщення ПЕП. Також пояснити суть дифракційно-часового методу (Time-Of-Flight Diffraction - TOFD), який базується не на відбитті, а на дифракції хвиль від країв тріщини, що дає неперевершену точність вимірювання саме висоти дефекту. Обов'язкове економічне та технологічне порівняння цих методів з традиційним ручним УЗД та рентгеном.

- **Домен 3 (12 годин): Охорона праці та радіаційна безпека в лабораторії дефектоскопії.** Дефектоскопія супроводжується специфічними, іноді летальними ризиками для здоров'я персоналу. Здобувач готує розгорнутий реферат щодо правил техніки безпеки за двома напрямками: 1) Робота з хімічними реактивами (використання легких, вогне небезпечних та токсичних розчинників, пенетрантів при РТ) — вимоги до припливно-витяжної вентиляції, захисту шкіри та дихальних шляхів. 2) Радіаційна безпека (найважливіший аспект) — суворі правила поводження з радіоактивними ізотопами (Іридій-192, Кобальт-60) при гамма-дефектоскопії. Опис свинцевих контейнерів-коліматорів, обов'язкове носіння індивідуальних дозиметрів, розрахунок безпечної відстані (зони відчуження) від джерела за допомогою закону

зворотних квадратів, порядок евакуації персоналу та алгоритм дій контролера при аварійному випадінні джерела (капсули) з направляючого ам'ячного шланга.

Комплексне Індивідуальне Навчально-Дослідне Завдання (ІНДЗ):

Для слухачів, які прагнуть отримати найвищі бали (оцінка «Відмінно» / А) і продемонструвати глибоку експертизу, передбачено виконання ІНДЗ, яке може замінити виконання СРС.

Тематика ІНДЗ (на вибір):

1. **«Розробка Інструкції з Візуально-Вимірювального Контролю (ВВК)»** — створення повноцінного внутрішнього нормативного документа (регламенту) для ВТК підприємства щодо проведення ВВК конкретного зварного виробу з ескізами та посиланням на ISO.
2. **«Порівняльний аналіз цифрової та плівкової радіографії»** — економіко-технічний аналіз доцільності переходу підприємства з класичних хімічних рентгенівських плівок на цифрові фосфорні пластини (CR).
3. **«Аудит якості зварювання (ISO 3834)»** — розробка чек-листа для проведення внутрішнього аудиту зварювального цеху на відповідність вимогам стандарту ISO 3834-2.

8. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Висока якість та актуальність засвоєння курсу "Контроль якості зварювання" безпосередньо і критично залежить від наявності найсучасніших міжнародних стандартів, спеціалізованої довідкової літератури та доступу до цифрових приладів.

Базова (основна) навчальна література:

1. *Троїцький В. О.* Неруйнівний контроль якості зварних з'єднань : підручник. – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2018. (Головний фундаментальний підручник з фізики NDT в Україні).
2. *Контроль якості зварювальних робіт* / навч. посіб. під ред. В. Д. Кузнецова. – Київ: Основа, 2020. (Практичний посібник для техніків).
3. *Міжнародний довідник з дефектоскопії (NDT Handbook, ASNT)* - обрані перекладені розділи щодо ультразвукового та радіографічного методів контролю.

Нормативна база (Міжнародні та національні стандарти): Використовуються виключно актуальні на 2025 рік редакції стандартів. 4. ДСТУ EN ISO 9001:2018 «Системи управління якістю. Вимоги». 5. ДСТУ EN ISO 3834 (частини 1-5) «Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів» (базовий галузевий стандарт). 6. ДСТУ EN ISO 6520-1:2019 «Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах». 7. ДСТУ EN ISO 5817:2016 «Зварювання. Зварні з'єднання, виконані плавленням на сталі, нікелі, титані та їхніх сплавах. Рівні якості щодо дефектів». 8. ДСТУ EN ISO 17637:2018 «Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Візуальний контроль зварних з'єднань, виконаних плавленням». 9. ДСТУ EN ISO 3452-1:2018 «Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Частина 1. Загальні вимоги».

