

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 ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ»

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

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: «Зварювальне виробництво»

Загальний обсяг практичних занять: 40 годин (20 практичних робіт)

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ (TRAUMA-INFORMED APPROACH)

1.1. Призначення методичних рекомендацій Методичні рекомендації розроблені для здобувачів фахової передвищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» з метою оптимізації аудиторної та самостійної роботи під час вивчення курсу «Технологічне устаткування». Практичний блок дисципліни становить 40 академічних годин (20 занять) і має на меті трансформацію глибоких теоретичних знань в інженерно-прикладні навички. На практичних заняттях студенти вчаться аналізувати електричні параметри джерел живлення, розраховувати кінематику механізмів подачі дроту, проектувати складально-зварювальні кондуктори та виконувати первинну діагностику обладнання (Troubleshooting). Ці навички є критично необхідними для майбутньої роботи на передових підприємствах-партнерах коледжу: ПП "Висотпромсервіс", ТОВ "Аксор індастрі", ТОВ "ДАЗ", ТОВ "Інтерпайп" та ТОВ "НВП РІЧ".

1.2. Охорона праці та екологія освітнього середовища Оскільки виконання практичних робіт безпосередньо пов'язане з підключенням до промислової електромережі (380 В), використанням стиснених газів та пневматичних систем, дотримання вимог охорони праці є категоричним. Зважаючи на інтеграцію ветеранів та осіб, які постраждали від воєнних дій (згідно з принципами інклюзії та проекту Skills4Recovery), організація робочого простору в лабораторії базується на принципах Педагогіки, обізнаної з травмою (Trauma-Informed Approach):

- **Сенсорна безпека:** Перед увімкненням будь-якого обладнання, що генерує різкі звуки (спрацювання пневмоциліндрів, високочастотний звук осциляторів, звук шліфувальних машин), викладач або лаборант зобов'язаний попередити аудиторію.
- **Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):** Кожен робочий пост обладнано активними шумопоглинаючими навушниками та захисними екранами. Робота з обладнанням без діелектричних килимків та заземлення суворо заборонена.
- **Адаптивний графік:** У разі виникнення психологічного чи сенсорного перевантаження здобувач має беззаперечне право на тимчасовий вихід у "тиху зону" для стабілізації стану без застосування жодних академічних санкцій.
- **Діагностика без ризику:** Усі лабораторні макети інверторів, призначені для розбирання та внутрішньої діагностики, фізично відключені від мережі живлення. Здобувачі працюють виключно з мультиметрами та низьковольтними тестерами.

РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛІВ

2.1. Алгоритм проведення практичного заняття Кожне практичне заняття розраховане на 2 академічні години (90 хвилин) і складається з наступних етапів:

1. *Організаційний момент та інструктаж з техніки безпеки* (5 хв).
2. *Експрес-опитування (Вхідний контроль)* (10 хв) – перевірка теоретичної готовності здобувачів до виконання розрахунків або роботи з апаратурою.
3. *Видача індивідуальних завдань (варіантів) та пояснення методики їх виконання* (15 хв).
4. *Самостійна інженерна робота здобувачів* (45 хв) – виконання креслень, розрахунків, робота з каталогами обладнання або діагностика макетів.
5. *Оформлення протоколу та захист результатів* (15 хв) – здача роботи викладачу.

2.2. Вимоги до оформлення звітів (Протоколів) Результатом виконання кожної практичної роботи є оформлений Протокол (Звіт). Протоколи ведуться у спеціальному робочому зошиті формату А4 або оформлюються на окремих аркушах з дотриманням базових стандартів ЄСКД та ДСТУ 3008:2015. *Примітка для текстових редакторів:* Усі інженерні формули вносяться в текст стандартним шрифтом з використанням загальноприйнятих символів (наприклад: $I_x = I_{nom} * \sqrt{(TV_{nom} / TV_x)}$), щоб уникнути спотворення символів при копіюванні у MS Word.

Структура Протоколу практичної роботи:

- **Назва роботи та її номер.**
 - **Мета роботи:** Що саме здобувач має дослідити або розрахувати.
 - **Обладнання та інструменти:** Перелік використаних каталогів, макетів, приладів.
 - **Вихідні дані:** Дані, отримані за індивідуальним варіантом (наприклад, товщина металу, марка сталі, швидкість зварювання).
 - **Короткі теоретичні відомості:** Основні розрахункові формули з розшифровкою змінних.
 - **Хід виконання роботи (Розрахункова або графічна частина):** Покроковий запис процесу розв'язання інженерної задачі, побудова кінематичних схем або графіків (виконуються виключно олівцем із застосуванням креслярського приладдя).
 - **Висновок:** Ключовий елемент протоколу. Висновок має бути конкретним, технічно аргументованим і відповідати поставленій меті. Наприклад: "Розрахований струм становить 210 А, отже, використання апарата з номінальним струмом 200 А приведе до його перегріву".
- 2.3. Академічна доброчесність** Будь-які розрахунки та схеми здобувач виконує самостійно. Копіювання протоколів у інших студентів або використання результатів, згенерованих неперевіреними системами штучного інтелекту без розуміння суті розрахунку, розцінюється як порушення академічної доброчесності. Така робота анулюється.

РОЗДІЛ 3. МАТРИЦЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Згідно з навчальним планом, за семестр здобувач має виконати 20 практичних робіт. Система оцінювання є накопичувальною. Кожна практична робота оцінюється за шкалою від 0 до 2 балів. Максимальна сума за весь блок практичних занять становить 40 балів.

Деталізовані критерії оцінювання однієї практичної роботи (Максимум 2.0 бали):

- **2.0 бали (Відмінно):**
 - Здобувач вільно орієнтується у теоретичному матеріалі, відповідає на всі контрольні запитання.
 - Розрахункова частина виконана без жодної помилки, присутні всі необхідні одиниці виміру (Амperi, Вольти, мм/с, МПа).
 - Графіки, вольт-амперні характеристики або кінематичні схеми побудовані акуратно, під лінійку, з дотриманням масштабів та стандартів ЄСКД.
 - Висновок є розгорнутим, аналітичним та обґрунтованим.

- **1.5 бали (Добре):**

- Завдання виконано повністю, але допущені незначні арифметичні помилки в розрахунках, які не впливають на загальний інженерний результат (наприклад, помилка в округленні).
- Присутні дрібні недоліки в оформленні протоколу (неакуратні ескізи, виправлення).
- Висновок сформульовано правильно, але занадто стисло. Здобувач виправляє помилки після навідних запитань викладача.

- **1.0 бал (Задовільно):**

- Практична робота виконана лише частково (наприклад, формули записані, але кінцевий результат не розрахований).
- Студент плутає фізичні величини (наприклад, напругу та струм).
- Креслення або графіки виконані від руки, без дотримання пропорцій.
- Висновок відсутній або не відповідає меті роботи.

- **0.5 балів (Низький рівень):**

- Здобувач присутній на занятті, але не здатний виконати завдання навіть за допомогою викладача. Робочий зошит містить лише переписані теоретичні відомості без розв'язання задачі.

- **0 балів (Не зараховано):**

- Здобувач відсутній на занятті без поважної причини, або виявлено факт прямого списування (плагіату) протоколу в іншого студента. Робота підлягає обов'язковому відпрацюванню в години консультацій.

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЯ УСТАТКУВАННЯ

Цей блок містить перші дві практичні роботи, спрямовані на вивчення основних характеристик зварювальних джерел живлення та їхньої взаємодії зі зварювальною дугою.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Тема: Паспортизація та маркування зварювального устаткування згідно з європейськими стандартами. **Тривалість:** 2 академічні години. **Мета:** Навчитися вільно читати технічну інформацію з паспортних табличок (шильдиків) зварювальних інверторів, випрямлячів та трансформаторів. Опанувати розшифровку класів захисту корпусу (IP) та класів нагрівостійкості ізоляції.

Короткі теоретичні відомості: Кожне джерело живлення, що використовується на виробництві (наприклад, на базі ТОВ "Інтерпайп"), має на задній панелі металеву табличку із технічними даними, складену за стандартом ДСТУ EN 60974-1. Інженер зобов'язаний уміти її читати, щоб не допустити аварії чи ураження струмом. Основні блоки інформації на шильдику:

1. **Напруга живильної мережі (U1):** Вказується кількість фаз та напруга (наприклад, 1~230 V або 3~400 V).

2. **Напруга холостого ходу (U0 або Uxx):** Максимальна напруга на вихідних клеммах апарата при розімкнутому зварювальному колі. Для безпечної роботи вона не повинна перевищувати 80-113 В (залежно від типу апарата). Чим вона вища, тим легше запалюється дуга.

3. **Клас захисту корпусу (IP - Ingress Protection):** Двозначне число. Наприклад, IP23S.

- Перша цифра (від 0 до 6) — захист від твердих частинок. "2" означає захист від предметів розміром понад 12,5 мм (неможливо засунути пальці). "3" — захист від частинок понад 2,5 мм (інструменти).

- Друга цифра (від 0 до 8) — захист від води. "1" — вертикальні краплі, "3" — захист від дощу (бризки падають під кутом до 60 градусів). "4" — захист від бризок з усіх боків.

○ Літера "S" — випробування на водонепроникність проводилися, коли внутрішній вентилятор охолодження не працював.

4. **Клас ізоляції обмоток:** Позначається латинськими літерами, які відповідають гранично допустимій температурі нагріву: В (130 °C), F (155 °C), H (180 °C).

Завдання для практичного виконання:

1. Викладач надає кожному здобувачу (або малій групі) фотографію або реальний шильдик сучасного зварювального інвертора (наприклад, ESAB, Fronius або Paton).

2. Замалювати у звіт структуру таблички.

3. Заповнити розшифровувальну таблицю за наступними критеріями:

○ Марка та тип апарата.

○ Типи зварювання, які підтримує апарат (знайти піктограми MMA, MIG/MAG, TIG).

