

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ
СПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МАШИННОГО ЗОРУ В
УМОВАХ ТЗОВ «NG METALL»**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-63

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Михайло СОЙКА
(Ім'я та прізвище)

Керівник: д.т.н., проф. Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
«12» вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Сойка Михайло Володимирович

1. Тема роботи: **«Дослідження процесів зварювання алюмінієвих сплавів з використанням методу машинного зору в умовах ТзОВ «NG Metall»**

Керівник роботи: Власовець Віталій Михайлович, д.т.н., проф.

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 06.12.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Індустрія 4.0 на підприємствах машинобудівної галузі;

2. Інноваційні проекти відповідно до індустрії 4.0 на машинобудівних підприємствах;

3. Впровадження інноваційних проектів на машинобудівних підприємствах;

Основні результати і висновки;

Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: результати підготовки даних та їх обробка.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Власовець В.В.. д.т.н., проф. кафедри машинобудування			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання першого розділу</i>	<i>12.09.24- 26.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу</i>	<i>27.09.24- 16.10.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу</i>	<i>17.10.24- 05.11.24</i>	
4.	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>6.11.24- 06.12.24</i>	

Студент _____ Михайло СОЙКА
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(підпис)

УДК 631.332

Дослідження процесів зварювання алюмінієвих сплавів з використанням методу машинного зору в умовах ТЗОВ «NG Metall»

Сойка М.В. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

67 с. текст. част., 12 рис., 2табл., 68 джерел інформації.

Мета досліджень - дослідити процеси зварювання виробів з оцінкою дефектів методами машинного зору.

Завдання досліджень:

1. Розглянути особливості концепції Індустрія 4.0 для машинобудування;
2. Визначити сучасні підходи та можливості для визначення дефектів зварювання за допомогою систем машинного зору;
3. Сформулювати рекомендації по впровадженню;
4. Запропонувати напрямки подальших досліджень.

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ I ІНДУСТРІЯ 4.0 НА ПІДПРИЄМСТВАХ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ	7
1.1 Потенціал інноваційних технологій індустрії 4.0	7
1.2. Поточний стан в машинобудівній промисловості	11
1.3. Індустрія 4.0 у сфері закупівель для машинобудування	11
Розділ II ІННОВАЦІЙНІ ПРОЄКТИ ВІДПОВІДНО ДО ІНДУСТРІЇ 4.0 НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	15
2.1. Впровадження Індустрії 4.0 на мікропідприємствах	15
2.2. Впровадження Індустрії 4.0 на підприємствах малого бізнесу	18
2.3. Впровадження Індустрії 4.0 на підприємствах середнього розміру	24
2.4. Впровадження Індустрії 4.0 на великих підприємствах	31
Розділ III ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	45
2.1. Впровадження Індустрії 4.0 на мікропідприємствах	45
2.5. Практичне впровадження Індустрії 4.0 у машинобудівній промисловості	35
Висновки та пропозиції	53
Список використаних джерел	55

ВСТУП

Актуальність теми. Управління інноваційними проектами є важливим завданням для успішної реалізації сучасних стратегій, зокрема Індустрії 4.0. Індустрія 4.0 включає інтеграцію різних передових технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), великі дані та робототехніка. Управління цими технологіями вимагає структурованого підходу для вирішення складності та забезпечення безперебійної роботи всіх компонентів.

Управління проектами допомагає визначати чіткі цілі, встановлювати реалістичні терміни та ефективно розподіляти ресурси. Це стратегічне планування важливе для того, щоб впровадження відповідало загальним бізнес-цілям та забезпечувало дорожню карту для їх досягнення.

Впровадження технологій Індустрії 4.0 пов'язане з ризиками, включаючи загрози кібербезпеки, технічні збої та питання конфіденційності даних. Ефективне управління проектами допомагає виявляти потенційні ризики на ранніх стадіях і розробляти стратегії зменшення їх впливу.

Правильне управління проектами забезпечує ефективний розподіл ресурсів, таких як час, бюджет та людські ресурси. Це запобігає надмірному або недостатньому використанню ресурсів, забезпечуючи дотримання бюджету та графіку проекту.

Впровадження Індустрії 4.0 включає багато зацікавлених сторін, включаючи керівництво, продуктові-команди, виробничий персонал та зовнішніх постачальників. Управління проектами сприяє комунікації та координації між цими сторонами, забезпечуючи узгодженість та спільну роботу для досягнення спільних цілей.

Індустрія 4.0 часто вимагає значних змін у організаційних процесах і культурі. Управління проектами забезпечує структуру для управління цими змінами, забезпечуючи плавні переходи та мінімізацію опору з боку працівників.

Підтримання високих стандартів якості є важливим при інтеграції нових технологій. Управління проектами встановлює процеси контролю якості та орієнтири, забезпечуючи відповідність впровадження необхідним стандартам та надання очікуваних переваг.

Управління проектами підтримує підхід постійного вдосконалення, включаючи зворотні зв'язки та уроки, винесені з проектів. Це забезпечує еволюцію та покращення процесу впровадження з часом, підвищуючи загальну ефективність технологій Індустрії 4.0.

Загалом, управління проектами є необхідним для успішної реалізації Індустрії 4.0, оскільки забезпечує структурований підхід до управління складністю, ризиками, ресурсами та координацією зацікавлених сторін. Це забезпечує стратегічне узгодження, контроль якості та постійне вдосконалення, що зрештою призводить до реалізації повного потенціалу технологій Індустрії 4.0.

Ступінь визначення досліджуваної проблеми. Характеризуючи стан досліджуваної проблеми необхідно відмітити, що основним фреймворком по впровадженню інноваційних рішень на машинобудівних підприємствах є Індустрія 4.0. Такою проблематикою займалися науковці к в Україні - Хрутьба В.О., Шпак Н.О., Сметанюк О.А., Бурлуцька С.В., Євчук Л. А., Смесова В.Л.Занора В.О., так і закордоном - Rana A., Rametsteiner E., Erol S., Brettel M., Wang Y., Posada J. Незважаючи на наукові гіпотези, висунуті даними авторами, певне коло питань залишається без розгляду. Зокрема постійний моніторинг та оцінка є критичними для успіху проектів Індустрії 4.0, а управління проектами надає інструменти та методи для відстеження прогресу, вимірювання ефективності та внесення необхідних коригувань для збереження курсу.

- *Мета досліджень - дослідити процеси зварювання виробів з оцінкою дефектів методами машинного зору.*
- *Завдання досліджень:*
- *1. Розглянути особливості концепції Індустрія 4.0 для машинобудування;*

- 2. *Визначити сучасні підходи та можливості для визначення дефектів зварювання за допомогою систем машинного зору;*
- 3. *Сформулювати рекомендації по впровадженню;*
- 4. *Запропонувати напрямки подальших досліджень.*

Методи дослідження. У роботі були використані такі методи як спостереження, порівняння, метод статичного аналізу, метод відображення наукових досліджень у графічній, а також табличній формах.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ В МЕЖАХ ФРЕЙМВОРКА ІНДУСТРІЯ 4.0 НА ПІДПРИЄМСТВАХ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Потенціал інноваційних технологій індустрії 4.0

Європейський промисловий сектор наразі переживає значні економічні зміни, які зумовлені зростаючими темпами соціально-економічних та технічних змін, таких як кліматична криза, скорочення доступних природних ресурсів, стихійні лиха, військові конфлікти та зростання цін на енергоносії. Крім того, споживачі вимагають дедалі складніших продуктів високої якості, стандартів і сертифікації, включаючи послуги з підтримки, для задоволення своїх нагальних потреб.

Цей сектор є унікальним у своїй взаємозалежності від сировинної бази, яка повинна бути спрямована на розвиток задіяних галузей, переробних потужностей та використання виробів як екологічної та відновлюваної сировини для майбутніх поколінь. Промислове виробництво має фундаментальне значення в цьому випадку, оскільки воно спонукає до розвитку суміжних галузей. Водночас цей сектор сприяє розвитку територій з економічної, соціальної та екологічної точок зору. Це також підтверджується стратегічним планом Європейського Союзу (ЄС) «Порядок денний 2030» - новою стратегією ЄС до 2030 року [1,2], яка підкреслює необхідність визначення необхідних змін для максимального використання всіх енергетичних, матеріальних та людських ресурсів, залучених до процесу створення вартості [3]. Підприємства повинні мати можливість гнучко реагувати на ці виклики, впроваджуючи останні інновації у своїх галузях [4,5] через ланцюги доданої вартості. Використовуючи як фізичні, так і віртуальні структури, можна досягти тісної співпраці та швидкої адаптації протягом усього життєвого циклу проекту та компанії, від виробничих інновацій до інновацій у сфері дистрибуції [6].