Апаратне забезпечення (Обладнання та прилади ЛНК): Для повноцінного проведення лабораторних робіт коледж використовує наступну матеріально-технічну базу: 10. Універсальні шаблони зварювальника (УШС-3, УШС-4, міжнародні катетоміри WG1-WG15), високоточні штангенциркулі, вимірювальні лупи (з підсвічуванням та шкалою). 11. Стандартизовані аерозольні комплекти для капілярної дефектоскопії (РТ) від провідних виробників (Magnaflux, MR Chemie): очисник (Cleaner), червоний пенетрант (Penetrant), білий проявник (Developer). 12. Ручні електромагнітні кліщі (ярма) змінного струму, чорна магнітна суспензія в аерозолях, еталонні зразки для МТ. 13. Цифрові ультразвукові дефектоскопи (UT) індустріального класу (наприклад, Krautkrämer USM 35, Olympus EPOCH 600 або аналогічні), міжнародні калібрувальні стандартні зразки (блоки) V1 та V2 (K1, K2), набір прямих та похилих п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) на 2-5 МГц. 14. Негатоскопи високої

яскравості (LED) для перегляду радіограм високої оптичної щільності, лінійки оптичної щільності (денситометри), комплекти навчальних рентгенівських плівок із реальними дефектами та дротяні еталони чутливості (IQI).

Цифрове та програмне забезпечення:

15. Інтегрована система управління навчанням (LMS Moodle / Google Workspace) для цілодобового доступу здобувачів до лекційних матеріалів, здачі CPC, проходження комп'ютерного модульного тестування (МКР) та дистанційного аналізу оцифрованих рентгенограм.

9. ВІДОМОСТІ ПРО ВИКЛАДАЦЬКИЙ СКЛАД (КАДРОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ)

Кадрове забезпечення дисципліни «Контроль якості зварювання» повністю і безкомпромісно відповідає Ліцензійним умовам провадження освітньої діяльності на рівні фахової передвищої освіти. Викладання дисципліни здійснюється викладачами спеціальних інженерних дисциплін з базовою вищою освітою (рівень магістра або спеціаліста) виключно за профільними напрямками: «Зварювальне виробництво» або «Прилади та методи неруйнівного контролю».

Особливі (Специфічні) обов'язкові вимоги до викладача даного курсу:

1. **Виробничий досвід:** Викладач повинен мати реальний, підтверджений виробничий досвід роботи у відділі технічного контролю (ВТК) або акредитованій лабораторії неруйнівного контролю (ЛНК) на сучасному машинобудівному чи суднобудівному підприємстві.
2. **Міжнародна сертифікація:** Викладач повинен мати (або мати в минулому) діючий сертифікат фахівця з неруйнівного контролю II рівня (NDT Level II згідно з вимогами міжнародного стандарту ISO 9712) хоча б з одного, а бажано з кількох основних методів контролю (VT, UT, RT). Це гарантує, що викладач володіє не лише теорією, але й реальною експертизою налаштування приладів.
3. **Знання нормативної бази:** Викладач повинен досконало і актуально знати вимоги європейських стандартів серії EN ISO та вміти навчити студентів працювати з ними.
4. **Психолого-педагогічна підготовка:** Викладач повинен обов'язково пройти спеціалізовані курси (або тренінги) з основ Педагогіки, обізнаної з травмою (Trauma-Informed Approach), щоб забезпечити екологічну та психологічно безпечну атмосферу в лабораторіях дефектоскопії.

10. ФОРМИ ДОКУМЕНТІВ (НОРМАТИВНИЙ СУПРОВІД ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ)

Освітній процес з дисципліни суворо регламентується і документується за допомогою затверджених академічних форм, що імітують документообіг реальної лабораторії контролю якості підприємства:

- **Робоча навчальна програма (Силабус дисципліни / Working Syllabus):** Головний затверджений документ, який надається здобувачам освіти в цифровому форматі (через LMS) на першому вступному занятті. Містить вичерпний опис цілей, академічної політики, графіка здачі лабораторних звітів, дедлайнів та прозорих критеріїв оцінювання.
- **Журнал обліку навчальних занять:** Офіційний фінансово-академічний документ (електронний та паперовий) для постійної фіксації відвідуваності та виставлення поточних балів.
- **Методичні вказівки до виконання практичних робіт:** Спеціалізований деталізований збірник, розроблений викладачами коледжу. Містить покрокові інструкції з безпечної експлуатації та калібрування ультразвукових дефектоскопів, алгоритми розведення капілярних рідин, а також, що найголовніше — чисті бланки офіційних протоколів (Report

Forms) неруйнівного контролю (спроектовані на англійській та українській мовах за зразками реальних європейських ЛНК).