○ Параметри вхідної мережі (U_1 , I_{1max} , I_{1eff}).

○ Діапазон регулювання зварювального струму (наприклад, 10 А - 250 А).

○ Напруга холостого ходу (U_0).

○ Тривалість включення (розписати струм для $TB=100\%$, $TB=60\%$ та максимального TB).

○ Клас захисту IP та клас ізоляції.

4. **Аналітичне завдання:** Директор підприємства ПП "Висотпромсервіс" доручив вам підібрати інвертор для монтажу металоконструкцій на відкритому будівельному майданчику восени (можливий дрібний дощ). У вас є два апарати з класами захисту IP21 та IP23. Обґрунтуйте у висновку, який апарат ви оберете і чому експлуатація іншого категорично заборонена.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Тема: Побудова та аналіз зовнішніх вольт-амперних характеристик (ЗВАХ) джерел живлення.

Тривалість: 2 академічні години. **Мета:** Графічним методом дослідити взаємозв'язок між напругою та струмом зварювального кола. Навчитися визначати робочу точку стабільного горіння дуги та аналізувати ефект саморегулювання дуги. **Обладнання:** Міліметровий папір, лінійка, лекала, олівці різних кольорів, інженерний калькулятор.

Короткі теоретичні відомості: Стабільність зварювального процесу залежить від того, наскільки вдало перетинаються два графіки: статична вольт-амперна характеристика самої дуги (СВАХ) та зовнішня вольт-амперна характеристика джерела живлення (ЗВАХ).

• **СВАХ дуги:** Для ручного зварювання (MMA) робоча ділянка дуги є горизонтальною (жорсткою). Напруга дуги (U_d) залежить переважно від її довжини (L_d). Формула напруги дуги: $U_d = a + b \cdot L_d$, де 'a' — сума падінь напруги на катоді та аноді (близько 15-20 В), 'b' — падіння напруги на 1 мм стовпа дуги (близько 2-3 В/мм).

• **ЗВАХ джерела для MMA:** Повинна бути крутопадаючою. Струм короткого замикання ($I_{kз}$), коли напруга падає до нуля (крапля металу замикає електрод на виріб), не повинен перевищувати номінальний робочий струм (I_p) більше ніж на 20-40%. Це запобігає пропалюванню металу та перегріву апарата.

• **ЗВАХ джерела для MIG/MAG:** Повинна бути жорсткою (пологопадаючою). Це забезпечує миттєве зростання струму при найменшому скороченні дуги, що прискорює плавлення дроту і відновлює дугу (ефект саморегулювання).

Завдання для практичного виконання:

Блок А. Крутопадаюча характеристика (MMA/TIG)

1. На міліметровому папері підготувати координатні осі. Вісь абсцис (X) — Зварювальний струм (I , Амperi). Вісь ординат (Y) — Напруга (U, Вольти). Масштаб: 1 см = 50 А; 1 см = 10 В.

2. Побудувати ЗВАХ зварювального випрямляча ВД-306 за трьома точками:

- Точка 1 (Холостий хід): $I = 0$ А, $U_{xx} = 70$ В.
- Точка 2 (Робоча точка): Робочий струм $I_p = 200$ А. Робочу напругу розрахувати за формулою для ММА: $U_p = 20 + 0.04 \cdot I_p$.
- Точка 3 (Коротке замикання): $I_{kз}$ розрахувати як 130% від робочого струму. Напруга $U_{кз} = 0$ В.
- 3. З'єднати три точки плавною кривою.
- 4. На цьому ж графіку побудувати дві характеристики дуги (СВАХ):
 - Для нормальної дуги довжиною $L_1 = 3$ мм (напруга $U_{д1} = 15 + 2 \cdot 3 = 21$ В). Провести горизонтальну лінію на рівні 21 В до перетину з кривою джерела. Відмітити робочу точку А1.
 - Для подовженої дуги $L_2 = 6$ мм (напруга $U_{д2} = 15 + 2 \cdot 6 = 27$ В). Провести лінію на рівні 27 В. Відмітити точку А2.
- 5. Опустити перпендикуляри з точок А1 та А2 на вісь струму. Записати різницю струмів (ΔI). Зробити висновок: як сильно змінився струм при подовженні дуги вдвічі (відповідь: незначно), і як це впливає на стабільність проплавлення.

Блок Б. Жорстка характеристика (MIG/MAG)

1. На новому графіку побудувати жорстку ЗВАХ напівавтомата:
 - Точка 1: $I = 0$ А, $U_{xx} = 30$ В.
 - Точка 2: Робочий струм $I_p = 250$ А, напруга $U_p = 28$ В. З'єднати точки прямою лінією.
2. Побудувати дві зростаючі СВАХ дуги (намалювати дві лінії під кутом вгору від початку координат).
3. Знайти точки перетину. Проаналізувати, на скільки десятків Ампер зміниться струм при невеликій зміні напруги (довжини дуги).
4. **Висновок:** Сформулювати своїми словами сутність ефекту "саморегулювання довжини дуги" у напівавтоматах.

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 2. ТРАНСФОРМАТОРИ ТА ВИПРЯМЛЯЧІ: ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ДІАГНОСТИКА

Цей блок охоплює практичні роботи № 3 та № 4, які присвячені тепловим розрахункам обладнання, вивченню трансформаторів та первинній електричній діагностиці напівпровідникових діодів, що є основою будь-якого випрямляча або інвертора.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Тема: Розрахунок теплового балансу та перерахунок тривалості включення (ТВ/ПВ) зварювального устаткування. **Тривалість:** 2 академічні години. **Мета:** Опанувати методику інженерного перерахунку номінальних струмових характеристик зварювального обладнання для різних режимів навантаження (ручного, механізованого, автоматизованого та роботизованого). **Обладнання:** Калькулятори, таблиці паспортних даних обладнання, робочі зошити.

Короткі теоретичні відомості: Будь-яке джерело живлення має обмотки з мідного або алюмінієвого дроту. Під час проходження зварювального струму ці обмотки нагріваються. Кількість виділеного тепла (Q) визначається законом Джоуля-Ленца: $Q = I^2 \cdot R \cdot t$, де I — сила струму, R — активний опір обмоток, t — час проходження струму. Оскільки тепло виділяється пропорційно **квадрату струму**, перевищення номінального струму навіть на 20% призводить до зростання виділення тепла майже на 45%. Щоб ізоляція обмоток не розплавилася, апарат повинен періодично охолоджуватися. Параметр **Тривалість включення (ТВ)** (або ПВ - Тривалість навантаження) вказує відсоток часу з 10-хвилинного циклу, протягом якого апарат може варити без перерви. Для перерахунку максимально допустимого зварювального струму (I_x) при нестандартній тривалості включення ($ТВ_x$) використовується

формула теплового еквівалента (за умови, що кількість виділеного тепла залишається константою):

$$I_x = I_{nom} * \sqrt{(T_{Вnom} / T_{Вx})}$$

де I_{nom} — номінальний паспортний струм апарата; $T_{Вnom}$ — номінальна паспортна тривалість включення (в умовних одиницях, наприклад 0.6 для 60%).

Завдання для практичного виконання:

Задача 1 (Роботизація виробництва): На підприємство ТОВ "НВП РІЧ" закуплено сучасний зварювальний інвертор. Згідно з шильдиком, його номінальний струм становить $I_{nom} = 350$ А при тривалості включення $T_{Вnom} = 40\%$ (0.4). Головний технолог прийняв рішення інтегрувати цей апарат у склад робототехнічного комплексу (РТК) для зварювання довгих швів. Робот працює без зупинок, тому фактична тривалість включення буде становити $T_{Вx} = 100\%$ (1.0). *Завдання:* Розрахувати максимально допустимий зварювальний струм (I_x), на який можна запрограмувати робота, щоб інвертор не згорів від перегріву. *Хід розв'язання:* $I_x = 350 * \sqrt{(0.4 / 1.0)} = 350 * \sqrt{0.4} = 350 * 0.632 = 221$ А. *Висновок:* Для 100% циклу струм необхідно обмежити на рівні 221 А.

Задача 2 (Форсування режиму): Зварювальник використовує портативний побутовий інвертор, паспортні дані якого: $I_{nom} = 160$ А при $T_{Вnom} = 20\%$ (0.2). Йому терміново потрібно заварити товсту деталь електродом діаметром 4 мм, для чого він налаштував робочий струм $I_x = 130$ А. *Завдання:* Визначити фактичну тривалість включення ($T_{Вx}$ у відсотках) та розрахувати, скільки хвилин зварювальник може безперервно спалювати електроди до того, як спрацює тепловий захист апарата (з розрахунку базового 10-хвилинного циклу). *Хід розв'язання (виведення формули):* Оскільки $I_x = I_{nom} * \sqrt{(T_{Вnom} / T_{Вx})}$, зведемо в квадрат обидві частини: $I_x^2 = I_{nom}^2 * (T_{Вnom} / T_{Вx})$ Звідси знаходимо $T_{Вx}$: $T_{Вx} = T_{Вnom} * (I_{nom} / I_x)^2$ $T_{Вx} = 0.2 * (160 / 130)^2 = 0.2 * (1.23)^2 = 0.2 * 1.51 = 0.302$ (або 30.2%). *Висновок:* При струмі 130 А апарат зможе працювати з $T_{В} = 30.2\%$, що дорівнює 3 хвилини безперервного зварювання, після чого необхідно зробити 7 хвилин перерви для охолодження.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Тема: Експлуатація зварювальних трансформаторів та первинна діагностика діодних мостів випрямлячів. **Тривалість:** 2 академічні години. **Мета:** Вивчити конструктивні методи регулювання струму в трансформаторах. Опанувати методику діагностики силових напівпровідникових діодів за допомогою мультиметра (Troubleshooting). **Обладнання:** Макет трансформатора в розрізі, блок силових діодів (наприклад, типу В-200), цифровий мультиметр.