Одним з інструментів адаптації до мінливого середовища є впровадження інформаційних технологій, кіберфізичних систем та систем штучного інтелекту у виробництво та сферу послуг у всіх секторах економіки [7,8,9]. Вплив цих змін настільки значний, що ми називаємо їх четвертим етапом промислової революції [7]. Це явище було представлено в Німеччині на «Ганноверському ярмарку» в Ганновері в 2011 році як пропозиція нової концепції економічної політики для Німеччини [10,11,12,13]. Цей напрям інноваційних технологій характеризується інтелектуальним вертикальним і горизонтальним взаємозв'язком людей і машин [7,14,15,16,17] та об'єктів і систем інформаційно-комунікаційних технологій [17].

Головною передумовою реалізації цієї стратегії є інноваційна діяльність та модернізація виробництва в секторі промисловості, де основними проблемами вважаються висока вартість людської праці, застаріле та зношене виробниче обладнання та нестача фінансових ресурсів для подальшого розвитку. Все це може мати негативний вплив на навколишнє середовище або на стійкість всього сектору [18].

Важливість технологічного розвитку в цьому секторі підкреслює той факт, що, наприклад, у 2016 році уряд Чеської Республіки схвалив підготовлену Міністерством промисловості і торгівлі Ініціативу «Індустрія 4.0», яка спрямована на підтримку і зміцнення конкурентоспроможності в епоху так званої Четвертої промислової революції. В Європі ми також можемо зустріти повністю автоматизовані заводи, де людський фактор виступає лише як додатковий учасник. Екологічно свідомі цивілізація вимагає зміни людського мислення в бік гармонійного співіснування людини і природи [19]. Раціональне використання екологічно чистих і стійких відновлюваних матеріалів є необхідним кроком на шляху до розвитку екологічно чистої промисловості [20,21,22].

Хоча наявні дослідження показують великий потенціал Індустрії 4.0 для власників бізнесу [23], її практичне використання обмежується низкою факторів. Одним з них є брак знань та розуміння потенціалу Індустрії 4.0 для різних категорій бізнесу, переважно в нетипових виробництвах [6,24].

Зрозуміло, що таке бачення призведе до ускладнення виробничих процесів на ринку на мікро- та макрорівнях. Зокрема, малі та середні підприємства (МСП) у промисловості не впевнені у фінансових потребах, необхідних для придбання цих нових технологій, та загальному впливі на їхні бізнес-моделі [6].

Досвід авторів [25] щодо стратегічної орієнтації підприємств показав, що учасники мають серйозні проблеми з розумінням Індустрії 4.0 в різних концепціях та операціях. З одного боку, вони не можуть пов'язати Індустрію 4.0 зі своїми поточними корпоративними стратегіями; з іншого боку, вони не мають досвіду у визначенні стану корпоративного розвитку та бачення Індустрії 4.0 (рисунк 1.1). Тому вони не можуть визначити конкретні сфери для впровадження атрибутів Індустрії 4.0. Важливо сформулювати нові моделі та інструменти таким чином, щоб вони забезпечували підтримку з урахуванням ринкових потреб сектору та відповідно до стратегії компанії.

Для успішного впровадження Індустрії 4.0 у практиці промислового виробництва важливо розуміти важливість надання переваг Індустрії 4.0, особливо керівникам проектів, які є ключовими користувачами цих заходів. Тому важливо визначити, які фактори можуть впливати на ступінь впровадження Індустрії 4.0 у промисловості залежно від розміру компанії та типу виробництва.

Стрімкий темп технологічних удосконалень створив необхідність швидкої адаптації, і найбільш інноваційні компанії - це ті, які змогли на ранніх етапах розпізнати, як нові цифрові інструменти впливають на їхні бізнес-моделі та яку цінність вони можуть отримати від інформації, що генерується в результаті їхньої діяльності.

1.2. Поточний стан в машинобудівній промисловості

У промисловості, яка складається переважно з малих та середніх підприємств, зайнято близько 1 мільйона європейських працівників і виробляється близько чверті світового обсягу продукції, що становить ринок вартістю 84 мільярди євро [26]. На галузь суттєво впливають споживач, соціальні тенденції, вартість матеріалів і робочої сили, експорт і конкурентний тиск або ситуація на товарному ринку. Промисловість наразі стикається з двома основними викликами. Клієнт, як споживач, шукає якісний продукт та професійні послуги за найбільш прийнятними цінами, а також зростаючі вимоги до захисту навколишнього середовища та ефективного використання природних ресурсів в умовах постійних змін. Розумне виробництво є неминучим трендом для підтримки життєздатності сектору [9]. Ще одним важливим фактом є те, що промислова галузь є недостатньо автоматизованою галуззю на європейському рівні - лише 0,2% виробничих процесів у цьому секторі автоматизовано роботами, які беруть участь у виготовленні продукції. Сектор все ще виконує більшість завдань вручну і характеризується недостатнім в середньому рівнем розуміння потенціалу автоматизації [27].

1.3. Індустрія 4.0 у сфері закупівель

Цифрова трансформація впливає на бізнес-моделі, виробничі процеси та корпоративне управління. Зокрема, вдосконалення інформаційно-комунікаційних технологій та аналітичних можливостей стимулює приплив інновацій на всіх рівнях організацій. Можливості, що відкриваються завдяки використанню цифрових технологій у корпоративному світі, змінюють конкурентну позицію компаній і спосіб їхньої взаємодії з працівниками та клієнтами, покращуючи їхні позиції на ринку [28].

Суть Індустрії 4.0 - це комплексна форма управління підприємством, яка зменшує всі фактори помилок (рисунки 1.2). У такому середовищі відбувається

більш ефективно виробництво та комунікація між людьми, машинами та ресурсами за принципами соціальних мереж [29,30].

Основою Індустрії 4.0 є технологічний розвиток, прогрес в інформаційно-комунікаційних технологіях та Інтернет, який пов'язує весь ланцюжок створення вартості [31]. На рисунку 1.1 представлено концепція Індустрії 4.0. Якщо коротко, то технологія "людина-кібер-фізична система" (HCPS) дозволяє збирати інформацію в режимі реального часу, аналізувати дані, приймати стратегічні рішення та обробляти дані. Це призводить до підвищення ефективності, логістики та кращого реагування на попит [32]. Це абсолютно нова філософія, яка спричиняє суспільні зміни, що впливають на значну частину промисловості, від технічних рішень до безпеки праці, ринку праці та соціальної системи. Наріжними каменями Індустрії 4.0 (рис. 1) є Інтернет речей (IoT), Інтернет послуг (IoS), HCPS [33,34], штучний інтелект (AI), великі дані та аналітика, кібербезпека, доповнена реальність (AR), робототехніка, автоматизація та візуалізація, хмарні сховища [10,35] та сервіси [36].



Рисунок 1.2 Основні компоненти фреймворка Індустрія 4.0

Складові Індустрії 4.0 відкривають величезні можливості з точки зору стійкості та підвищення продуктивності промислового виробництва і послуг, а також попиту на кваліфіковану робочу силу [37]. Координація та інтеграція стратегічних і тактичних оперативних рішень по всьому ланцюгу поставок підприємства є необхідною умовою для досягнення всіх цілей Індустрії 4.0. Через складні та масштабні виклики, пов'язані з виробничим процесом, прийняття стратегічних рішень створює обмеження в процесі тактичного планування. Тому важливим є використання філософії проектного менеджменту, зокрема – управління інноваційними проектами (рисунок 1.3).