- **Індивідуальне Портфоліо здобувача:** Цифровий (або зшитий паперовий) персональний репозитарій студента. У ньому акумулюються всі власноруч заповнені та підписані протоколи VT, PT, MT, UT контролю з ескізами знайдених дефектів, а також презентації та звіти з виконаної СРС. Це портфоліо може використовуватися студентом на співбесідах під час працевлаштування.

- **Відомість обліку поточної та підсумкової успішності:** Зведений підсумковий документ для деканату коледжу.

- **Екзаменаційні білети:** Офіційний пакет завдань, затверджений методичною комісією. Білети містять комплексні завдання, орієнтовані на перевірку знання стандартів та вирішення практичних кейсів з контролю якості.

11. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ТА КРИТЕРІЇ НАРАХУВАННЯ БАЛІВ

Оцінювання успішності здобувачів здійснюється за прозорою 100-бальною накопичувальною системою, яка структурно розділена на поточний контроль (максимум 70 балів, що заробляються впродовж семестру) та підсумковий екзамен (максимум 30 балів). Оцінювання безкомпромісно базується на принципах академічної доброчесності та об'єктивності.

11.1. Розподіл балів поточного контролю (Макс. 70 балів)

- **Робота на практичних (лабораторних) заняттях (40 балів):** Це основа поточного балу. Оцінюється моторна якість, технічна грамотність та достовірність виконання практичних робіт. Викладач індивідуально оцінює: правильність і швидкість налаштування УЗ-дефектоскопа за еталоном V1, точність вимірювання катетів і підрізів за допомогою шаблонів (похибка не повинна перевищувати ± 0.5 мм), абсолютну правильність класифікації дефектів за ISO 6520 та вичерпну повноту заповнення офіційних протоколів контролю. За кожне з 15 практичних занять виставляється бал.

- **Модульний контроль (МКР) (20 балів):** Регулярно проводяться 3 контрольні заходи (оцінюються пропорційно). Формат: теоретичне комп'ютерне тестування в системі LMS Moodle (з обмеженням часу) або візуальний аналіз запропонованої викладачем складної дефектограми/макросліфа.

- **Виконання самостійної роботи (СРС) (10 балів):** Оцінюється технічна глибина та повнота самостійного опрацювання стандарту ISO 5817 (домен 1) та якість (інформативність, дизайн) підготовлених рефератів/презентацій з інноваційних методів УЗД та радіаційної безпеки.

- **Умова допуску до екзамену:** Здобувач фахової передвищої освіти зобов'язаний набрати мінімум 42 бали (з 70 можливих) та, що критично важливо, здати викладачу УСІ правильно заповнені протоколи практичних робіт.

11.2. Підсумковий екзамен (Макс. 30 балів)

Екзаменаційний білет формується за принципом перевірки різних когнітивних рівнів і містить 3 запитання (кожне оцінюється максимум у 10 балів):

1. *Питання 1 (Теоретичний домен - Рівень знання):* Пояснення фізичних основ одного з методів неруйнівного контролю (фізика розповсюдження ультразвуку, природа рентгенівського випромінювання або капілярні явища). Класифікація та причини утворення конкретної групи дефектів.

2. *Питання 2 (Практичне завдання - Робота зі стандартами):* Аналітичне завдання на визначення допустимості описаного або сфотографованого дефекту (наприклад, "газова пора діаметром 3 мм на металі товщиною 8 мм") згідно з міжнародним стандартом ISO 5817 для заданого екзаменатором рівня якості (В, С або D).

3. *Питання 3 (Технологічний інженерний кейс - Рівень синтезу):* Комплексна багатокрокова задача з вибору та ґрунтовного інженерного обґрунтування оптимального

набору (комбінації) методів контролю (VT, PT, UT, RT) для заданої відповідальної зварної конструкції (наприклад, головної балки моста, корпусу реактора або магістрального трубопроводу під високим тиском).

11.3. Академічний рубрикатор оцінювання (Rubrics)