Короткі теоретичні відомості:

- **Трансформатор:** Для плавного регулювання струму в класичних трансформаторах типу ТДМ використовується збільшення магнітного розсіяння. Якщо віддалити первинну обмотку від вторинної (за допомогою ходового гвинта), частина магнітного потоку замикається у повітрі. Індуктивний опір (X_L) кола зростає, і струм падає.
- **Випрямляч:** Перетворює змінний струм від трансформатора на постійний. Основою є діодний міст (схема Ларіонова з 6 діодів для трифазної мережі). **Діод** — це напівпровідниковий вентиль, який пропускає струм тільки в одному напрямку: від анода (плюс) до катода (мінус). Якщо діод "пробитий" (закорочений) або "в обриві" (згорів), у зварювальне коло потрапляє змінний струм. Це супроводжується сильним гудінням дуги та катастрофічним розбризкуванням металу.

Завдання для практичного виконання:

Блок А. Трансформатори

1. Накреслити схематичну будову трансформатора з рухомими обмотками. Позначити: магнітопровід, первинну нерухому обмотку, вторинну рухому обмотку, ходовий гвинт.

2. Написати коротку інструкцію для зварювальника: у який бік крутити руків'я (зближувати чи розсовувати обмотки), щоб зменшити зварювальний струм, та чому саме це відбувається (вказати зміну індуктивного опору).

Блок Б. Діагностика діодів (Troubleshooting)

1. Отримати у викладача мультиметр та силовий діод.
2. Перевести мультиметр у режим "продзвонювання діодів" (символ діода на селекторі). У цьому режимі мультиметр подає невелику постійну напругу (близько 2-3 Вольт).
3. **Пряме включення:** Приєднати червоний щуп (плюс) до анода діода (до косички), а чорний щуп (мінус) до катода (до металевого корпусу діода). Записати показання на дисплеї. Справний кремнієвий діод у прямому включенні відкривається, і мультиметр показує падіння напруги на р-п переході (зазвичай значення від 400 до 700 мілівольт).
4. **Зворотне включення:** Поміняти щупи місцями (червоний до корпусу, чорний до косички). Записати показання. Справний діод не пропускає струм у зворотному напрямку. Мультиметр повинен показати "1" (в крайньому лівому розряді) або "OL" (Over Load / Нескінченність).
5. **Імітація несправності:** Записати до протоколу, які будуть показання мультиметра, якщо:
 - Діод пробитий (коротке замикання всередині). *Відповідь:* Мультиметр покаже "000" і буде пищати в обох напрямках.
 - Діод в обриві (вигорів кристал). *Відповідь:* Мультиметр покаже "1" (OL) в обох напрямках.
6. Оформити висновок щодо придатності досліджуваного діода до подальшої експлуатації у зварювальному випрямлячі.

РОЗДІЛ 6. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 3. СУЧАСНІ ІНВЕРТОРНІ СИСТЕМИ ТА НАЛАШТУВАННЯ ФУНКЦІЙ ПОЛЕГШЕННЯ СТАРТУ

У цьому розділі методичних вказівок розглядаються принципи взаємодії здобувача освіти із сучасним мікропроцесорним зварювальним обладнанням. Відповідно до вимог академічного стилю, опис виконання розрахунків та результатів у протоколі має бути викладений об'єктивно, від третьої особи (наприклад: "було розраховано", "дослідження показало").

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Тема: Інтерфейс та налаштування функцій полегшення старту зварювальних інверторів (MMA).

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Ознайомитися з цифровим меню сучасних інверторів. Навчитися розраховувати та налаштовувати функції "Hot Start", "Arc Force" та "Anti-Stick" для запобігання дефектам на старті зварювання.

Обладнання: Панель керування зварювального інвертора (наприклад, Paton VDI або Kemppi Minarc), інженерний калькулятор.

Короткі теоретичні відомості:

На відміну від трансформаторів, де струм визначається виключно магнітним опором, інвертор керується мікропроцесором, який здатен блискавично (за мікросекунди) змінювати силу струму залежно від опору дугового проміжку.

1. **Hot Start (Гарячий старт):** Короткочасне збільшення зварювального струму понад номінальне значення в момент торкання електродом металу. Це необхідно для миттєвої іонізації газів та прогрівання холодного металу, щоб уникнути стартових непроварів.
2. **Arc Force (Форсаж дуги):** Автоматичне накидання струму в процесі зварювання, коли крапля розплавленого металу замикає дуговий проміжок (напруга різко падає). Щоб крапля

швидше відірвалася і не приварила електрод до деталі (не сталося прилипання), процесор формує потужний імпульс струму.

3. **Anti-Stick (Антиприлипання):** Якщо коротке замикання триває більше 1 секунди (електрод все ж прилип), процесор скидає струм майже до нуля (до 5-10 А). Це рятує електрод від розжарювання і обсіпання обмазки.

Завдання для практичного виконання:

1. У робочому зошиті накреслити осцилограму (графік залежності струму I від часу t). Вісь ординат (Y) – Струм (А), вісь абсцис (X) – Час (с).

2. Відобразити на графіку послідовність дії функцій: торкання електрода -> стрибок Hot Start -> стабілізація на рівні базового струму -> короткі імпульси Arc Force під час перенесення крапель.

3. **Розрахункова інженерна задача:** Зварювальник налаштував базовий робочий струм $I_{base} = 120$ А. У меню (Settings) він задав такі параметри:

- Hot Start = + 35% (від базового струму). Час дії Hot Start = 0.6 с.
- Arc Force = + 25% (від базового струму).

Завдання: Розрахувати абсолютні пікові значення струмів (I_{hot} та I_{arc}), які видасть інвертор у мережу.

Хід розв'язання:

$$I_{hot} = I_{base} + (I_{base} * 0.35) = 120 + 42 = 162 \text{ А.}$$

$$I_{arc} = I_{base} + (I_{base} * 0.25) = 120 + 30 = 150 \text{ А.}$$

4. **Аналіз ситуації (Troubleshooting):** Уявіть, що ви зварюєте дуже тонкий метал (товщина 1.2 мм) електродом діаметром 2.0 мм. Базовий струм $I_{base} = 50$ А.

Запитання: Що станеться, якщо ви залишите налаштування Hot Start = +50% та час 1.0 с? Якими мають бути правильні дії інженера-технолога?

Висновок до протоколу: Високе значення Hot Start (75 А протягом цілої секунди) призведе до миттєвого пропалювання тонкого металу на початку шва. Інженер зобов'язаний зайти в налаштування та знизити Hot Start до +10% або вимкнути його взагалі (0%), а час дії зменшити до 0.1 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Тема: Синергетичне управління (Synergic Lines) інверторами механізованого зварювання.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Зрозуміти логіку мікропроцесорної корекції режимів зварювання напівавтоматів. Навчитися налаштовувати обладнання "однією ручкою" на основі вшитої бази даних матеріалів.

Короткі теоретичні відомості:

У класичному трансформаторному напівавтоматі зварювальник має два незалежних регулятори: перемикач ступенів напруги (В) та потенціометр швидкості подачі дроту (м/хв). Їх ідеальне узгодження вимагає величезного досвіду.

Синергетика (Synergic) – це система комплексного мікропроцесорного управління. Інженери на заводах-виробниках обладнання провели тисячі тестів і записали ідеальні співвідношення напруги, струму, індуктивності та швидкості подачі для кожної товщини металу в мікрочіп пам'яті (створили Synergic Lines – синергетичні криві).

Тепер зварювальнику достатньо ввести "ввідні константи":

- Тип матеріалу (Fe, CrNi, AlMg).
- Діаметр дроту (0.8, 1.0, 1.2 мм).
- Захисний газ (100% CO₂, або суміш Ar/CO₂ 82/18).

Після цього управління здійснюється лише однією ручкою (наприклад, "Товщина металу" або "Швидкість подачі"). Якщо зварювальник збільшує швидкість подачі, процесор автоматично і пропорційно піднімає напругу для збереження стабільності дуги.

Завдання для практичного виконання:

1. Отримати доступ до панелі інвертора (або комп'ютерного симулятора).
2. Створити у звіті таблицю на 4 колонки: "Товщина металу (мм)", "Швидкість подачі (м/хв)", "Напруга (В)", "Розрахунковий струм (А)".
3. Задати константи: Матеріал = Fe (Сталь), Газ = M21 (Ar/CO₂), Дріт = 1.0 мм.
4. Обертаючи головний енкадер (регулятор), встановити послідовно товщини металу: 1.0 мм, 2.0 мм, 3.0 мм, 4.0 мм, 5.0 мм. Записати у таблицю, які параметри швидкості подачі (V_{pod}) та напруги (U) автоматично підібрав апарат для кожної товщини.
5. Змінити в меню тип газу на 100% CO₂ (Вуглекислота), не змінюючи товщину металу 3.0 мм. Записати нові показники напруги.
6. *Формулювання висновку:* Пояснити, чому при переході з суміші Аргону на чисту Вуглекислоту процесор автоматично підвищив напругу дуги (на 2-3 Вольти). *Підказка для роздумів:* Вуглекислий газ є багатоатомним і має вищий потенціал іонізації та активніше охолоджує дугу, тому для підтримки її стабільності потрібна більша електрична потужність.

РОЗДІЛ 7. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 4. МЕХАНІЗМИ ПОДАЧІ ДРОТУ ТА СИНЕРГЕТИКА MIG/MAG

У цьому блоці здобувачі переходять від електричних розрахунків до вивчення кінематики зварювальних автоматів. Оформлення цифрового матеріалу (результатів розрахунків) має виконуватися у вигляді акуратних таблиць та логічно послідовних формул.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

Тема: Кінематика механізмів подачі зварювального дроту (МПД). Розрахунок швидкостей.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Навчитися аналізувати будову приводу напівавтоматів. Опанувати формули розрахунку кінематичного ланцюга від обертів вала електродвигуна до лінійної швидкості подачі зварювального дроту.