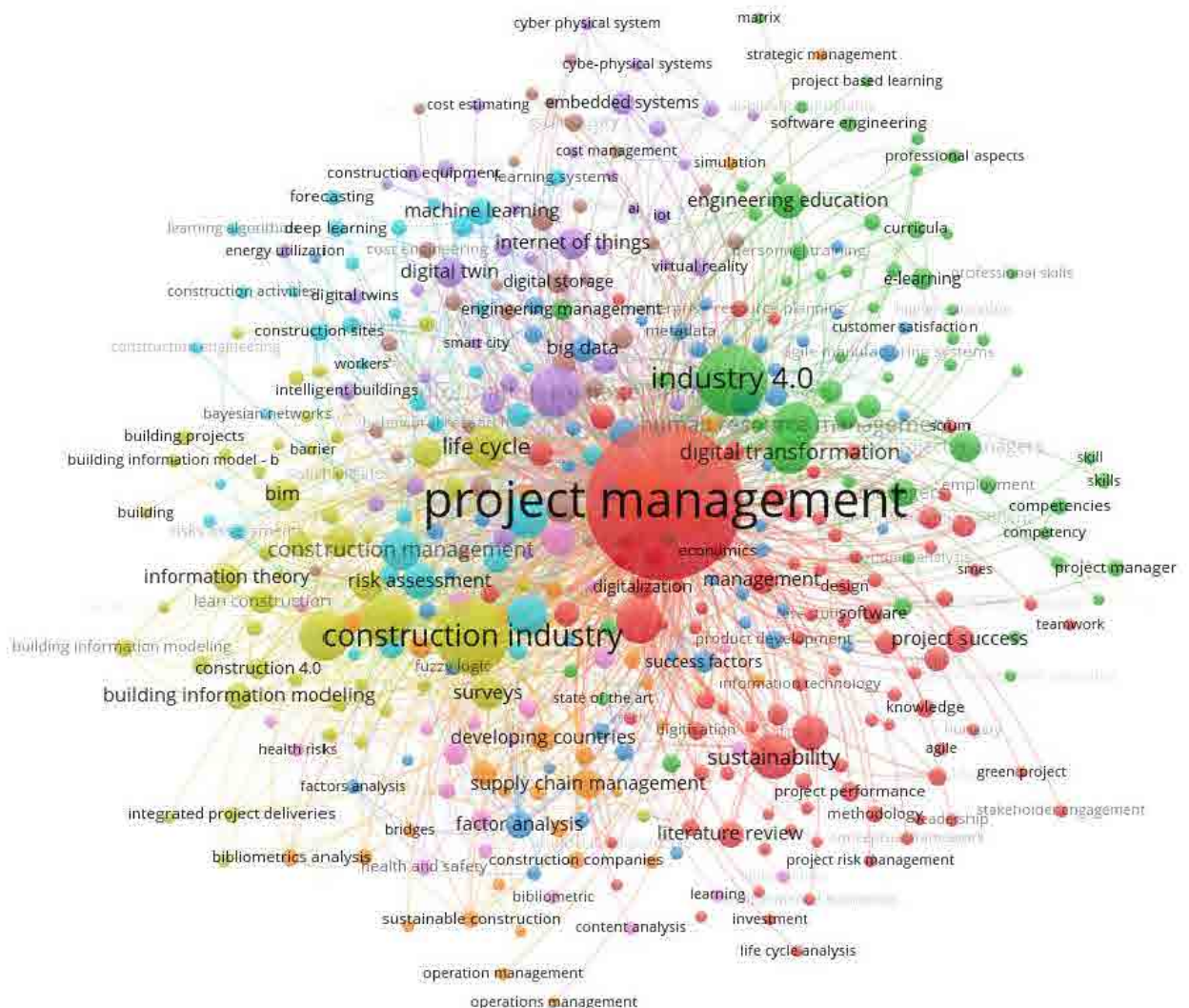


Рисунок 1.3 Розподіл кластерів досліджень по управлінню інноваційними проектами в межах Індустрії 4.0 (за даними БД Scopus, дані від 30.05.2024р.)

РОЗДІЛ II

ВПРОВАДЖЕННЯ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЄКТАМИ ВІДПОВІДНО ДО ІНДУСТРІЇ 4.0 НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

2.1. Впровадження Індустрії 4.0 на мікропідприємствах

Ця категорія включає відносно велику кількість підприємств, які здебільшого реалізують невеликі проекти, що не становлять інтересу для великих компаній, заповнюючи таким чином прогалину на ринку. Мікропідприємства не відчують надмірної загрози з боку великих компаній, орієнтуючись переважно на місцевих клієнтів зі специфічними вимогами. Впровадження Індустрії 4.0 на мікропідприємствах узагальнено в Таблиці 2.1.

Малі підприємства переважно здійснюють нетипове дрібнотоварне виробництво. Тому метою впровадження Індустрії 4.0 не є комплексна автоматизація та оцифрування. Замість модернізації громіздких верстатів рекомендується створити мережу постачальників, які надають послуги з порізки, склеювання, фрезерування тощо. Крім того, корисним було б впровадження хмарних сховищ даних.

Впровадження сучасних комунікаційних технологій прискорить передачу інформації не лише між працівниками, а й між постачальниками та клієнтами. Використання МСП, які займаються інноваціями Індустрії 4.0, послуг ланцюгів поставок дозволить заощадити час і процеси з усіх боків та сприятиме розвитку всього сектору. Ці послуги допоможуть МСП заповнити прогалини у виробництві. Таким чином, мікропідприємства опосередковано беруть участь у використанні технологій, які для них є надто великими. Водночас вони можуть запропонувати кращу обробку та матеріали, які вони не змогли б переробити, або деталі, які вони

не змогли б виготовити. Якщо окремі оператори зрозуміють це, вони отримають вигоду від обробки більшої кількості замовлень і забезпечення більшого зростання.

Таблиця 2.1. – Основні результати та рекомендації (в балах) для мікропідприємств та підкатегорій

Категорія	Підкатегорія	Приклади реальних компаній	Рішення Індустрії 4.0, що можуть бути імплементовані	Переваги імплементції Індустрії 4.0	Ризики від не впровадження на протязі 5 років
Мікро-підприємства	до 3 чоловік	<ul style="list-style-type: none"> - документи, інформація та завдання передаються безпосередньо; - невеликі контракти; - одиничне або групове нетипове виробництво; - підприємства зазвичай мають одного працівника; - застаріле обладнання; - переважно ручні інструменти. 	<ul style="list-style-type: none"> - хмарні додатки для зберігання даних, кіберзахист; - налагодження мережі ділових та постачальницьких зв'язків; - робота з даними та 3D-даними. 	<ul style="list-style-type: none"> - прискорення передачі інформації; - ефективне використання часу; - підвищення ефективності роботи; - використання переваг ланцюгів поставок МСП; - підприємства опосередковано сприятимуть розвитку всього сектору; - підвищення ефективності та зростання. 	<ul style="list-style-type: none"> - конкурентні мікропідприємства заповнюють прогалину на ринку; - вони здатні задовольнити нетипові потреби клієнтів, що зменшує загрозу конкурентного тиску з боку великих гравців; - відсутність інновацій перешкоджає прогресивному зростанню; - ризики в конкурентній боротьбі, відсутність потенціалу
	до 10 чоловік	<ul style="list-style-type: none"> - сімейні компанії; - групове нетипове виробництво; - обмежені приміщення; - високі експлуатаційні витрати; - застаріла технічна та технологічна база; - ручне ведення виробничої документації. 	<ul style="list-style-type: none"> - модернізація обладнання; - інновації невиробничої частини компанії; (наприклад, хмарні сховища, сучасні системи захисту даних та мобільності); - якщо це не під силу власним силам, потрібно шукати професійні послуги. 	<ul style="list-style-type: none"> - прискорення передачі інформації; - ефективне використання часу; - підвищення ефективності роботи; - використання переваг ланцюгів поставок МСП; - підприємства опосередковано сприятимуть розвитку всього сектору; - підвищення ефективності та зростання. 	<ul style="list-style-type: none"> - конкурентні мікропідприємства заповнюють прогалину на ринку; - вони здатні задовольнити нетипові потреби клієнтів, що зменшує загрозу конкурентного тиску з боку великих гравців; - відсутність інновацій перешкоджає прогресивному зростанню; - ризики в конкурентній боротьбі, відсутність потенціалу

Мікропідприємства до 3 осіб. Мікропідприємства цієї підкатегорії передають інформацію та завдання напряму. Вони виконують невеликі замовлення з акцентом на нетипове виробництво. Більшість таких підприємств складаються з одного керівника і мають базове, часто застаріле обладнання. Великі верстати з числовим програмним керуванням та обладнання часто частково замінюються ручними інструментами.

Хмарне зберігання даних, а також кіберзахист є важливими моментами для інновацій на таких малих підприємствах. Створення та використання мережі зв'язків між бізнесом та постачальниками, які надають послуги з лазерного різання, гравіювання, нанесення покриттів, є дуже важливим. Саме завдяки хмарним сховищам стає можливим ефективний обмін виробничими документами. Де-факто варіантом для мікропідприємства є прийняття проектного програмного забезпечення компанії-постачальника, від якої воно отримує послуги у вигляді матеріалів. Обробляючи 3D-дані самою компанією-підрядником, можна створювати сумісні документи, які передаються зацікавленій компанії, на основі яких вона виконує послуги. Ці 3D-дані можуть надалі використовуватися в комунікації із замовником, на конвеєрі тощо.

Впровадження Індустрії 4.0 в основному прискорить передачу інформації між працівниками та ланцюжком поставок. Варіанти хмарного зберігання даних дозволяють обмінюватися даними не лише у внутрішньому середовищі, але й у вищезгаданій співпраці з іншими суб'єктами господарювання. Ефективне використання сучасних технологій приносить економію часу, підвищення ефективності роботи та посилення конкурентних переваг.

Використання МСП, які займаються інноваціями Індустрії 4.0, послуг ланцюгів поставок економить час і процеси з усіх боків та сприяє розвитку всього сектору. Користуючись послугами, мікропідприємства можуть опосередковано брати участь у розвитку всього сектору. Вони також знижують ціну на сировину і отримують продукт, який якісно обробляється на професійних верстатах. Це також сприяє виконанню більшої кількості замовлень і забезпеченню більшого зростання.