- **Відмінно (А, 90-100 балів):** Блискучий експертний рівень. Глибокі, системні знання фізики методів контролю та вимог європейських стандартів. Здобувач самостійно і впевнено калібрує УЗ-дефектоскоп (екран, посилення, DAC), безпомилково розшифровує складні рентгенограми, вимірюючи дефекти. Заповнює протоколи контролю без жодних зауважень (як справжній інспектор ЛНК). Здатний логічно, технічно грамотно і безпечно обґрунтувати вибір методу NDT для будь-якої деталі.
- **Добре (В, С, 74-89 балів):** Високий та достатній рівень. Правильне розуміння сутності та фізики методів контролю. Практичні роботи виконані вірно, але можливі незначні неточності у вимірюваннях (наприклад, похибка у визначенні глибини залягання дефекту на УЗД в 1-2 мм) або дрібні граматичні/стилістичні помилки у заповненні протоколів. Вміє впевнено користуватися таблицями стандарту ISO 5817.
- **Задовільно (D, E, 60-73 бали):** Базовий, репродуктивний пороговий рівень знань. Здобувач плутається у фізичних принципах (наприклад, не розуміє принципової різниці між поздовжніми і поперечними УЗ-хвилями або плутає магнітний контроль з капілярним). Зазнає значних труднощів при самостійному калібруванні електронних приладів, потребує постійних прямих підказок викладача для виявлення дефекту на екрані. Протоколи заповнені неохайно або не повністю.
- **Незадовільно (FX, F, 0-59 балів):** Фахові компетенції інспектора-дефектоскопіста абсолютно не сформовані. Повна нездатність ідентифікувати візуально навіть базовий макродефект (велику тріщину чи непровар), невміння користуватися елементарними вимірювальними шаблонами (УШС). Повна нездатність знайти інформацію в нормативних документах (ДСТУ, ISO). Факт підробки результатів контролю (списування чужого протоколу). Робота вимагає обов'язкового повторного вивчення дисципліни.

12. МЕТОДОЛОГІЯ ТА АКАДЕМІЧНІ МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Специфіка курсу «Контроль якості зварювання» полягає в тому, що він поєднує глибоку абстрактну фізику з тонкою мікромоторикою рук. Тому освітній процес використовує синергетичний підхід.

- **Проблемно-візуалізовані інтерактивні лекції:** Оскільки лекційний курс (26 годин) базується на складній фізиці (поширення ультразвуку, магнетизм, радіоактивне випромінювання), класичне надиктовування тексту є неефективним. Лекції супроводжуються мультимедійними комп'ютерними анімаціями (поширення акустичних хвиль у твердому тілі), відеодемонстраціями процесу хімічного проявлення дефектів при капілярному контролі та роботи роботизованих систем ультразвукового контролю труб на світових заводах.
- **Практично-орієнтоване навчання (Learning by doing):** Набуття навичок дефектоскопіста неможливе без сенсорного, тактильного досвіду. Здобувачі освіти безпосередньо і багато працюють руками в лабораторії: розпилюють хімічні пенетранти, сканують шви п'єзоперетворювачами, вдивляються через вимірювальні лупи та яскраві негатоскопи. Це формує м'язову пам'ять (правильний кут нахилу ПЕП, швидкість сканування) та професійну моторику контролера.
- **Метод аналізу конкретних ситуацій (Case-study):** На практичних заняттях проводиться глибокий аналіз реальних дефектограм (УЗД) та радіограм (знімків), отриманих із заводів. Здобувачі на занятті виступають виключно у ролі незалежних експертів ВТК, які повинні прийняти відповідальне рішення: забракувати деталь (відправити в металообробку), відправити на ремонт чи допустити до експлуатації. Це рішення вони вчаться приймати,

спираючись *виключно на жорсткі цифрові норми стандарту*, а не на власну інтуїцію чи припущення.

13. ПОЛІТИКА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (АКАДЕМІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ)

Академічна політика дисципліни покликана сформувати у студента не лише знання, але й професійний етичний кодекс інспектора з якості.

- **Суворі політика академічної доброчесності та професійної етики:** У сфері технічного контролю (особливо в авіації, атомній енергетиці чи будівництві мостів) будь-яка підrobка результатів вимірювань або фальсифікація протоколів (пропуск тріщини) може призвести до техногенних катастроф. Студенти зобов'язані самостійно проводити вимірювання та записувати в протоколи **лише ті дані, які вони реально отримали на приладах**. Спроби "підгонки" результатів під "ідеальні" цифри, списування чужих протоколів або фальсифікація висновків жорстко карається негайним анулюванням роботи (0 балів) без права апеляції на даному етапі.

- **Охорона праці, екологія та безпека життєдіяльності (HSE):** Лабораторія дефектоскопії містить обладнання підвищеної небезпеки. Під час роботи з пенетрантами та проявниками (капілярний контроль РТ) обов'язкове ввімкнення припливно-витяжної вентиляції та використання рукавичок, оскільки реактиви містять леткі, вогненебезпечні та токсичні розчинники. Забороняється самостійно вмикати електрообладнання (дефектоскопи, електромагнітні ярма) та негатоскопи без дозволу викладача.