Обладнання: Двороликовий та чотирироликовий механізми подачі (макети), штангенциркуль, калькулятор.

Короткі теоретичні відомості:

Механізм подачі дроту — це серце напівавтомата MIG/MAG. Від його рівномірної роботи залежить стабільність дуги. МПД складається з електродвигуна постійного струму (який дозволяє плавно змінювати оберти), редуктора (черв'ячного або циліндричного) та подавальних роликів.

Лінійна швидкість подачі дроту V_{pod} (метри за хвилину) розраховується за формулою зв'язку кутової та лінійної швидкості:

$$V_{pod} = (3.14 * D * n_{rol}) / 1000,$$

де D — діаметр подавального ролика в міліметрах; n_{rol} — частота обертання ролика (обертів за хвилину); 1000 — коефіцієнт переведення міліметрів у метри.

Своєю чергою, частота обертання ролика n_{rol} залежить від частоти обертання двигуна n_{dv} та передавального відношення редуктора (i_{red}):

$$n_{rol} = n_{dv} / i_{red}.$$

Завдання для практичного виконання:

1. Уважно вивчити макет чотирироликового МПД. Замалювати в зошит його спрощену кінематичну схему. Позначити: мотор, шестерні редуктора, два нижніх привідних ролики, два верхніх притискних ролики на відкидних коромислах.

2. Розрахункова інженерна задача №1:

Технологу необхідно налаштувати швидкість подачі дроту $V_{pod} = 15$ м/хв для зварювання товстої пластини.

Дано параметри обладнання:

- Діаметр привідного ролика $D = 30$ мм.
- Передавальне відношення редуктора $i_{red} = 40$.

Завдання: Розрахувати, яку частоту обертання (n_{dv} , об/хв) повинна видати плата управління на вал електродвигуна постійного струму, щоб забезпечити таку швидкість.

Алгоритм розв'язання:

- Крок 1. Знайти необхідні оберти ролика:

$$n_{rol} = (V_{pod} * 1000) / (3.14 * D) = (15 * 1000) / (3.14 * 30) = 15000 / 94.2 = 159.2 \text{ об/хв.}$$
- Крок 2. Знайти оберти двигуна з урахуванням редуктора:

$$n_{dv} = n_{rol} * i_{red} = 159.2 * 40 = 6368 \text{ об/хв.}$$

3. **Аналіз зносу обладнання:** Зробити письмовий висновок у протоколі: що станеться з реальною швидкістю подачі дроту, якщо після тривалої експлуатації канавка ролика зноситься, і його робочий діаметр зменшиться з 30 мм до 29 мм (при тих самих обертах двигуна)? Розрахувати нову швидкість та пояснити вплив на якість шва.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

Тема: Імпульсні режими механізованого зварювання (Pulse MIG, Double Pulse).

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Опанувати принципи роботи інверторів в імпульсних режимах. Навчитися розраховувати середнє тепловкладення та параметри імпульсу.

Короткі теоретичні відомості:

Імпульсне зварювання MIG (Pulse) — це процес, при якому зварювальний струм не є постійним, а постійно пульсує між двома рівнями.

1. **Базовий струм (I_{base}):** Низький струм (наприклад, 40-60 А), який просто підтримує горіння дуги, але його енергії недостатньо для плавлення дроту. У цей момент зварна ванна встигає трохи охолонути, що запобігає пропалюванню металу.

2. **Піковий струм (I_{peak}):** Потужний, але дуже короткий спалах струму (наприклад, 400 А на 2 мілісекунди). Енергія цього спалаху миттєво відриває рівно одну краплю розплавленого металу з кінця дроту і викидає її у ванну.

Головне правило: "Один імпульс = одна крапля". Це забезпечує ідеальне перенесення металу абсолютно без бризок.

Середній зварювальний струм (I_{ser}), який і визначає реальне проплавлення металу (тепловкладення), розраховується як середньозважене значення за часом:

$$I_{ser} = (I_{base} * t_{base} + I_{peak} * t_{peak}) / (t_{base} + t_{peak}),$$

де t_{base} — час дії базового струму, t_{peak} — час дії пікового струму.

Завдання для практичного виконання:

1. Накреслити на міліметровому папері осцилограму імпульсного режиму (прямокутні імпульси струму в часі). Позначити на осях I_{base} , I_{peak} , t_{base} , t_{peak} .

2. **Розрахункова задача:**

Для зварювання алюмінієвого листа (AlMg5) товщиною 2 мм налаштовано імпульсний режим:

- Базовий струм $I_{base} = 50$ А, час його дії $t_{base} = 8$ мілісекунд (мс).
- Піковий струм $I_{peak} = 350$ А, час його дії $t_{peak} = 2$ мілісекунди (мс).

Завдання: Розрахувати середній зварювальний струм (I_{ser}), який визначатиме тепловий вплив на деталь.

Хід розв'язання:

$$I_{ser} = (50 * 8 + 350 * 2) / (8 + 2) = (400 + 700) / 10 = 1100 / 10 = 110 \text{ А.}$$

3. **Висновок:** Пояснити у протоколі, чому використання розрахованого середнього струму (110 А) у звичайному режимі (без імпульсів) призведе до утворення гігантських бризок алюмінію, а в імпульсному режимі процес проходить чисто.

РОЗДІЛ 8. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 5. ГАЗОВЕ УСТАТКУВАННЯ ТА ВИТРАТНІ МАТЕРІАЛИ ПАЛЬНИКІВ

У цьому блоці увага зосереджена на експлуатації та обслуговуванні периферійного обладнання. Пояснення значень символів та розрахункових коефіцієнтів слід наводити безпосередньо під розрахунковими формулами, починаючи зі слова «де».

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

Тема: Підбір та заміна витратних матеріалів зварювальних пальників MIG/MAG та TIG.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Навчитися проводити технічне обслуговування (ТО) пальників, здійснювати інженерний підбір витратних запчастин залежно від діаметра дроту та типу металу.

Короткі теоретичні відомості:

Зварювальний пальник є найуразливішим елементом системи. До основних витратних матеріалів MIG/MAG пальника відносяться:

- **Струмознімний наконечник (Contact tip):** Мідна деталь, через яку струм (до 500 А) передається на рухомий сталевий дріт. Оскільки дріт нагрівається, внутрішній діаметр наконечника має жорсткий допуск. Для сталі діаметр отвору наконечника має бути більшим за дріт приблизно на 0.1-0.15 мм. Для алюмінію (який сильно розширюється при нагріванні) діаметр отвору маркується літерою "А" або "Al" і робиться більшим на 0.2-0.3 мм, щоб уникнути заклинювання.
- **Направляючий канал (Liner):** Для сталевих дроту використовують сталеву виту спіраль. Для алюмінію та нержавіючої сталі — виключно тефлонові або поліамідні канали, щоб не дряпати м'який дріт і не забруднювати його залізом.

Завдання для практичного виконання (Ситуаційний кейс):

1. **Аналіз креслення:** Викладач надає креслення гусака пальника в розрізі. Здобувач повинен перемалювати його у протокол та підписати 5 позицій: сопло, струмознімний наконечник, дифузор (газорозподільник), ізолятор, трубка гусака.
2. **Завдання на підбір комплектації:** Ви працюєте технологом. Вам поставлено завдання підготувати 3 зварювальні пости для різних матеріалів. Заповніть специфікацію (таблицю) потрібних витратних матеріалів.
 - *Пост 1:* Зварювання будівельних металоконструкцій. Дріт Св-08Г2С, суцільний, сталевий, діаметр 1.2 мм. Струм 250 А. (Підказка: Наконечник мідний М6/М8 діаметр 1.2, сталевий канал, повітряне охолодження).
 - *Пост 2:* Зварювання алюмінієвих паливних баків. Дріт AlMg5, діаметр 1.0 мм. Струм 180 А. Кабель пальника 4 метри. (Підказка: Наконечник Al 1.0, тефлоновий канал, ролики МПД з U-подібним пазом).
 - *Пост 3:* Зварювання порошковим дротом з флюсовим осердям (FCAW). Діаметр 1.6 мм. Струм 350 А. (Підказка: Наконечник 1.6 посилений CuCrZr, ролики з насічкою, водяне охолодження пальника).
3. Оформити висновок, вказавши можливі наслідки використання сталевих каналів для подачі алюмінієвого дроту.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

Тема: Газове устаткування: розрахунок витрат захисного газу, робота з редукторами та підігрівачами.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Опанувати інженерні розрахунки газового балансу зварювального поста. Навчитися визначати тривалість роботи від одного стандартного газового балона високого тиску.

Обладнання: Балонний редуктор УР-6, ротаметр, інженерний калькулятор.

Короткі теоретичні відомості:

Захисні гази (Аргон, Вуглекислота, газові суміші MIX) постачаються на підприємства у сталевих безшовних балонах об'ємом (V_{balona}) 40 або 50 літрів під високим тиском ($P_{manometra}$) 150 або 200 атмосфер (бар).

Щоб дізнатися повний об'єм розширеного газу (V_{gazu}), який міститься в балоні (в нормальних літрах при атмосферному тиску), використовують формулу:

$$V_{gazu} = V_{balona} * P_{manometra}.$$

Для зниження тиску з 150 атм до безпечного робочого тиску використовують **балонний редуктор**. Витрата газу під час зварювання ($Q_{vitrata}$) встановлюється за допомогою **ротаметра** у літрах за хвилину (л/хв).