Мікропідприємства заповнюють прогалину на ринку завдяки своєму спектру та гнучкості. Оскільки вони здатні задовольнити складні та дуже нетипові вимоги клієнтів, їм не загрожує конкурентний тиск з боку великих гравців. Відсутність інновацій перешкоджатиме ефективному розвитку та прогресивному конкурентному піднесенню. Ризики в конкурентній боротьбі мінімальні, але потенціал, який пропонує, великий.

Мікропідприємства до 10 осіб. Здебільшого це сімейні та індивідуальні підприємства, підприємства з кількістю працівників до 10 осіб, які займаються нетиповим виробництвом, як правило, з обмеженими площами та високими операційними витратами. Машини часто застарілі і не мають сучасного універсального програмного забезпечення для сумісності з іншим обладнанням. Виробнича документація обох цих груп мікропідприємств, як правило, створюється неефективним способом.

Модернізація обладнання та глобальна інновація невиробничих підрозділів компанії є вкрай необхідними. Рекомендується використовувати хмарні сховища, сучасні системи захисту та мобільності даних, а також інженерне програмне забезпечення. Якщо на підприємстві немає штатних експертів, необхідно звернутися до організацій, що надають ІТ-послуги та інші необхідні послуги.

Мікропідприємства повинні вирішити, що для них ефективніше - виробляти вироби на власному виробництві чи мати ряд розкrojених, зварених та фрезерованих напівфабрикатів, вироблених у співпраці з висококваліфікованими спеціалізованими підприємствами, які надають послуги в рамках торговельно-постачального процесу. Цей потенціал недостатньо використовується або розуміється бізнесом, а виробництво мікро- або малого підприємства може збільшитися в разі порівняно з існуючими можливостями. У міру того, як середні підприємства стають більш технічно і технологічно оснащеними, ці послуги стають більш доступними.

2.2. Впровадження Індустрії 4.0 на підприємствах малого бізнесу

Малий бізнес з довгостроковим виробничим спектром, швидше за все, відчує потребу в модернізації та оцифруванні своїх операцій. Якщо він зрозуміє, які переваги це дасть, то буде рухатися до більшої ефективності. Весь процес модернізації є досить тривалим, він передбачає значні зміни як у виробничій, так і

у невиробничій частині, які мають бути враховані підприємствами, що потребують модернізації, як показано в Таблиці 1.2.

Таблиця 2.2. – Основні результати та рекомендації для малих підприємств та підкатегорій

Категорія	Підкатегорія	Приклади реальних компаній	Рішення Індустрії 4.0, що можуть бути імплементовані	Переваги імплементції Індустрії 4.0	Ризики від не впровадження на протязі 5 років
Малі-підприємства	до 25 чоловік	<ul style="list-style-type: none"> - трансформація від невеликого сімейного підприємства до широкомасштабного; - компанії часто не мають таких відділів, як виробничий дизайн та програмування; - неможливість інтеграції сучасних технологій; - вербальне розповсюдження даних. 	<ul style="list-style-type: none"> - створення та діджиталізація відділу дизайну та програмування, управління складом, модернізація верстатів, розподіл праці окремих працівників; - створення робочих осередків та відділів; - цифровий облік часу та матеріалів; - впровадження внутрішньої корпоративної мережі та розподіл даних. 	<ul style="list-style-type: none"> - відображення поточних даних у реальному часі; - доступність даних; - збільшення виробничих потужностей; - оптимізація виробничих витрат; - автоматичні зчитувачі для реєстрації та збору даних, сканування етикеток; - етапи забезпечуються самоорганізаційним и структурами. 	<ul style="list-style-type: none"> - немодернізовані структури не здатні забезпечити необхідний рівень співпраці, є дорогими та неефективними; - неефективні працівники, брак компетенції в Індустрії 4.0; - втрата клієнтів, зниження якості проектування.
	до 50 чоловік	<ul style="list-style-type: none"> - корпоративне управління, вузьке коло менеджерів; - великі зусилля в управлінні та комунікації; - висока різноманітність технічної та технологічної бази і виробничих процесів; - поєднання сучасних і застарілих машин; - поєднання різних видів сировини та матеріалів; - підприємства відчувають потребу в модернізації, але не мають ноу-хау; - потреба в модернізації просторових та 	<ul style="list-style-type: none"> - впровадження комплексної діджиталізації компанії; - відділ дизайну, цифровий двійник продукту; - модернізація обладнання; - співпраця зі спеціалізованими і ІТ-компаніями - сучасне управлінське програмне забезпечення, загальне управління персоналом та проектами; - створення посади менеджера з розвитку компанії та навчання співробітників; 	<ul style="list-style-type: none"> - усунення повторюваних операцій; - конструкторський відділ генерує всі дані автоматично, в цифровому вигляді; - застосовується для всіх типів виробництва; - спеціалізація виробництва дозволить оптимізувати технічні та технологічні процеси; - звільнення місця для недозавантажених технологій; - торговельні та постачальницькі зв'язки; 	<ul style="list-style-type: none"> - за відсутності працівників існує ризик зупинки підприємства; - без складного програмування забезпечення існує ризик втрати інформації та краху бізнесу; - неможливість визначитись з напрямком виробництва призведе до високих операційних витрат та витрат на розвиток; - просторове планування обмежить

		технологічних об'єктів.	- вибір та спеціалізація продукції, що переробляється.	- підвищення внутрішньої прозорості.	зростання компанії.
--	--	-------------------------	--	--------------------------------------	---------------------

Слід підкреслити, що процес технологічних змін повинен бути чітко розроблений із заздалегідь визначеними цілями і, перш за все, він повинен здійснюватися поетапно, завжди бездоганно виконуватися.

Малі підприємства, підкатегорія 25 осіб. Згідно з характеристиками респондентів, це компанії, які проходять трансформацію від невеликого сімейного підприємства до компанії з більш широким спектром контрактів. Інформація про виробництво поширюється безпосередньо серед працівників без використання сучасних комунікаційних технологій. Використовуються застарілі центри з числовим програмним управлінням (ЧПУ), де відбувається основна механічна та часткова ручна обробка. Обробка необроблених матеріалів є поширеним явищем на підприємствах цієї категорії, які надходять у виробництво як основна сировина в поєднанні з переробкою матеріалу.

Розвиток вимагає створення та діджиталізації відділу проектування та програмування, управління запасами, модернізації верстатів та розподілу праці окремих працівників. Потрібне створення робочих осередків і відділів, які потрібно поступово модернізувати і розвивати. Облік витраченого часу і матеріалів безпосередньо на робочому місці в цифровому інтерфейсі дозволить впорядкувати весь бізнес-процес. Впровадження внутрішньої мережі компанії та розподіл даних від дизайнерів або програмістів до операторів верстатів (спільне сховище з розподілом даних у режимі реального часу). Конструкторський відділ стає серцем підприємства, разом з мережами, які забезпечують передачу інформації.

Серед переваг впровадження Індустрії 4.0 - збір і розподіл даних у хмарному сховищі або на внутрішніх серверах. Перегляд актуальних даних у режимі реального часу за межами компанії дозволяє покращити управління та оперативний менеджмент. Дані з виробничих і невиробничих відділів використовуються для

майбутнього зростання компанії та оптимізації процесів. Сучасні машини дозволяють впоратися зі збільшенням виробничих потужностей.

Ці пристрої включають автоматичні зчитувачі для реєстрації та збору даних, а також для сканування етикеток, що сприяє автоматизації процесів на підприємстві. Ці та інші процеси зменшують залежність від ключових осіб і знижують ризик простою цих важливих для ведення бізнесу осіб. Завдяки інноваціям компанія може запропонувати своїм клієнтам та діловим партнерам цікаву співпрацю з точки зору ціни та якості.

Дані з виробничих і невиробничих відділів, які реєструються машинами і працівниками, збираються в хмарному сховищі. Якщо компанія не може обробляти дані зараз, вони можуть слугувати для подальшого розвитку компанії.

Підприємства, які не інвестують у розвиток та перепідготовку працівників, не здатні запропонувати необхідний рівень співпраці, є дорогими та неефективними. Непідготовлені працівники в Індустрії 4.0 часто не можуть працювати з базовими даними або програмним забезпеченням для проектування. Це відлякує і припиняє можливість співпраці зі зрілими компаніями та зменшує успіх у конкурентному розвитку.