- **Студентоорієнтоване, підтримуюче середовище:** На заняттях всіляко заохочується професійна відповідальність та ініціатива. Дефектоскопія часто має справу з неоднозначними сигналами приладів (хибні луна-сигнали). Якщо здобувач має сумніви щодо правильності калібрування дефектоскопа або вагається у класифікації виявленого дефекту на рентгенограмі, він зобов'язаний зупинитися і звернутися до викладача за консультацією. Запитання в лабораторії є ознакою професіоналізму, а не слабкості.

- **Політика відвідуваності та управління пропусками:** Пропуски практичних лабораторних занять з роботи на реальних приладах є вкрай критичними, оскільки ці тактильні навички неможливо здобути дистанційно, з перегляду відео на YouTube або прочитання підручника. Усі пропущені (навіть з поважних причин) практичні роботи мають бути обов'язково відпрацьовані індивідуально в лабораторії (шляхом роботи з приладами) за спеціально узгодженим графіком з викладачем у позааудиторний час.

- **Використання гаджетів:** Використання мобільних телефонів на практичних заняттях дозволяється виключно з дидактичною метою: як калькуляторів для розрахунку параметрів за АРД-діаграмами, для фотофіксації індикаторних слідів дефектів або макрошліфів (для подальшого вставлення у звіт), або для швидкого пошуку нормативів ISO в Інтернеті. Використання гаджетів для розваг веде до видалення з лабораторії.

14. КОМПЛЕКСНИЙ ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ, ТЕМ ТА ПРАКТИЧНИХ КЕЙСІВ ДЛЯ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ (ЕКЗАМЕНУ)

Екзаменаційний білет з дисципліни «Контроль якості зварювання» формується за принципом зростання когнітивного навантаження і складається з трьох рівневих блоків. Мета екзамену — комплексна верифікація здатності здобувача не лише відтворювати теоретичний матеріал, а й застосовувати стандарти ISO та приймати юридично і технічно обґрунтовані рішення щодо якості зварних конструкцій. Максимальна оцінка за виконання всіх завдань білета становить 30 балів.

Відповідно до імplementованої в освітній процес Педагогіки, обізнаної з травмою (Trauma-Informed Approach), екзаменатор зобов'язаний забезпечити психологічно безпечне середовище. Якщо усний захист аналітичного кейсу (Блок 3) викликає у здобувача надмірний стрес,

завдання має бути негайно переведене у формат індивідуальної письмової відповіді (з наданням додаткового часу) без зниження рейтингового бала.

БЛОК 1. РЕПРОДУКТИВНО-АНАЛІТИЧНИЙ РІВЕНЬ (ТЕОРЕТИЧНИЙ ДОМЕН)

Перевірка фундаментальних знань фізики методів неруйнівного контролю (NDT), розуміння природи дефектів та міжнародних стандартів серії ISO. Оцінюється максимум у 10 балів.

1. Наведіть міжнародну класифікацію дефектів зварних з'єднань згідно зі стандартом ISO 6520. Охарактеризуйте 6 основних груп недосконалостей.
2. Розкрийте фізико-металургійні причини утворення гарячих (кристалізаційних) та холодних (водневих) тріщин у зварних швах. Чому тріщини є найбільш критичними дефектами?
3. Поясніть концепцію рівнів якості згідно зі стандартом ISO 5817 (рівні B, C, D). Як товщина основного металу впливає на допуск розмірів дефекту?
4. Охарактеризуйте метод візуально-вимірювального контролю (VT). Які вимоги висуваються до освітленості робочої зони та які оптичні прилади застосовуються?
5. Розкрийте фізичну сутність капілярної дефектоскопії (PT). Поясніть явища змочування, капілярного тиску та роль кольорового пенетранту і білого проявника.
6. Поясніть фізичний принцип магнітопорошкового контролю (MT). Чому цей метод не застосовується для діагностики зварних швів на алюмінієвих або аустенітних нержавіючих сталях?
7. Розкрийте фізику поширення ультразвукових хвиль у твердому тілі. У чому полягає різниця між поздовжніми, поперечними та поверхневими (Релея) хвилями?
8. Поясніть прямий та зворотний п'єзоелектричний ефект. Охарактеризуйте будову похилого п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП) для контролю зварних швів.
9. Розкрийте фізичну природу рентгенівського та гамма-випромінювання. Як відбувається взаємодія іонізуючого випромінювання з металом під час радіографічного контролю (RT)?
10. Для чого під час радіографічного контролю обов'язково застосовуються еталони чутливості (IQI — Image Quality Indicators)? Наведіть приклади дротяних та канавкових еталонів.
11. Охарактеризуйте основні методи руйнівних механічних випробувань зварних з'єднань (статичний розтяг, згин, випробування на ударну в'язкість за Шарпі). Які характеристики вони визначають?
12. Що таке система менеджменту якості зварювального виробництва згідно з ISO 3834? Поясніть роль та відповідальність координатора зварювальних робіт.