Час безперервної роботи зварювального поста (T_{roboti} , у хвилинах) від одного балона розраховується як:

$$T_{roboti} = V_{gazu} / Q_{vitrata}.$$

Особливість вуглекислоти (CO₂): На відміну від аргону, вуглекислота в балоні знаходиться у зрідженому стані. При різкому зниженні тиску в редукторі (дроселюванні) газ різко поглинає тепло з навколишнього середовища, що призводить до обмерзання редуктора і забивання його сухим льодом. Для запобігання цьому на вентиль балона перед редуктором обов'язково встановлюють електричний **підігрівач газу** (зазвичай 36 В, 150 Вт).

Завдання для практичного виконання:

1. Накреслити принципову схему газового поста: балон, вентиль, підігрівач (якщо CO₂), редуктор високого тиску, манометр, ротаметр, електромагнітний клапан інвертора.

2. **Розрахункова інженерна задача:**

На зварювальний пост встановлено повний балон із газовою сумішшю M21 (82% Аргон + 18% CO₂).

- Об'єм балона $V_{balona} = 40$ л.
- Тиск на входному манометрі редуктора $P_{manometra} = 150$ бар (атм).
- Зварювальник за допомогою ротаметра налаштував робочу витрату газу $Q_{vitrata} = 15$ л/хв.

Завдання А: Розрахувати повний об'єм газу в балоні (V_{gazu}) у літрах.

Завдання Б: Розрахувати, на скільки хвилин (T_{roboti}) безперервного горіння дуги вистачить цього газу.

Завдання В: Якщо на підприємстві час безпосереднього горіння дуги (машинний час) становить 30% від 8-годинної робочої зміни (тобто 144 хвилини на зміну), на скільки робочих змін вистачить одного такого балона?

3. Оформити розрахунки у звіті та зробити висновок щодо економіки газового господарства.

РОЗДІЛ 9. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 6. ПРОГРАМУВАННЯ ЦИКЛОГРАМ TIG ТА БАЛАНСУ ЗМІННОГО СТРУМУ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 11

Тема: Програмування та розрахунок циклограми аргонодугового зварювання (TIG/GTAW).

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Зрозуміти логіку формування зварного шва при аргонодуговому зварюванні. Навчитися розраховувати часові параметри захисту ванни та плавного згасання дуги для запобігання кристалізаційним тріщинам.

Короткі теоретичні відомості:

На відміну від ММА, де процес починається миттєво, TIG-зварювання неплавким вольфрамовим електродом вимагає суворого алгоритму (циклограми), який програмується на панелі інвертора:

- **t_{pr} (Pre-flow)** — **Попереднє продування газом:** Зазвичай 0.5 – 1.0 сек. Необхідне для створення хмари аргону навколо електрода ДО виникнення дуги.
- **t_{up} (Up-slope)** — **Час наростання струму:** Плавний підйом від струму підпалу (10 А) до робочого струму. Запобігає термічному руйнуванню (відколюванню) холодного вольфраму.
- **t_{down} (Down-slope)** — **Час спаду струму:** Плавне зниження струму в кінці шва. Дозволяє зварній ванні поступово закристалізуватися, уникаючи утворення глибокої усадочної раковини (кратера).
- **t_{post} (Post-flow)** — **Післязварювальне продування газом:** Найважливіший параметр безпеки електрода. Після згасання дуги вольфрам залишається розпеченим до білого світіння (понад 2000°C). Якщо одразу вимкнути газ, кисень повітря миттєво спалить електрод. *Емпіричне правило для розрахунку:* 1 секунда продування на кожні 10 Ампер робочого струму, плюс 1-2 секунди запасу.

Завдання для практичного виконання:

1. Розрахунково-графічна робота:

Технологу необхідно зварити трубу з нержавіючої сталі AISI 316. Робочий зварювальний струм $I_{\text{weld}} = 130 \text{ A}$.

Завдання: Розрахувати всі параметри циклограми і побудувати її точний графік на міліметровому папері (Вісь X - час у секундах, Вісь Y - струм у Амперах).

Хід розв'язання:

- Приймаємо попереднє продування $t_{\text{pr}} = 0.5 \text{ c}$ (струм 0 А).
- Струм підпалу I_{start} приймаємо 15 А.
- Час наростання t_{up} приймаємо 1.5 с.
- Час спаду струму t_{down} приймаємо 3.0 с (до струму заварювання кратера $I_{\text{crater}} = 15 \text{ A}$).
- Розраховуємо час післязварювального продування t_{post} :

$$t_{\text{post}} = (I_{\text{weld}} / 10) + 1 = (130 / 10) + 1 = 13 + 1 = 14 \text{ секунд.}$$

2. Побудувати отриманий графік.

3. Сформулювати висновок: пояснити, за якими візуальними ознаками зварювальник може зрозуміти, що час t_{post} налаштовано неправильно (занадто мало). *(Відповідь: вольфрамовий електрод після зварювання стає синім, чорним або покривається окислами, замість того, щоб залишатися блискучим і сріблястим).*

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 12

Тема: Устаткування TIG-АС: Налаштування балансу змінного струму для зварювання алюмінію.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Дослідити фізику процесу катодного розпилення. Навчитися налаштовувати баланс напівхвиль інвертора для регулювання глибини проплавлення та ширини зони очищення.

Короткі теоретичні відомості:

Для зварювання алюмінію використовують змінний струм (АС), який руйнує тугоплавку оксидну плівку (Al_2O_3).

Сучасні TIG інвертори генерують прямокутний змінний струм і дозволяють змінювати **Баланс (AC Balance)** — процентне співвідношення часу дії негативної (EN) та позитивної (EP) полярностей протягом одного періоду.

- **EN (Electrode Negative)** — **Негативна напівхвиля (Мінус на електроді):** 70% тепла виділяється на деталі. Забезпечує глибоке проплавлення (пенетрацію) металу. Електрод залишається відносно холодним і гострим.
- **EP (Electrode Positive)** — **Позитивна напівхвиля (Плюс на електроді):** Забезпечує бомбардування деталі важкими іонами аргону, що розбиває (зчищає) оксидну плівку. Але при

цьому 70% тепла виділяється на вольфрамовому електроді, який починає плавитися і утворювати велику кулю на кінці.

Завдання для практичного виконання:

1. Накреслити в зошиті три прямокутні осцилограми змінного струму:
 - Графік А: Стандартний баланс 50% EN / 50% EP.
 - Графік Б: Баланс максимального проплавлення 80% EN / 20% EP.
 - Графік В: Баланс максимального очищення 30% EN / 70% EP.
2. Під кожним графіком схематично замалювати форму проплавлення шва (вузьке і глибоке, або широке і мілке) та форму кінчика вольфрамового електрода (гострий, або розплавлена куля).

3. **Вирішення інженерного кейсу:** Ви зварюєте алюмінієвий блок циліндрів товщиною 8 мм (потрібне дуже глибоке проплавлення без перегріву сусідніх стінок). Струм 200 А, електрод Ø 3.2 мм.

Завдання: Який баланс AC ви виберете в меню апарата і чому? Чи можна в цьому випадку встановити баланс 50/50?

Висновок: Для товстого металу необхідно встановити баланс на рівні 75-80% EN (максимальна penetрація). Встановлення 50/50 призведе до миттєвого розплавлення вольфрамового електрода (від надлишку позитивної напівхвилі) та відриву вольфрамової краплі у ванну, при цьому глибина проплавлення блоку буде недостатньою.

РОЗДІЛ 10. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 7. АВТОМАТИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ ТА ЇХ КІНЕМАТИКА

У завершальному блоці розглядається важке устаткування для автоматичного дугового зварювання під флюсом (SAW). Правила оформлення формул та розрахунків вимагають чіткого розмежування фізичних величин та розмірностей.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 13

Тема: Устаткування для зварювання під флюсом (SAW). Налаштування та розрахунок кінематики зварювального трактора.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Вивчити будову ходового механізму автомата тракторного типу. Опанувати формули розрахунку швидкості зварювання на основі кінематичного ланцюга.

Обладнання: Макет або кінематична схема зварювального трактора (типу ТС-17 або АДС-1000), інженерний калькулятор.

Короткі теоретичні відомості:

Зварювальний трактор — це мобільний самохідний автомат, який переміщується безпосередньо по виробу або по рейці. Якість зварного шва (його ширина та глибина проплавлення) критично залежить від лінійної швидкості переміщення трактора (V_{zv}).

Кінематичний ланцюг ходового візка складається з електродвигуна, понижувального редуктора (з передавальним числом i_{red}) та приводних коліс.

Лінійна швидкість зварювання (V_{zv} , метри за годину) розраховується за формулою:

$$V_{zv} = 3.14 * D_{kolesa} * n_{kolesa} * 60,$$

де D_{kolesa} — зовнішній діаметр приводного колеса трактора (у метрах); n_{kolesa} — частота обертання колеса (обертів за хвилину); 60 — коефіцієнт переведення хвилин у години.

Свою чергою, частота обертання колеса дорівнює:

$$n_{kolesa} = n_{dviguna} / i_{red}.$$

Завдання для практичного виконання:

1. Вивчити кінематичну схему трактора. Накреслити її в зошиті, позначивши двигун, редуктор, муфту зчеплення та колеса.
2. **Розрахункова інженерна задача:**

На мостобудівному заводі працює зварювальний трактор. Вам, як майстру, необхідно налаштувати швидкість зварювання $V_{zv} = 35$ м/год для проходу стикового шва товщиною 20 мм.

Дано параметри кінематики трактора:

- Діаметр приводного колеса з бандажем $D_{kolesa} = 150$ мм (0.15 м).
- Передавальне відношення ходового редуктора $i_{red} = 120$.

Завдання: Розрахувати необхідну частоту обертання вала електродвигуна ($n_{dviguna}$, об/хв), щоб забезпечити вказану швидкість зварювання.