Малі підприємства до 50 осіб. Бізнес такого розміру вимагає великих зусиль в управлінні та комунікації. На цьому рівні немодернізованим бізнесом керує одна-дві ключові особи, і їхня раптова відсутність часто впливає на все існування компанії. Підприємства мають найрізноманітніше технологічне обладнання та виробничі процеси залежно від переробки вхідної сировини. Є підприємства, які працюють із застарілим обладнанням або програмним забезпеченням, а також компанії, які встановлюють найсучасніші центри лазерної порізки, або комбінації того й іншого. Підприємства відчувають потребу в модернізації, але не мають достатніх ноу-хау та не розуміють потенціалу Індустрії 4.0. Потреба спрямована на модернізацію обладнання, площ та технологічних потужностей.

Комплексне оцифрування передвиробничої частини, тобто всіх даних, що надходять у виробництво з конструкторського відділу, дозволить оптимізувати весь виробничий процес. Компаніям рекомендується створити кібер-двійника продукту. Цифрова копія продукту дозволить передавати дані, модифікувати та моделювати окремі етапи виробництва. Компанії варто розглянути можливість повної реконструкції програмно-апаратної інфраструктури підприємства з метою повного взаємозв'язку всіх підрозділів компанії.

Налагодження співпраці зі спеціалізованими ІТ-компаніями забезпечує роботу всієї компанії. Ці спеціалізовані компанії мають індивідуальні програмні рішення, які з'єднують і автоматизують окремі відділи, зменшуючи повторювану діяльність людських ресурсів. Найвне програмне забезпечення дозволяє переносити дані з бухгалтерських та проектних програм і бачити їх у глобальному вигляді для всіх працівників та керівництва проекту.

На такому етапі необхідно створити посаду, яка б забезпечувала розвиток компанії та навчання працівників. Дослідження показують, що там, де така посада вже створена, відбувся ефективний зсув у загальному розвитку компанії.

Інновації компанії в галузі діджиталізації дозволять усунути повторювані операції, які обтяжують працівників на всіх посадах компанії. Конструкторський відділ генерує всі цифрові дані, необхідні для реалізації складного виробничого процесу, шляхом моделювання так званої "живої моделі", автоматично генеруючи виробничу документацію, креслення, замовлення матеріалів, програми обробки з ЧПУ, деталі, що несуть інформацію про матеріал, кромки, виробничі розміри, виробничий процес та інше. Технологія може бути застосована як на серійних підприємствах, так і на підприємствах, що займаються серійним і дуже нетиповим виробництвом, яке притаманне компаніям такого розміру.

Важливою є зміна доступу до сировини, що надходить у виробничий потік. Спеціалізація виробництва на переробці необробленої продукції або матеріалів

необхідна для того, щоб зробити всі процеси більш ефективними. Прикладом може слугувати відмова від одноцільових верстатів для обробки необроблених виробів.

Опитані компанії використовують партнерські відносини з іншими компаніями для заміни власних технологій переробки масивних виробів, які були припинені. Вони можуть, наприклад, постачати масивні напівфабрикати, створюючи таким чином бізнес-зв'язки з постачання.

Створення відділу розвитку та посади відповідального за розвиток забезпечить ефективне впровадження, навчання персоналу та комунікацію з усіма суб'єктами, залученими до розвитку.

Невпровадження цих технологій призводить до експлуатації ключових співробітників, потенціал яких не використовується ефективно. За їх відсутності компанія опиняється під загрозою паралічу.

За відсутності складного програмного забезпечення для управління даними, управління персоналом та адміністрування бізнесу існує ризик втрати інформації та краху бізнесу. Компанії, які не визначилися з напрямком виробництва, зіткнуться з високими витратами на виробництво і розробку двох різних продуктів. Невирішене просторове планування та відсутність сучасних технологій обмежуватимуть компанію; таким чином, підприємство почне втрачати можливість ефективного зростання.

Компанії, що займаються нетиповим і високонетиповим виробництвом, повинні оцінити свій напрямок і майбутній розвиток обсягів замовлень. Діджиталізація компанії та впровадження інноваційних технологій у невиробничих підрозділах таких компаній завжди окупиться.

Компанія повинна оцінити свій виробничий напрямок. Переробка сировини з масивних матеріалів вимагає додаткової технологічної специфіки, техніки та просторового планування, а поділ на розробку, виробництво та техніку збільшує витрати на технології та потужності компанії. Техніку, яка використовується

щомісяця, слід замінити послугами зовнішніх постачальників, таким чином створюючи простір для модернізації та інновацій на власних потужностях.

2.3. Впровадження Індустрії 4.0 на підприємствах середнього розміру

У випадку впровадження інновацій на середньому підприємстві респонденти погодилися, що класичний машинобудівний цех втрачає свій типовий вигляд (Таблиця 2.3). Невеликі деревообробні верстати замінюються гніздовими фрезерними центрами, обробними центрами з ЧПК з автоматичним укладанням деталей, безперервними лініями, з'єднаними конвеєрами, лініями безперервного фарбування та іншим обладнанням. Цей реалістичний погляд на сучасне столярне виробництво відрізняється від реальності сьогоденної професійної підготовки для різних галузей.

Однією з головних проблем, що турбують такі підприємства, є недостатня підготовленість випускників коледжів, університетів до виробництва. Часто їм потрібен рік, щоб зрозуміти всю проблематику діджиталізованого виробництва та сучасних технологій, тоді як роботодавець очікує, що випускник буде одразу задіяний у виробництві. Це складно по відношенню до класичної освіти, де сучасне виробництво відокремлене від класичного виробництва набутими компетенціями. Це практично робить його окремою дисципліною, яку було б краще виокремити у викладанні і коли ці вимоги будуть включені у викладання.

Інноваційні технології, як виробничі, так і невиробничі, є важливими для бізнесу середніх розмірів, підвищуючи ефективність роботи в цілому. Зокрема, респонденти, які займаються нетиповим виробництвом, повідомляють про зростання ефективності в межах 30%-40%. На підприємствах, які використовують серійне виробництво, спостерігається зростання ефективності праці до 50% за 5-річний період. Зростання ефективності базується насамперед на зменшенні

комунікаційних потоків, помилок та повторюваних операцій на всіх рівнях підприємства.

Таблиця 2.3. Основні результати та рекомендації для середніх підприємств та підкатегорій

Категорія	Підкатегорія	Приклади реальних компаній	Рішення Індустрії 4.0, що можуть бути імплементовані	Переваги імплементатії Індустрії 4.0	Ризики від не впровадження на протязі 5 років
Середні-підприємства	до 150 осіб (дуже нетипове виробництво)	<ul style="list-style-type: none"> - високооперативне прийняття рішень; - управління, як правило, здійснюється за допомогою не дуже складного програмного забезпечення або класичного персонального розподілу роботи; - довгострокове планування є дуже складним, оперативне управління; - існують компанії з передовою технічною та технологічною базою, але є й компанії з серйозними недоліками. 	<ul style="list-style-type: none"> - впровадження комплексної діджиталізації на різні частини продукту; - планування виробництва, управління персоналом з використанням сучасного комплексного програмного забезпечення; - життєвий цикл проекту планується програмним забезпеченням в залежності від його 3D даних; - у виробництві людина завжди незамінна; - високі вимоги до хмарних сховищ та кіберзахисту. 	<ul style="list-style-type: none"> - глобальне складне програмне забезпечення, що забезпечує комплексні операції, управління даними, контроль і планування всіх проектів і людей в потоці компанії; - конструкторський відділ автоматично генерує всі документи для виробничого потоку з кібер-двійника; - використання QR-кодів, ефективний збір даних та ведення обліку; - підвищення продуктивності праці. 	<ul style="list-style-type: none"> - відсутність сучасного програмного рішення призводить до загроз, втрати даних, кібератак; - підвищені вимоги до персоналу; - постійний тиск, стрес і висока відповідальність; - зростання захворюваності на психічні хвороби серед працівників; - зменшення взаємозамінності, недотримання дедлайнів, погрози.
	до 150 осіб (серійне виробництво)	<ul style="list-style-type: none"> - багаторазові повторювані операції; - довгострокове планування виробничих потужностей, матеріалів, людських ресурсів тощо; - бізнес, побудований на довгострокових контрактах з клієнтами; 	<ul style="list-style-type: none"> - діджиталізація всього управління комунікаційним потоками та технічного і технологічного оснащення; - перехід до "Інтелектуальної фабрики"; - переміщення людських ресурсів з виробничих на 	<ul style="list-style-type: none"> - створення нових посад, заповнення існуючими працівниками; - управління та функціонування компанії забезпечується сучасним програмним забезпеченням; - суспільство більш стійке до індивідуальних невдач; - більш ефективний виробничий процес, гнучка зміна продукції, 	<ul style="list-style-type: none"> - нездатність реагувати на цінову та якісну конкуренцію; - тиск конкуренції з боку країн з низькою собівартістю виробництва або з використанням атрибутів сучасної "розумної" фабрики;