БЛОК 2. КОНСТРУКТИВНИЙ РІВЕНЬ (РОБОТА ЗІ СТАНДАРТАМИ ТА МЕТОДИКАМИ)

Перевірка вміння застосовувати нормативно-довідкову інформацію для класифікації дефектів та розрахунку параметрів контролю. Максимальна оцінка — 10 балів.

13. **Робота з ISO 5817 (Оцінка допустимості):** Під час візуального контролю (VT) стикового шва сталевій пластині товщиною $t = 12$ мм виявлено суцільний підріз (код 5011 за ISO 6520) глибиною $h = 1.2$ мм. Використовуючи таблиці стандарту ISO 5817, визначте, чи є цей дефект допустимим для рівня якості C (Intermediate). Сформулюйте вердикт ("Придатно / Брак").
14. **Розрахунок координат дефекту (UT):** Під час ультразвукового контролю стикового шва похилим перетворювачем з кутом вводу променя $\alpha = 60^\circ$ на екрані дефектоскопа отримано луна-сигнал від дефекту. Відстань по променю (шлях ультразвуку) становить $S = 30$ мм. Розрахуйте фактичну глибину залягання дефекту (Y_f) та відстань від точки виходу променя до епіцентру дефекту (X_f) на поверхні.
15. **Вибір параметрів рентгенографії (RT):** Для радіографічного контролю кільцевого стику трубопроводу (товщина стінки 10 мм) необхідно вибрати джерело випромінювання.

Обґрунтуйте, що доцільніше застосувати: рентгенівський апарат спрямованої дії (напруга 160 кВ) чи радіоактивний ізотоп Іридій-192. Поясніть свій вибір з огляду на радіаційну товщину, фокусну відстань та безпеку.

16. **Ідентифікація дефектів за макрошліфом:** Вам надано фотографію макрошліфа таврового зварного з'єднання після хімічного травлення ніталем. У корені шва спостерігається чітка темна смуга відсутності сплавлення між стінкою та полицею, а біля поверхні — скупчення круглих чорних точок. Ідентифікуйте дефекти, призначте їм коди за ISO 6520 та поясніть технологічні причини їх утворення.

17. **Калібрування УЗ-дефектоскопа:** Опишіть покроковий алгоритм налаштування "нуля" (затримки в призмі) похилого ПЕП за допомогою еталонного блоку V1 (K1). Чому без цієї процедури будь-які покази глибини дефекту будуть хибними?

БЛОК 3. АНАЛІТИЧНО-ТВОРЧИЙ РІВЕНЬ (ІНЖЕНЕРНИЙ КЕЙС / TROUBLESHOOTING)

Комплексне завдання найвищого рівня когнітивної складності (рівень синтезу та оцінки). Здобувач повинен виступити в ролі незалежного експерта (інспектора) та розв'язати кризову виробничу ситуацію. Максимальна оцінка — 10 балів.

18. **Кейс «Магістральний газопровід»:** Ваше підприємство виконує будівництво магістрального газопроводу високого тиску (діаметр труби 1220 мм, товщина стінки 20 мм, сталь 17Г1С). Автоматичне зварювання неповоротного стику. Розробіть та обґрунтуйте оптимальний комплексний алгоритм неруйнівного контролю (NDT) цього стику. Які методи, в якій послідовності та в якому обсязі (відсотковому відношенні) ви застосуєте для гарантування повної відсутності поверхневих та внутрішніх дефектів?

19. **Кейс «Аерокосмічна галузь (РТ-контроль)»:** Ви контролер на заводі з виготовлення паливних баків для ракет-носіїв з алюмінієвого сплаву (товщина 6 мм). При капілярному контролі (РТ) дефектів не виявлено. Однак, конструктор вимагає 100% гарантії відсутності внутрішніх оксидних плівок та вольфрамових включень. Обґрунтуйте, чому радіографічний контроль (RT) буде ефективнішим за ультразвуковий (UT) у цьому конкретному випадку (врахуйте акустичні властивості алюмінію та специфіку TIG-зварювання).