Алгоритм розв'язання:

- Крок 1. Знайти необхідні оберти колеса з першої формули:
$$n_{kolesa} = V_{zv} / (3.14 * D_{kolesa} * 60) = 35 / (3.14 * 0.15 * 60) = 35 / 28.26 = 1.238 \text{ об/хв.}$$

- Крок 2. Знайти оберти двигуна через редуктор:
$$n_{dviguna} = n_{kolesa} * i_{red} = 1.238 * 120 = 148.6 \text{ об/хв.}$$

3. Сформулювати висновок щодо важливості точного дотримання розрахункової швидкості (пояснити, що буде зі швом, якщо трактор поїде занадто повільно — пропал і перегрів металу).

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 14

Тема: Системи саморегулювання дуги та пневматичні системи рекуперації флюсу.

Тривалість: 2 академічні години.

Мета: Дослідити електричні алгоритми стабілізації дуги під флюсом. Зрозуміти принцип роботи промислових пневмосистем рекуперації.

Короткі теоретичні відомості:

При зварюванні під флюсом дуга прихована, і зварювальник не може візуально контролювати її довжину. Якщо поверхня металу нерівна, дуга може подовжитися або закоротити. В автоматах використовують систему саморегулювання: двигун подачі дроту обертається з незмінною швидкістю, а джерело живлення має **жорстку ЗВАХ**. При зміні довжини дуги миттєво змінюється зварювальний струм, швидкість плавлення дроту різко зростає або падає, і довжина дуги відновлюється автоматично без механічних рухів.

Рекуперація флюсу: Оскільки при SAW зварюванні плавиться лише 30-40% насипаного флюсу, решта залишається у вигляді чистого порошку. Її збирають пневматичним пиłosосом (рекуператором), що працює від магістралі стисненого повітря цеху за принципом ежекції, і повертають назад у бункер трактора.

Завдання для практичного виконання:

1. Накреслити схему пневматичної рекуперації (відсмоктування) флюсу: сопло, циклонний сепаратор, мішок для пилу, бункер чистого флюсу.

2. **Техніко-економічна розрахункова задача:**

Трактор зварює поздовжній шов цистерни довжиною $L = 10$ метрів.

Маса наплавленого металу шва (дроту) становить $M_{drotu} = 4.5$ кг.

Відомо, що технологічна норма витрати флюсу (M_{flux}) дорівнює 1.2 кг на кожен кілограм розплавленого дроту.

Загальна маса флюсу, яку оператор насипає перед дугою на цей шов, становить $M_{total} = 20$ кг.

Завдання А: Розрахувати масу флюсу, який розплавився і перетворився на шлакову кірку ($M_{flux_rozplav}$).

Завдання Б: Розрахувати масу чистого флюсу (M_{chisty}), який система рекуперації збере і поверне в бункер для наступного використання.

Хід розв'язання:

- $M_{flux_rozplav} = M_{drotu} * 1.2 = 4.5 * 1.2 = 5.4$ кг.
- $M_{chisty} = M_{total} - M_{flux_rozplav} = 20 - 5.4 = 14.6$ кг.

3. Оформити висновки до практичної роботи, де пояснити економічну та екологічну доцільність встановлення систем рекуперації на зварювальні автомати (враховуючи зниження запиленості цехового простору).

ЗАТВЕРДЖУЮ Директор ЗПО «Дніпровський професійний технологічний коледж»
Олександр СТІЛЕЦЬ «__» _____ 2026 р.

ПОГОДЖЕНО Заступник директора з навчально-методичної роботи ЗПО «ДПТК»
Сергій ГОРДІЄНКО «__» _____ 2026 р.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС: МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ» (Частина 3: Розділи 11–15. Практичні роботи № 15–20, ІРГЗ та Термінологічний довідник)

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

Спеціальність: 131 Прикладна механіка **Освітньо-професійна програма:** «Зварювальне виробництво»

РОЗДІЛ 11. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 8. МЕХАНОСКЛАДАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИКИ

Даний блок практичних робіт спрямований на опанування навичок інженерного конструювання та розрахунку механічного обладнання. Будь-який технологічний процес у зварювальному виробництві вимагає жорсткої фіксації деталей та їх правильного просторового позиціонування. Усі формули у цьому розділі адаптовані для зручного копіювання в текстові редактори без втрати форматування.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 15

Тема: Проектування елементів складальних кондукторів: розрахунок затискних механізмів.

Тривалість: 2 академічні години. **Мета:** Навчитися проектувати та розраховувати зусилля затиску ручних (гвинтових, важільно-ексцентрикових) та механізованих (пневматичних) притисків для надійної фіксації деталей перед зварюванням і запобігання термічним деформаціям. **Обладнання:** Креслярське приладдя, довідники конструктора-машинобудівника, ескізи зварних вузлів.

Короткі теоретичні відомості: Складально-зварювальний кондуктор (Welding Jig) — це спеціальна жорстковагова оснастка. Її головне завдання — забезпечити точність розмірів зварного вузла (взаємозамінність) та протистояти величезним внутрішнім напруженням, які виникають під час кристалізації та усадки зварного шва. Для утримання деталі застосовують притиски.

1. **Пневматичний притиск:** Є найефективнішим для серійного виробництва (наприклад, на підприємстві ТОВ "Аксор індастрі"). Зусилля створюється тиском стисненого повітря на поршень. Зусилля на штоку пневмоциліндра (F , вимірюється в Ньютонах) розраховується як добуток тиску повітря (P), площі поршня (S) та коефіцієнта корисної дії циліндра (n): $F = P * S * n$. Оскільки поршень круглий, його площа $S = (3.14 * D^2) / 4$, де D — діаметр поршня.

2. **Гвинтовий притиск (струбцина):** Надійний, але повільний пристрій. Зусилля затиску (Q) створюється за рахунок крутного моменту, який робітник прикладає до рукоятки. Це зусилля витрачається на подолання тертя в самій різьбі гвинта та тертя на торці натискної п'яти (яка впирається в деталь).

Завдання для практичного виконання:

1. **Задача на розрахунок пневматики:** Задано пневмоциліндр двосторонньої дії, який притискає кутник до рами. Діаметр поршня $D = 100$ мм (переводимо в метри: 0.1 м). Тиск стисненого повітря у магістралі цеху $P = 0.6$ МПа (або $600\,000$ Па). ККД циліндра $n = 0.85$. **Завдання:** Розрахувати фактичне зусилля стиснення (F) у Ньютонах. **Хід розв'язання:** Крок 1. Площа поршня: $S = (3.14 * 0.1^2) / 4 = 3.14 * 0.01 / 4 = 0.00785$ м². Крок 2. Зусилля: $F = 600000$

$* 0.00785 * 0.85 = 4003.5 \text{ Н}$. **Висновок:** Пневмоциліндр створює зусилля понад 4000 Ньютонів (приблизно 400 кгс), що є абсолютно достатнім для фіксації листа товщиною до 8 мм від жолоблення.

2. **Аналітичне завдання:** Накреслити принципову схему важільно-ексцентрикового швидкого затискача (типу De-Sta-Co). Пояснити в протоколі принцип "мертвої точки" (самогальмування важеля), який не дозволяє притиску відкритися від вібрацій під час зварювання.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 16

Тема: Кантувачі та маніпулятори: розрахунок центру ваги та вибір приводу обертання.

Тривалість: 2 академічні години. **Мета:** Навчитися балансувати важкі просторові зварні конструкції в маніпуляторах для запобігання перекиданню та перевантаженню мотор-редукторів. Опанувати розрахунок статичних моментів.

Короткі теоретичні відомості: Зварювальний маніпулятор — це механізм із поворотною планшайбою (столом), яка може обертатися навколо своєї осі та нахилитися на кут до 135 градусів. Його мета — перевести будь-який шов просторової деталі у зручне нижнє положення (РА), що підвищує продуктивність зварювальника у 2-3 рази. Головна небезпека при експлуатації маніпулятора — неправильне закріплення несиметричної деталі (наприклад, Г-подібної стійки або кронштейна з масивною противагою). Якщо загальний центр ваги (ЦВ) деталі не збігається з віссю обертання планшайби, виникає **ексцентриситет (е)** — відстань між віссю обертання та центром ваги. Цей ексцентриситет створює перекидний статичний момент (M_{stat}), який намагається мимовільно повернути планшайбу. Формула моменту: $M_{\text{stat}} = G * e$, де G — вага деталі в Ньютоніях ($G = \text{маса } m * 9.81$), e — ексцентриситет у метрах. Якщо M_{stat} перевищить номінальний крутний момент (M_{nom}), на який розрахований черв'ячний редуктор маніпулятора, відбудеться поломка зубців редуктора або згоряння електродвигуна. Щоб цього уникнути, деталь балансують (прикріплюють додаткові свинцеві противаги з протилежного боку планшайби).

Завдання для практичного виконання:

1. **Розрахунково-аналітична задача:** На заводі ПП "Висотпромсервіс" на планшайбу маніпулятора встановили сталевий зварний вузол (масивний корпус редуктора). Маса вузла $m = 800 \text{ кг}$. Через несиметричну форму деталі її центр ваги зміщений від осі обертання планшайби на відстань $e = 350 \text{ мм}$ (0.35 м). У паспорті наявного в цеху маніпулятора М-1000 вказано, що максимально допустимий крутний момент на осі обертання планшайби $M_{\text{nom}} = 2500 \text{ Нм}$. **Завдання:** Розрахувати статичний перекидний момент від деталі та зробити висновок, чи витримає редуктор маніпулятора таке навантаження. **Хід розв'язання:** Крок 1. Вага деталі: $G = 800 * 9.81 = 7848 \text{ Н}$. Крок 2. Статичний момент: $M_{\text{stat}} = 7848 * 0.35 = 2746.8 \text{ Нм}$. **Висновок:** Оскільки розрахований статичний момент (2746.8 Нм) перевищує допустимий паспортний момент маніпулятора (2500 Нм), експлуатація обладнання заборонена — редуктор вийде з ладу. Інженер повинен прийняти рішення: або використовувати більш потужний маніпулятор, або встановити на планшайбу противагу масою не менше 100 кг на відстані 0.35 м з протилежного боку від осі, щоб збалансувати масу.