		- адаптовані потужності для виробництва конкретного продукту; - технічне та технологічне оснащення є більш досконалим, ніж у нетипових виробничих компаніях.	невиробничі позиції; - створення інтелектуальних робочих осередків з людей, машин і програмного забезпечення; - оптимізація та автоматизація і роботизація операцій.	зниження витрат, підвищення конкурентоспроможності;	- неможливість дотримання термінів постачання та цін; - з бої людського фактору часто ставлять під загрозу весь виробничий процес компанії.
	до 250 співробітників в	- сучасні високопродуктивні заводи; - досвід роботи з деякою автоматизацією та оцифруванням; - високий рівень техніки, її постійна модернізація; - компанії вже звертаються до Індустрії 4.0 та її атрибутів; - автоматизація, роботизація, необхідна для функціонування виробництва.	- використовуючи всі будівельні блоки Індустрії 4.0; - розумна фабрика та її кібер-двійник; - збір та оцінка великих даних, використання ІОТ, Big Data; - моніторинг та оцінка даних для автоматизованих систем прийняття рішень; - створення команд людей, програмного забезпечення, машин.	- це забезпечує ведення бізнесу; - довгострокове планування та самоуправління; - автоматизацію процесів; - безперервність та ефективна робота інтелектуального підприємства.	- у майбутньому це поставить під загрозу всю роботу компанії та її інфраструктуру; - без використання запропонованих інноваційних технологій не вдасться в достатній мірі і комплексно управляти трафіком такого масштабу.

Середні підприємства до 150 осіб (дуже нетипове виробництво).

Підприємства з нетиповим виробництвом стикаються з необхідністю прийняття дуже оперативних рішень. Довгострокове планування є дуже складним завданням, а дефіцит матеріалів або виробничі помилки можуть суттєво порушити виробничий процес і терміни виконання замовлень, що призводить до необхідності оперативного управління. Розподіл праці, контроль завдань, передача проектів і комунікація в компанії зазвичай здійснюється за допомогою не дуже складного програмного забезпечення або класичного персонального розподілу роботи.

На ринку є компанії з передовою технічною і технологічною базою з сучасними верстатами, склади з хаотичними системами зберігання і розкрийними

центрами з ЧПУ, але також є компанії, які мають серйозні недоліки в цьому відношенні, що знижують ефективність їх виробництва.

Необхідно впровадити комплексну діджиталізацію на рівні деталі, виробу, планування виробництва разом з управлінням персоналом за допомогою сучасного комплексного програмного забезпечення, що забезпечує швидку передачу інформації в режимі реального часу з можливістю її перегляду з будь-якого місця.

Зацікавлені сторони пропонують впровадження складного програмного забезпечення для забезпечення життєвого циклу проекту. З моменту прийняття замовлення проект проходить через компанію, упаковує всі дані (технічні та економічні) і планується самим програмним забезпеченням з урахуванням його 3D-даних і життєвого циклу проекту, включаючи можливість показу самим замовникам в процесі затвердження і залучення їх до виробничого циклу.

У компанії такого розміру, що займається модернізацією підприємств, людина як учасник виробництва є незамінною. Вся техніка повинна бути адаптована до потреб кінцевого продукту і виробничого потоку. Тут людина виступає в ролі машиніста, оператора обладнання і виконує специфічну роботу, яку важко досягнути машинам.

Високі вимоги висуваються до хмарного зберігання даних і кіберзахисту, які не можна недооцінювати.

Необхідне глобальне складне програмне забезпечення, що забезпечує складні операції, управління даними, контроль і планування всіх проектів і людей в потоці компанії, включаючи планування виробництва і облік всіх замовлень і продуктів в режимі реального часу.

Конструкторський відділ створює кібер-двійника продукту, який є цифровою копією кінцевого продукту. У процесі генерації даних автоматично створюються плани розкрою, дані для центрів з ЧПУ, електронні виробничі процеси, замовлення матеріалів, створення плану очікуваних термінів виробництва та графіки реального

виробництва. Згодом в процесі виробництва збираються дані про продуктивність машини і людей, спожиті матеріали та інші дані, цінні для компанії.

Використовуючи QR-коди або штрих-коди, система здатна переносити виробничі документи безпосередньо з конструкторського відділу і відображати їх в будь-якому місці виробництва або збірки.

Відбувається скорочення кількості технічних та економічних працівників та підвищення продуктивності праці.

Без сучасного програмного рішення компанія наражається на безліч небезпек, таких як дефіцит матеріалів на виробництві, втрата даних або кібератаки.

Відсутність записів даних у корпоративних або зовнішніх мережах ставить підвищені вимоги до існуючого потоку комунікації між окремими співробітниками.

Управління компанією, часто однією особою, та її можлива знижена замінність або недотримання термінів відправлення в умовах перебоїв у виробництві та необхідності високого рівня оперативного управління становлять загрозу в довгостроковій перспективі. Постійний тиск, стрес і висока відповідальність з більшою ймовірністю можуть спричинити психологічні захворювання серед працівників.

Середні підприємства до 150 осіб (серійне виробництво). У компаніях, що займаються серійним і повторюваним виробництвом, обсяг виробництва, потреби в матеріалах, людських ресурсах тощо можна ефективніше планувати на довгострокову перспективу. Компанії часто мають довгострокові контракти на поставку продукції зі своїми клієнтами, а також можуть мати спеціалізовані потужності для виробництва певних видів продукції. Витрати, пов'язані з виробництвом однієї деталі, мінімізацією відходів та ефективною підготовкою, сильно впливають на ефективність бізнесу. У цій підкатегорії фірм виробництво стає серцем підприємства.

Обладнання, як правило, більш досконале, ніж у виробничих компаніях з нетиповими виробами. Тут ми можемо знайти часткову або повну автоматизацію, сучасні стрічкові центри, фарбувальні камери безперервної дії та інші.

Багаторазово повторювані операції в серійному виробництві, оцифрований контроль всього комунікаційного потоку, разом з модернізацією заводів і техніко-технологічного обладнання, створюють ідеальну основу для сучасної автоматизованої інтелектуальної фабрики.

В рамках автоматизації операцій зменшується потреба в робочій силі на виробництві, яке здійснюється за допомогою механічної обробки, при цьому людські ресурси переводяться в невиробничі сфери. Формування робочих бригад відбувається в залежності від виробничих осередків. Команди формуються людськими ресурсами, машинами або програмним забезпеченням, що займаються оптимізацією та автоматизацією необхідних завдань.

За словами респондентів, інноваційні компанії демонструють підвищений попит на кваліфіковану людську працю в невиробничих частинах. Створюються нові робочі місця, щоб працівники не турбувалися про своє робоче місце, а просто пристосовувалися до робочого навантаження, яке часто стає менш фізично складним. Інтелектуальні робочі команди, в яких люди і машини працюють разом, є більш ефективними і гнучкими, спілкуються один з одним за допомогою пристроїв відображення, і вони здатні ставити один одному завдання.

Управління і роботою компанії займається програмне забезпечення для зберігання інформації, що робить компанію більш стійкою до індивідуальних збоїв. Існує довгострокове планування виробництва, матеріалів, логістики тощо. Як наслідок, ці інновації дають можливість покращити виробничий процес, усунути дефіцит робочої сили та зменшити витрати.

Ризик невпровадження протягом 5 років - недостатній розвиток компанії, що знижує її здатність реагувати на цінову та якісну конкуренцію та загрожує бізнесу в довгостроковій перспективі. У майбутньому ці підприємства зіткнуться з

більшою конкуренцією з боку ринків з нижчими виробничими витратами, наприклад, з країн, що розвиваються.

Вирішальне значення матимуть терміни постачання та ціни на продукцію. Без інновацій компанія буде серйозно скомпрометована більш просунутими і готовими конкурентами, які використовують атрибути сучасної розумної фабрики. На таких підприємствах часто повторюються виробничі операції сотень одиниць продукції, які майже завжди можна замінити машинами. Помилка людини часто загрожує всьому виробничому потоку компанії.

Середні підприємства до 250 працівників

Необхідні сучасні передові виробничі підприємства з серійним або повторюваним виробництвом, які вже мають досвід певної автоматизації та діджиталізації. Обладнання знаходиться на високому рівні, постійно оновлюється та модернізується. Компанії вже вирішують питання окремих атрибутів Індустрії 4.0. Вони використовують хмарні сховища, кіберзахист, частково або повністю збирають цифрову інформацію, тощо.

Компанії, що займаються масовим виробництвом, також мають елементи автоматизації та робототехніки, які ефективно застосовуються і є необхідними для роботи компанії.

Використовуючи всі складові Індустрії 4.0, зокрема, можна говорити про впровадження «smart factory» та цифрового двійника підприємства для довгострокового планування виробництва та людських ресурсів.

На підприємстві здійснюється безперервний моніторинг та збір даних, які слугують основою для автоматизованих систем прийняття рішень.