20. **Кейс «Ремонт мостового крана (MT vs RT)»:** Під час технічного обслуговування мостового крана вантажопідйомністю 50 тонн у цеху з високим рівнем запиленості та масляних забруднень виникла підозра на наявність втомних мікротріщин у зварних швах головної балки (феромагнітна сталь). Який метод поверхневої дефектоскопії — капілярний (РТ) чи магнітопорошковий (MT) — ви оберете для діагностики безпосередньо в цеху? Обґрунтуйте вибір, спираючись на фізику методів, вимоги до підготовки поверхні та швидкість контролю.

21. **Кейс «Криза УЗД-контролю (Хибні луна-сигнали)»:** Ви проводите ультразвуковий контроль стикового шва товщиною 30 мм (V-подібна розділка). На екрані дефектоскопа постійно з'являється яскраво виражений пік на відстані, що відповідає нижній поверхні деталі (кореню шва), хоча візуально корінь виглядає ідеально сформованим. Як розрізнити, чи це реальний непровар у корені, чи це хибний луна-сигнал (відбиття від валика провисання кореня шва)? Опишіть ваші дії з маніпулювання ПЕП (зондування з двох боків) для встановлення істини.

22. **Кейс «Радіаційна безпека (Аварійна ситуація)»:** Ви працюєте в польовій лабораторії з гамма-дефектоскопом (джерело Іридій-192). Під час експозиції механізм повернення ампули з ізотопом заклинило, і джерело залишилося в направляючому аміачному шлангу поза захисним свинцевим контейнером. Опишіть ваш чіткий покроковий алгоритм дій як дефектоскопіста для уникнення опромінення персоналу та ліквідації аварійної ситуації згідно з протоколами радіаційної безпеки.

15. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ, МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Система діагностики та оцінювання з дисципліни «Контроль якості зварювання» спрямована на комплексну валідацію не лише теоретичних знань, але й жорстких прикладних навичок роботи з дефектоскопічним обладнанням та нормативними документами.

15.1. Засоби діагностики успішності навчання (Assessment Instruments)

Оцінювання здійснюється системно та безперервно протягом усього 4-го семестру:

1. **Формувальне оцінювання (Formative Assessment):** Здійснюється викладачем на кожному практичному занятті в лабораторії НК. Оцінюється моторна правильність калібрування УЗ-дефектоскопа за зразками V1/V2, точність ручних вимірювань за допомогою УШС-3, а також дотримання протоколів нанесення пенетрантів при капілярному контролі (РТ).
2. **Документальна валідація (Review of Records):** Перевірка правильності, вичерпності та юридичної грамотності заповнення стандартизованих формулярів та офіційних протоколів (Reports) за результатами візуального, ультразвукового та капілярного контролів.
3. **Модульний контроль (Module Assessment):** Проводиться у формі 3-х комп'ютерних тестувань (Computer-Based Testing) у системі LMS Moodle або у формі візуального аналізу наданих викладачем дефектограм/радіограм. Тести містять питання з фізики NDT та класифікації за ISO 6520.
4. **Оцінювання самостійної роботи (CPC):** Перевірка аналітичних звітів з порівняльного аналізу стандартів (ISO 5817) та презентацій щодо інноваційних технологій (PAUT, TOFD).
5. **Підсумковий контроль (Summative Assessment):** Проведення семестрового екзамену за тривірневими білетами (Блок 1, Блок 2, Блок 3). Умова допуску до екзамену — мінімум 42 бали за поточну роботу та 100% зданих заповнених протоколів практичних робіт.

15.2. Навчально-методичне та матеріально-технічне забезпечення

Дисципліна надзвичайно залежна від матеріальної бази, оскільки дефектоскопію неможливо вивчити виключно за підручниками.