2. Замалювати схему кріплення деталі на планшайбі з вказівкою векторів сил та ексцентриситету.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 17

Тема: Роликові стенди для обертання циліндричних ємностей. Розрахунок кінематики.

Тривалість: 2 академічні години. **Мета:** Опанувати методику розрахунку частоти обертання приводних роликів для забезпечення строго заданої лінійної швидкості автоматичного зварювання кільцевих швів резервуарів.

Короткі теоретичні відомості: Для зварювання кільцевих швів труб, котлів та резервуарів використовують **роликові стенди (роликоопори)**. Резервуар (обичайка) просто кладеться

зверху на гумові або металеві поліуретанові ролики. Зварювальний автомат (наприклад, підвісна головка SAW) нерухомо закріплюється зверху в "зеніті". Щоб шов формувався якісно, поверхня обичайки повинна пропливати під дугою з постійною швидкістю зварювання (V_{zv}). Оскільки обичайка обертається за рахунок сил тертя від приводного ролика (без проковзування), лінійна швидкість поверхні ролика дорівнює лінійній швидкості поверхні обичайки, і, відповідно, дорівнює швидкості зварювання.

Формула зв'язку лінійної швидкості (V_{zv}) з частотою обертання ролика (n_{rol}): $V_{zv} = 3.14 * D_{rol} * n_{rol} * 60$, де V_{zv} — швидкість зварювання в метрах за годину (м/год); D_{rol} — діаметр приводного ролика в метрах; n_{rol} — частота обертання ролика в обертах за хвилину (об/хв); 60 — перевід хвилин у години.

Важливий технічний нюанс: Швидкість обертання самої багатотонної обичайки (в об/хв) залежить від її величезного діаметра, але лінійна швидкість шва під дугою залежить **тільки** від обертів приводного ролика і його діаметра.

Завдання для практичного виконання:

1. **Інженерна розрахункова задача:** У цеху необхідно зварити кільцевий шов резервуара діаметром 2500 мм. Технологічний процес передбачає автоматичне зварювання під флюсом (SAW). Затверджена швидкість зварювання $V_{zv} = 45$ м/год. Резервуар встановлено на роликовий стенд. Діаметр приводних гумових роликів стенда $D_{rol} = 350$ мм (0.35 м). Електродвигун стенда підключений до редуктора з передавальним числом $i_{red} = 200$.
Завдання А: Визначити, з якою частотою (n_{rol} , об/хв) повинен обертатися приводний ролик.
Завдання Б: Яку частоту обертання (n_{dv}) повинен видати електродвигун постійного струму?
Хід розв'язання: Крок 1. З базової формули виражаємо частоту обертання ролика: $n_{rol} = V_{zv} / (3.14 * D_{rol} * 60)$ $n_{rol} = 45 / (3.14 * 0.35 * 60) = 45 / 65.94 = 0.682$ об/хв. (Ролик обертається дуже повільно — менше одного оберту за хвилину). Крок 2. Знаходимо необхідні оберти електродвигуна: $n_{dv} = n_{rol} * i_{red} = 0.682 * 200 = 136.4$ об/хв.

2. **Оформлення висновку (Troubleshooting):** Пояснити в протоколі, як інженер повинен скоригувати налаштування електродвигуна, якщо через 2 роки інтенсивної експлуатації гумовий шар роликів зітреється, і їхній діаметр зменшиться з 350 мм до 330 мм. (Відповідь: оскільки діаметр зменшився, для збереження тієї ж лінійної швидкості 45 м/год доведеться збільшити частоту обертання двигуна на панелі частотного перетворювача).

РОЗДІЛ 12. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 9. ОСНОВИ ПРОГРАМУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА СЕНСОРНІ СИСТЕМИ

У сучасному машинобудуванні ручна праця масово витісняється промисловими антропоморфними роботами. Здобувач повинен розуміти не лише механіку робота, але й логіку математичного формування його траєкторії в просторі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 18

Тема: Основи програмування робототехнічних комплексів (РТК). Траєкторія руху ТСР.

Тривалість: 2 академічні години. **Мета:** Ознайомитися з системами координат робота. Опанувати концепцію центральної точки інструмента (ТСР). Навчитися писати базовий псевдокод для зварювання простих геометричних фігур. **Обладнання:** Навчальні схеми просторових осей роботів (Yaskawa, KUKA), імітаційна модель зварювального пальника.

Короткі теоретичні відомості: Промисловий 6-осьовий робот-зварювальник має 6 ступенів свободи (осей), що дозволяє йому обертати зварювальний пальник під будь-яким кутом до деталі. Для того щоб робот розумів, де знаходиться деталь, використовуються системи координат:

- **World Coordinate System (Світова система):** Нульова точка знаходиться в основі (базі) робота.

- **TCP (Tool Center Point - Центральна точка інструмента):** Точка на самому кінці зварювального дроту (на відстані вильоту дроту від струмознімного наконечника). Вся математика контролера зводиться до розрахунку переміщення саме цієї єдиної точки в просторі.

Типи рухів (команди), які програміст задає через пульт (Teach Pendant):

- **PTP (Point-to-Point):** Швидкий "повітряний" рух. Робот переміщується між точками найшвидшим шляхом (синхронно обертаючи всіма двигунами). Траєкторія між точками не є прямою лінією і не контролюється. Застосовується виключно для підводу пальника до деталі без зварювання. Швидкість задається у відсотках від максимальної (наприклад, 80%).
- **LIN (Linear):** Лінійна інтерполяція. Робот математично розраховує строго пряму лінію між двома точками і веде пальник точно по цій прямій. Застосовується для самого процесу зварювання. Швидкість задається жорстко в метрах за хвилину (або мм/сек).
- **CIRC (Circular):** Рух по ідеальній дузі кола. Для програмування дуги потрібно показати роботу 3 точки: початкову, проміжну (на самій дузі) та кінцеву.

Завдання для практичного виконання:

1. Накреслити в протоколі умовну деталь: плоску квадратну пластину. На ній позначити квадратний зварний шов (100x100 мм). Позначити кути як точки: P1, P2, P3, P4. Над деталлю (на висоті 200 мм) позначити безпечну точку паркування робота: P_Home.
2. Скласти покрокову програму (псевдокод) для зварювання цього квадрата, використовуючи команди PTP, LIN, Arc On (запалити дугу) та Arc Off (погасити дугу). Швидкість зварювання задати $V_{zv} = 40$ см/хв. *Зразок оформлення псевдокоду у протоколі:*
Рядок 1: PTP P_Home (Швидкість 100%) — *робот виходить з безпечної зони.* Рядок 2: PTP P1 (Швидкість 30%) — *повільний і обережний підхід до точки початку шва.* Рядок 3: Arc On (Job 1) — *команда джерелу живлення запалити дугу за програмою №1.* Рядок 4: LIN P2 (Швидкість 40 см/хв) — *лінійне зварювання першої грані квадрата.* Рядок 5: LIN P3 (Швидкість 40 см/хв). Рядок 6: LIN P4 (Швидкість 40 см/хв). Рядок 7: LIN P1 (Швидкість 40 см/хв) — *повернення в початкову точку.* Рядок 8: Arc Off — *гасіння дуги, заварювання кратера.* Рядок 9: PTP P_Home (Швидкість 100%) — *швидке відведення робота в безпечну зону.*
3. **Висновок:** Пояснити, чому команду PTP категорично заборонено використовувати для самого процесу зварювання (відповідь: тому що траєкторія PTP не є гарантовано прямою лінією, дуга зійде зі стику, і швидкість цього руху не є постійною).

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 19

Тема: Сенсорні системи стеження за стиком (Seam Tracking). **Тривалість:** 2 академічні години. **Мета:** Опанувати алгоритми автоматичної корекції траєкторії робота при термічних деформаціях металу та неточностях збирання. **Обладнання:** Ілюстрації та відеопрезентації систем лазерного сканування та систем TAST.

Короткі теоретичні відомості: Навіть якщо робот ідеально запрограмований, реальні деталі з цеху завжди мають відхилення (допуски на штампування до 2-3 мм). Крім того, під час зварювання виділяється величезна кількість тепла, метал деформується ("ведеться"), і стик зсувається в просторі просто під час горіння дуги. Сліпий робот виконає зварювання повз стик (виникне непровар). Щоб надати роботу "зір", використовують:

1. **Тактильний пошук (Touch Sensing):** До початку зварювання на зварювальний дріт подається безпечна напруга 40 В. Робот повільно торкається дротом деталі в кількох площинах (шукаючи кромку). При дотику коло замикається, робот запам'ятовує координату і зсуває всю програму зварювання (Shift) у знайденому напрямку.
2. **Відстеження через дугу (TAST - Through Arc Seam Tracking):** Працює безпосередньо під час зварювання. Робот постійно здійснює поперечні коливання пальника (Weaving) від лівої кромки до правої. При наближенні до стінки (наприклад, у V-подібному розчині або тавровому з'єднанні) виліт дроту коротшає, а отже, зварювальний струм миттєво зростає.

Контролер аналізує ці стрибки струму на лівій і правій стінці і обчислює точний геометричний центр стику, постійно підрулюючи роботом.

3. **Лазерні профілометри (Laser Scanner):** Лазерна головка, закріплена перед пальником, проєктує смугу світла впоперек шва. Вбудована відеокамера бачить злам цієї смуги на кромках, і комп'ютер будує 3D-модель шва, вираховуючи ширину зазору та координати центру для коригування.

Завдання для практичного виконання:

1. Описати в протоколі принцип дії методу TAST (відстеження через дугу) та намалювати графік зміни струму під час коливань пальника в тавровому з'єднанні.