Атрибут повної інтеграції Індустрії 4.0 забезпечує функціонування бізнесу, довгострокове планування та самоуправління. Це забезпечує створення інтелектуальних виробничих блоків, формує команди людей, програмного забезпечення та машин і максимізує ефективність процесів.

Приклад: клієнт створює продукт в електронному магазині в заздалегідь підготовлених бібліотеках (кібер-двійник продукту), з дизайном можна проконсультуватися у штатного дизайнера, замовити, а потім оплатити. На наступному етапі відбуваються автоматизовані процеси - автоматичне замовлення матеріалів, створення виробничої документації, планування виробництва, запуск частково або повністю автоматизованого виробничого процесу (усуваються всі повторювані операції, що виконуються кількома людьми). Виріб проходить через виробничий потік, де відображаються 3D-дані, і відбувається ефективний контроль і планування всього виробничого процесу. У виробничому потоці великі дані збираються за допомогою IoT, зберігаються в хмарних сховищах, де вони оцінюються і розподіляються між машинами і обладнанням. Завдяки HCPS машини і люди працюють разом, створюючи ефективні структури.

Недооцінка важливості глобальних перспектив, які пропонує Індустрія 4.0, може поставити під загрозу всю роботу компанії та її інфраструктуру в майбутньому. Можливості та інновації, які пропонує ринок, необхідно використовувати, відстежувати і постійно інтегрувати в стратегію компанії. В іншому випадку можна втратити дані, контракти та кваліфікованих працівників.

Без використання пропонованих інноваційних технологій не вдасться в достатній мірі і всебічно управляти трафіком такого масштабу.

Оцифрування та ускладнення проектного потоку від підтверженого замовлення до збірки із загальним відображенням документації та збором даних про продукцію або окремі частини продукції представляє собою значний зсув та оптимізацію управління процесами. Корпоративні стейкхолдери рекомендують впроваджувати програмні рішення, які дозволяють оцінювати та моделювати потік замовлень через компанію та включають вищезазначені аспекти. Компанія, яка впровадила цей захід, повідомляє, що за три роки з моменту впровадження виробництво збільшилося на 50%, а інвестиції склали сотні тисяч євро. У виробництві мова йде про управління людьми і проектами, відображення виробничих даних, зчитування штрих-кодів, збір даних і всієї інформації, яка

використовується для оцінки інформації, що дозволяє управляти окремими процесами.

2.4. Впровадження Індустрії 4.0 на великих підприємствах

Інтелектуальні великі підприємства (Таблиця 2.4) є передвісником майбутнього, до якого рухаються всі галузі промисловості. Респонденти погодилися, що впровадження інновацій підвищує продуктивність праці та зменшує потребу в безпосередньому виробничому персоналі, який стає все важче знайти на ринку. На ці підприємства також поширюються загальні вимоги, встановлені для середніх підприємств, наприклад, потреба в навчанні персоналу. Тут можна повністю інтегрувати всі атрибути Індустрії 4.0 і впроваджувати складні рішення, як і в попередніх групах.

Таблиця 2.4. Основні результати та рекомендації для великих підприємств та підкатегорій

Категорія	Підкатегорія	Приклади реальних компаній	Рішення Індустрії 4.0, що можуть бути імплементовані	Переваги імплементції Індустрії 4.0	Ризики від не впровадження на протязі 5 років
Велика компанія (понад 250 працівників)	побудований шляхом поступової модернізації	- обмежений просторовим розташуванням підприємств; - механічний і технологічний прогрес тут набагато гірший, ніж у випадку підприємства побудованого відразу за новими технологіями	- застосування всіх складових Індустрії 4.0; - застосування принципів SE; - утилізація відходів, джерела енергії; - підтримка наступного покоління робочої сили.	- повна автоматизація та діджиталізація компанії; - об'єднання компанії, підвищення ефективності та конкурентоспроможності; - на кількість інновацій та ефективне планування впливає просторове розташування підприємства; - ефективне використання відходів.	- недооцінка певних атрибутів під час проектування загрожує ефективністю виробництва, нестачею працівників тощо; - відсутність стабільності в конкурентній боротьбі; - загроза - нестача персоналу, високі енерговитрати, великі суми коштів, пов'язані
	нове підприємство	- достатньо фінансів, ноу-хау; - реалізація на "зеленому		- будівництво на "зеленому полі" не обмежується плануванням виробничого цеху;	

		полі" з мінімальними обмеженнями по плануванню; - можливість ефективного впровадження атрибутів Індустрії 4.0; - ефективна компоновка операцій і машин; - повністю автоматизовані заводи великої потужності; - серійне виробництво.		- найефективніші виробничі лінії, що забезпечують автоматичне переміщення деталей, їх обробку, складання та пакування; - пошук нових шляхів підвищення продуктивності.	зі складами, втрата даних тощо; - невирішення енергетичної ситуації та часткове самозабезпечення загрожує бізнесу високими витратами.
--	--	---	--	---	--

Підприємства зазвичай мають достатньо ноу-хау, наймають спеціаліста для роботи з різними видами субсидій. Компанія також має спеціаліста, який займається розвитком та інноваціями.

Великі підприємства, побудовані шляхом поступової модернізації

Великі підприємства, створені шляхом поступового зростання їхніх можливостей і потужностей, часто формуються протягом кількох десятиліть. Компанії такого типу часто обмежені простором своїх виробничих приміщень. Цехи часто реконструюються, оскільки старі будівлі обмежені опорними колонами, низькими стелями або вузькими залами. Механічний і технологічний прогрес значно поступається тому, що має компанія, яка будується з нуля. Компанії цього типу мають достатній досвід і ноу-хау для впровадження інновацій та розвитку бізнесу. Ефективність всієї компанії збільшується приблизно на 50% порівняно з початковою операцією.

Запропоновані рішення для обох підкатегорій великих підприємств. Необхідним є застосування всіх складових Індустрії 4.0 для таких підприємств. Необхідним є використання принципів циркулярної економіки (ЦЕ) в управлінні відходами з можливістю використання когенераційної установки та переробки відходів. З поступово зростаючими вимогами до більш чистого виробництва, ці кроки будуть необхідними в майбутньому. Необхідна підтримка нового покоління

працівників шляхом співпраці з середніми та вищими навчальними закладами та перепідготовки працівників.

Сучасний автоматизований завод і цифрова взаємодія компанії принесуть дуже значний приріст ефективності. Все залежить від асортименту продукції, серійності та планування приміщень підприємства. Планування дозволяє ефективно розташувати верстати разом з повністю автоматизованим рухом в загальному виробничому потоці. Мінімізація відходів та їх ефективне використання допоможе зменшити витрати на електроенергію.

Ризик невпровадження протягом 5 років - для обох підкатегорій великих підприємств. Компанія такого розміру повинна враховувати всі атрибути Індустрії 4.0 при проектуванні або реконструкції своєї діяльності. Якщо вона недооцінює якісь із них, то ризикує зазнати невдачі, неефективного виробництва, нестачі працівників тощо. У конкурентній боротьбі недостатньо інноваційна компанія опиниться в зоні ризику. У найближчому майбутньому на зміну підприємству може прийти компанія з чітким баченням і метою. Респонденти з великих підприємств вказують на загрози нестачі кваліфікованих працівників, компетентних в Індустрії 4.0, високі витрати на енергоносії, великі обсяги коштів, зв'язаних на складах, втрату даних та інші. Непідготовленість до часткового енергетичного самозабезпечення, наприклад, за рахунок переробки відходів або сонячних панелей, загрожує підприємству в часи високих коливань цін на енергоносії.

Підприємства побудовані з нуля. Підприємства, які мають достатньо фінансів і ноу-хау, будують завод на "чистому" майданчику, який не обмежений плануванням вже існуючих будівель і споруд. У цьому варіанті всі атрибути Індустрії 4.0 можуть бути ефективно сплановані, інтегровані, реалізовані та проконтрольовані. Задана схема операцій і машин може бути адаптована безпосередньо до цільового виробництва. Тут мова може йти про повністю автоматизовані великомасштабні агрегати, що займаються масовим виробництвом.

Якщо компанія планує будувати підприємство з нуля, вона не обмежується плануванням виробничих цехів. Тут вступає в дію концепція "розумної фабрики" з усіма атрибутами Індустрії 4.0. Мета інвесторів - спроектувати максимально ефективну виробничу лінію, що забезпечує як автоматичне переміщення виготовлених деталей, так і їх механічну обробку, обробку поверхонь, складання та пакування. Компанії постійно шукають нові способи підвищення продуктивності. Відходи, що утворюються, можуть бути серйозним тягарем, але їх утилізація при виробництві енергії зменшує їх загрозу та витрати, пов'язані з веденням бізнесу. Процеси прийняття рішень в рамках циркулярної економіки принесуть значну ефективність для всієї компанії.