1. **Нормативно-методична база:**
 - Затверджений розгорнутий Силабус навчальної дисципліни.
 - Збірник методичних вказівок для проведення практичних (лабораторних) занять (містить покрокові інструкції з калібрування приладів, бланки протоколів, таблиці АРД).
 - Офіційні актуальні редакції міжнародних стандартів: ДСТУ EN ISO 9001:2018, ДСТУ EN ISO 3834, ДСТУ EN ISO 6520-1:2019, ДСТУ EN ISO 5817:2016.
2. **Навчальна література:**
 - Троїцький В.О. «Неруйнівний контроль якості зварних з'єднань».
 - Міжнародний довідник з дефектоскопії (ASNT NDT Handbook).
3. **Матеріально-технічна база (Лабораторія NDT):**
 - Вимірювальні інструменти: універсальні шаблони (УШС-3, УШС-4, WG), штангенциркулі, вимірювальні лупи, жорсткі ендоскопи.
 - Комплекти дефектоскопічних матеріалів: аерозолі для капілярної дефектоскопії (пенетранти, очисники, проявники від Magnaflux/MR Chemie), магнітні суспензії.
 - Обладнання: ручні електромагнітні ярма змінного струму; цифрові ультразвукові дефектоскопи (наприклад, Krautkrämer USM, Olympus) з комплектом прямих та похилих ПЕП; стандартні калібрувальні зразки V1 та V2.
 - Негатоскопи високої яскравості (LED) та комплекти навчальних рентгенівських плівок із реальними дефектами і встановленими еталонами (IQI).
 - Набір реальних зразків зварних з'єднань (труб, пластин) із закладеними (штучними) дефектами для тренування здобувачів.

15.3. Критерії оцінювання результатів навчання (Assessment Rubrics) Оцінювання здійснюється за 100-бальною шкалою (Поточний контроль — макс. 70 балів, Екзамен — макс. 30 балів). Оцінка є інтегральним показником рівня сформованості компетентностей.

- **Відмінно (A, 90-100 балів) — Експертний рівень:**

- *Знання:* Глибокі, системні знання фізики всіх методів NDT/DT та вимог європейських стандартів.
- *Навички:* Здобувач самостійно і впевнено (без інструкції) калібрує УЗ-дефектоскоп (налаштовує затримку призми, кут вводу, будує криву DAC).
- *Аналітика:* Безпомилково розшифровує складні рентгенограми, вимірюючи дефекти. Заповнює офіційні протоколи контролю технічно грамотно, використовуючи правильні ISO-коди, без жодних зауважень (демонструє рівень фахівця ЛНК 2-го рівня).
- *Комунікація:* Здатний логічно, технічно грамотно і безпечіально обґрунтувати вибір оптимальної комбінації методів контролю для будь-якої деталі під час захисту кейсу.
- **Добре (В, С, 74-89 балів) — Високий та достатній рівень:**
 - *Знання:* Правильне та міцне розуміння сутності і фізики методів контролю. Добре орієнтується в класифікації за ISO 6520.
 - *Навички:* Практичні роботи на приладах виконані вірно, але можливі незначні неточності у вимірюваннях (наприклад, похибка у визначенні глибини залягання дефекту на УЗД в 1-2 мм) або збільшені витрати часу на налаштування приладу.
 - *Аналітика:* Дрібні граматичні або стилістичні помилки у заповненні протоколів контролю. Вміє впевнено користуватися таблицями стандарту ISO 5817 для визначення допусків.
- **Задовільно (D, E, 60-73 бали) — Базовий (пороговий) рівень:**
 - *Знання:* Репродуктивний рівень знань. Здобувач плутається у фізичних принципах (наприклад, не розуміє принципової різниці між поширенням поздовжніх і поперечних УЗ-хвиль або плутає магнітний контроль з капілярним).
 - *Навички:* Зазнає значних труднощів при самостійному калібруванні електронних приладів за еталонними блоками, потребує постійних прямих підказок викладача для виявлення піку від дефекту на екрані розгортки.
 - *Аналітика:* Протоколи заповнені неохайно, не повністю або з помилками в ISO-кодах. Кейсові задачі вирішуються лише з допомогою навідних питань.
- **Незадовільно (FX, F, 0-59 балів) — Недосягнення компетентностей:**
 - Фахові компетенції інспектора-дефектоскопіста абсолютно не сформовані.
 - Повна нездатність ідентифікувати візуально навіть базовий макродефект (велику тріщину чи непровар) на зрізі шва або на рентгенограмі. Невміння користуватися елементарними вимірювальними шаблонами (УШС).
 - Абсолютна нездатність знайти інформацію в нормативних документах (ДСТУ, ISO).
 - *Академічна недоброчесність:* Доведений факт підробки результатів контролю у протоколі (записування вигаданих цифр або списування протоколу у іншого студента без проведення реальних вимірювань на приладі). Робота оцінюється у 0 балів і вимагає обов'язкового повторного вивчення дисципліни.