2. **Аналітичний кейс (Troubleshooting):** Технологу потрібно роботизувати зварювання гладких тонкостінних труб з алюмінію встик (без зазору, без скосу кромки). Поверхня алюмінію глянцева, як дзеркало. *Запитання:* Чи буде ефективною система лазерного сканування в цьому випадку? Чи буде ефективною система TAST? *Хід логіки для висновку:* Лазерний сканер не зможе працювати ефективно, оскільки гладкий стик без зазору (як волосина) не дасть чіткого "зламу" лазерної смуги, а глянцева дзеркальна поверхня алюмінію відіб'є лазерний промінь, "осліпивши" камеру. Система TAST також не працюватиме, оскільки при зварюванні плоского гладкого стику встик (без стінок) коливання пальника вліво-вправо не призведуть до зміни вольту дроту, і струм змінюватися не буде. Для такого завдання необхідні системи технічного зору іншого типу (висококонтрастні камери з підсвіткою) або жорстке прецизійне механічне оснащення деталі без застосування сенсорів.

РОЗДІЛ 13. ПРАКТИЧНИЙ БЛОК № 10. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА КОМПЛЕКТАЦІЯ

Завершальна практична робота курсу є містком між дисципліною «Технологічне устаткування» та підсумковим Індивідуальним розрахунково-графічним завданням (ІРГЗ).

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 20

Тема: Комплексний техніко-економічний аналіз та підбір устаткування для зварювального виробництва. **Тривалість:** 2 академічні години. **Мета:** Інтегрувати набуті знання. Навчитися здійснювати обґрунтований інженерний вибір комплексу обладнання для конкретної виробничої задачі, оцінюючи технічні (ТВ, потужність) та економічні (продуктивність, капітальні інвестиції) критерії. **Обладнання:** Каталоги обладнання (ESAB, Fronius, Paton, Jasic), прайс-листи, калькулятор.

Короткі теоретичні відомості: Інженер-технолог повинен мислити економічними категоріями. Будь-яке обладнання — це інвестиція (CAPEX - капітальні витрати), яка повинна окупатися за рахунок продуктивності, економії енергії, зарплатного фонду та зниження рівня браку (OPEX - операційні витрати). Наприклад, ручне зварювання (MMA) має низькі капітальні витрати (апарат коштує недорого), але низьку продуктивність (багато часу йде на зачистку шлаку та зміну електродів). Автоматичне зварювання під флюсом (SAW) вимагає величезних капітальних інвестицій на старті (трактор, потужне джерело, флюсоапарат), але забезпечує шалену швидкість і нульовий рівень браку.

Завдання для практичного виконання:

1. **Комплексне завдання:** Підприємство розпочинає масове виробництво сталевих двотаврових балок (марка сталі 09Г2С, товщина стінки 12 мм, довжина суцільного поздовжнього шва 6 метрів). План випуску — 1000 балок на місяць.

2. Сформулювати дві альтернативні технологічні пропозиції для керівництва заводу:

○ **Альтернатива А:** Напівавтоматичне зварювання (MIG/MAG) в середовищі суміші Ag/CO₂. Залучення 3-х кваліфікованих зварювальників-ручників. Швидкість зварювання становить 15 м/год. *Підібрати комплектацію для 3-х постів:* Джерело живлення

500 А, виносний механізм подачі дроту, блок водяного охолодження (чилер), пальники з водяним охолодженням.

○ **Альтернатива Б:** Автоматичне зварювання під флюсом (SAW). Залучення 1-го оператора-налагоджувальника. Швидкість зварювання становить 45 м/год. *Підібрати комплектацію:* Зварювальний трактор, джерело живлення на 1000 А, система рекуперації флюсу.

3. Оформити порівняльну таблицю. У висновку обґрунтувати, чому для масового виробництва довгих і товстих прямих швів Альтернатива Б (SAW), незважаючи на втричі вищу початкову вартість обладнання, забезпечить швидший термін окупності (Return on Investment - ROI). Вказати переваги автоматизації: відсутність людського фактору, стабільність якості, відсутність потреби у високооплачуваних ручних зварювальниках, відсутність розбризкування.

РОЗДІЛ 14. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ (ІРГЗ)

Індивідуальне розрахунково-графічне завдання (ІРГЗ) — це підсумкова самостійна робота здобувача освіти, яка повністю моделює створення Розділу "Спеціальна (технологічна) частина" майбутнього дипломного проекту. Обсяг СРС, виділений на ІРГЗ, становить 14 годин.

14.1. Структура пояснювальної записки ІРГЗ Завдання оформлюється у вигляді друкованого документа формату А4 (обсягом 7-10 сторінок) з дотриманням усіх стандартів ЄСКД (шрифти, рамки, штампи). До складу записки входять:

1. **Титульний аркуш:** Оформлюється за єдиним затвердженим зразком (див. Додаток А).
2. **Бланк завдання:** Включає ескіз деталі, вказівку товщини, марки матеріалу та типу виробництва (серійне/масове/одиничне).
3. **Технологічне обґрунтування:** Аргументований вибір способу зварювання.
4. **Апаратна комплектація:** Таблиця з переліком обраного обладнання (зварювальне джерело, подавальний механізм, пальник, газова апаратура) із зазначенням точних марок, виробників та їхніх паспортних характеристик.
5. **Розрахункова частина:** Розрахунок мінімум одного кінематичного або пневматичного елемента устаткування (наприклад, зусилля притискання в кондукторі або розрахунок передавального числа редуктора).
6. **Охорона праці:** Вказівка методів захисту зору, дихання та заходів електробезпеки при експлуатації обраного комплексу.

14.2. Графічна частина ІРГЗ Обов'язковим елементом є креслення (на аркуші формату А3 або А4). Це може бути:

- Кінематична схема складально-зварювального кондуктора з вказівкою баз та точок прикладання затискних зусиль.
- Принципова пневматична схема підключення притискних циліндрів кондуктора.
- Кінематична схема розрахованого механізму подачі дроту.

14.3. Оцінювання ІРГЗ (Максимум 20 балів) Оцінка базується на захисті роботи: викладач перевіряє рівень розуміння здобувачем зроблених ним розрахунків та адекватність вибору обладнання. Якщо виявляється факт генерації тексту системами штучного інтелекту без реального інженерного розрахунку, або плагіат з інших курсових робіт, робота анулюється (0 балів), і здобувач зобов'язаний розробити новий варіант з нуля.

РОЗДІЛ 15. ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ ДОВІДНИК ТА АНГЛОМОВНИЙ ГЛОСАРІЙ ІНЖЕНЕРА

Переважає більшість сучасного високотехнологічного устаткування (інвертори, роботи, сканери) розробляється міжнародними компаніями і має інтерфейс та технічну документацію

виключно англійською мовою. Для успішної роботи та проходження співбесід здобувач повинен вільно оперувати наступними термінами.

1. **Duty Cycle (ТВ / Тривалість включення):** Відсоток часу від 10-хвилинного циклу, протягом якого апарат може безперервно зварювати струмом заданої величини без ризику перегріву.
2. **Constant Current / CC (Крутопадаюча ЗВАЗ):** Режим джерела живлення, при якому струм залишається майже постійним незалежно від коливань напруги (довжини дуги). Використовується для процесів MMA та TIG.
3. **Constant Voltage / CV (Жорсткі ЗВАЗ):** Режим джерела живлення, при якому напруга залишається постійною, а струм миттєво реагує на зміну опору дуги. Використовується для процесу MIG/MAG.
4. **PFC (Power Factor Correction):** Блок активної корекції коефіцієнта потужності в сучасних інверторах. Дозволяє апарату ефективно споживати електроенергію з мережі (без реактивних втрат), що дозволяє використовувати довгі подовжувачі та слабкі генератори.
5. **Synergic Control (Синергетичне управління):** Алгоритм мікропроцесорного керування напівавтоматом, що дозволяє налаштовувати процес "однією ручкою" (товщиною металу) на базі попередньо записаних заводських налаштувань.
6. **Wire Feeder (Механізм подачі дроту):** Пристрій, що забезпечує стабільну швидкість розмотування та подачі дроту в пальник.
7. **Contact Tip (Струмознімний наконечник):** Мідна деталь на кінці пальника MIG/MAG, через яку електричний струм передається на зварювальний дріт.
8. **Gas Lens (Газова лінза):** Спеціальний сітчастий дифузор у пальниках TIG, що перетворює потік аргону з турбулентного на ламінарний, забезпечуючи ідеальний захист зварної ванни.
9. **HF Ignition (Високочастотний підпал / Осцилятор):** Система безконтактного запалювання дуги в TIG-апаратах, яка пробиває газовий проміжок іскрою високої напруги (2000-6000 В).
10. **Pre-flow / Post-flow:** Час продування газом ДО запалювання дуги і ПІСЛЯ її згасання. Ключові параметри циклограми TIG.
11. **AC Balance (Баланс змінного струму):** Налаштування у TIG-AC інверторах, що регулює співвідношення часу позитивної напівхвилі (очищення оксидної плівки алюмінію) та негативної напівхвилі (проплавлення деталі).
12. **Pulse MIG (Імпульсний режим):** Режим зварювання з контрольованим краплеперенесенням без коротких замикань. Чергування базового (фонового) струму та пікового струму високої амплітуди.
13. **Welding Jig (Складальний кондуктор):** Жорстке пристосування для точного просторового базування та затискання деталей перед зварюванням.
14. **Positioner / Rotator (Маніпулятор / Кантувач / Роликовий стенд):** Обладнання для обертання або нахилу масивних деталей з метою переведення шва в зручне нижнє положення.
15. **TCP (Tool Center Point):** Центральна точка інструмента (наприклад, кінець зварювального дроту) в системах програмування промислових роботів. Розрахунок кінематики робота ведеться відносно цієї точки.
16. **Seam Tracking (Система стеження за стиком):** Датчики (лазерні, тактильні або дугові TAST), які дозволяють роботу або каретці в режимі реального часу коригувати траєкторію при термічних деформаціях металу.