Для великих компаній, обсяг інвестицій залежить від рівня доданої технологічної вартості та складності процесів. Окупність всіх інвестицій має становити приблизно п'ять років. Однак додана вартість всього виробничого потоку зазвичай зростає більш ніж на 50% протягом п'яти років на великих підприємствах порівняно з неінноваційними підприємствами.

2.5. Практичне впровадження Індустрії 4.0 у машинобудівній промисловості

Зростаючі витрати та конкурентний тиск вимагають високого рівня автоматизації, інтелекту та гнучкості. Індустрія 4.0 - це рішення, здатне координувати потоки інформації між усіма підрозділами компанії за допомогою технологій і мереж, які полегшують комунікацію між учасниками процесу (машинами, людьми і пристроями), полегшуючи їх повсякденні завдання і усуваючи повторювані процеси.

Розумна фабрика (рис. 2.1) - це підприємство, кероване даними, де інтелектуальні пристрої можуть виконувати обчислення, зв'язок або точне управління. Повсякденна робота розумної фабрики значною мірою залежить від зрілості програмного забезпечення (3D-друк, платформа хмарних обчислень, система управління виробництвом, віртуальна реальність, розумна логістика тощо)

та технологічного обладнання (роботизовані, саморозкрійні центри, верстати з ЧПУ тощо).

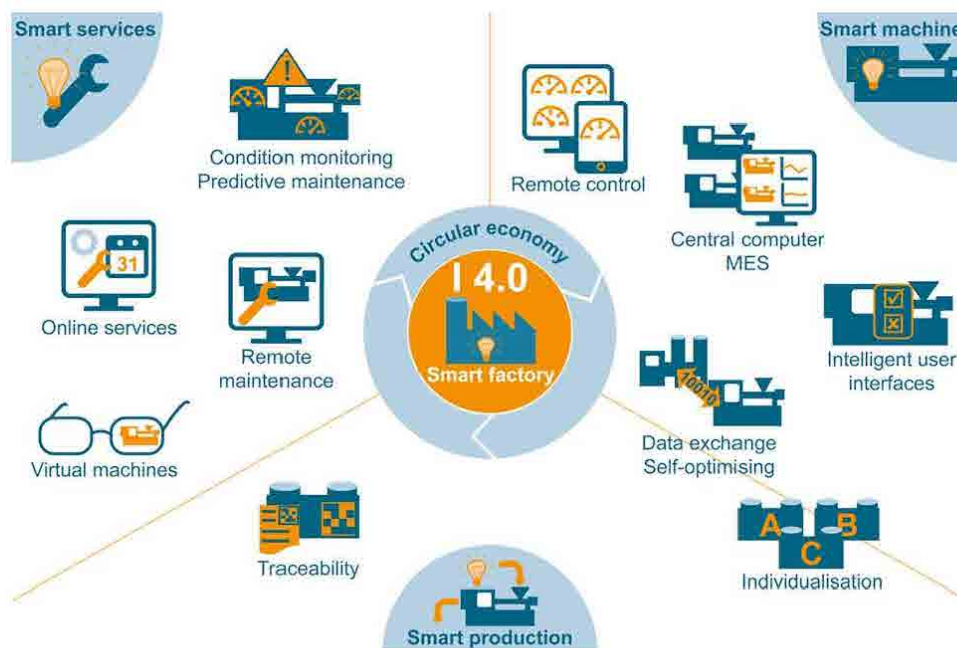


Рисунок 2.1 Сучасна концепція розумної фабрики

З точки зору управління проектами, весь процес виробництва залежить від розміру компанії та специфіки виробництва. Сама компанія-виробник повинна бути розділена на відділи, через які окремі проекти рухаються до ефективної мети. Відділ повинен мати чітко визначені правила, структуру та посадові інструкції для кожного працівника, щоб кожен працівник знав сферу, мету та обсяг своєї роботи.

Вся інтелектуальна мережа поділяється на дві частини. Передача інформації в компанії здійснюється за допомогою міжмашинних (M2M) додатків, які змінюють діалог між людиною і машиною. Друга частина - це обмін інформацією на заводі, який відбувається через Інтернет речей. IoT забезпечує збір великих обсягів даних і системний зв'язок з передачею в хмарне сховище. Під час фактичного збору, в мережі або в хмарному сховищі, дані оцінюються через Інтернет послуг, який формує глобальний інтернет-зв'язок між системами і послугами. Крім того, поширюється децентралізована інформація, на основі якої системи можуть приймати рішення. Завдяки цим технологіям система, керована комп'ютерними

алгоритмами з фізичних джерел, створює структури, що самоорганізуються, і забезпечує взаємодію між різними учасниками процесу в рамках систем штучного інтелекту. Зі зростанням цифровізації зростає і ризик кібератак, що робить кібербезпеку невід'ємною частиною меблевого виробництва.

Щоб організувати розумну фабрику, необхідно мати огляд всіх матеріалів, що беруть участь у виробництві. Необхідно завжди знати, які потреби і вимоги має виробництво і як задовольнити ці вимоги найбільш ефективним способом. Автоматичне управління запасами разом з програмним забезпеченням класифікує всі матеріали (сировину, напівфабрикати і готову продукцію) і надає всю цю інформацію у вигляді списків відповідальному персоналу, а також управляє логістикою і виходом кінцевого продукту. Вона також пов'язана з розрахунком потреб у закупівлях і автоматично генерує замовлення постачальникам, дотримуючись критеріїв виробництва та зберігання, що використовуються в компанії. Завдяки сервісу та управлінню торгівлею клієнтам і постачальникам надається повний комплекс послуг, включаючи контроль якості вхідних матеріалів і переробку відходів. Бачення майбутнього полягає в опосередкованому залученні клієнта до виробничого процесу, наприклад, через інтелектуальний електронний магазин, відображення поточного стану виробництва тощо.

Різні групи атрибутів можуть переплітатися в межах зрілості підприємства. Технології, що використовуються, завжди повинні бути на один рівень більш досконаліми, ніж поточні потреби компанії. Всі інноваційні процеси, що рухаються в напрямку технологій Індустрії 4.0, впорядковують і оптимізують час виробництва, зменшують будь-які потенційні помилки і дозволяють перекласти фізично складні, а іноді і небезпечні завдання з людини на машину. Людина вирішує складну проблему, а ШІ виконує менш складні дії або більш повторювані операції. Це створює конкурентну перевагу, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів, а також екологічну відповідальність.

Результати дають змогу виявити кілька ідей та найкращих практик щодо ефективного впровадження Індустрії 4.0. Встановлено, що існує відносно низький

рівень готовності МСП до специфічного використання Індустрії 4.0 порівняно з великими підприємствами, що займаються масовим виробництвом. Цей висновок можна пояснити тим, що великі підприємства мають набагато більше ресурсів для використання технологій, володіють ноу-хау та розуміють важливість інноваційних технологій. Завдяки своєму розміру та виробничій спрямованості вони є практично незамінними і мають простір для зосередження на стратегічно орієнтованих видах діяльності. Для великого підприємства (понад 250 працівників) Індустрія 4.0 є необхідною складовою. Якщо підприємство має достатнє фінансування, ноу-хау та будує завод з нуля, то всі атрибути Індустрії 4.0 можуть бути виконані легше, ніж для компанії, яка поступово модернізується і обмежена різним просторовим розташуванням своїх потужностей. Великі та середні компанії з масовим виробництвом можуть застосувати всі атрибути Індустрії 4.0 у своєму портфоліо, тим самим збільшуючи обсяги виробництва та потужності, водночас зменшуючи витрати. Респонденти зазначають, що "програмні рішення, обладнання та компанії, що постачають інноваційні рішення Індустрії 4.0 "під ключ", в основному спеціалізуються на великих підприємствах з масовим або повторюваним виробництвом".

Одним із багатьох практичних результатів та практичних наслідків буде підключення МСП до впровадження рішень Індустрії 4.0, що принесе цим підприємствам конкурентні переваги, такі як нижчі витрати, вища врожайність та раціональне використання зелених та стійких відновлюваних ресурсів без необхідності власних високих інвестицій. Практичний досвід респондентів показує, що в міру того, як бізнес зростає від мікропідприємства до великого підприємства, він зазнає значного розвитку, інновацій та внутрішніх змін.

Згідно з отриманими даними, важливо, щоб трансформація операцій призвела до створення простих, але гнучких промислових роботизованих комплексів. Значна частина промисловості потребує модернізації своїх виробничих систем і розробки нових виробничих технологій або програмних рішень [18]. Важливим фактором успіху застосування окремих частин розумної фабрики є

початок з обмеженого впровадження окремих елементів, а не з комплексної реконструкції. Важливо продовжувати тільки тоді, коли робочий процес зрозумілий робочій силі, тобто людським ресурсам [27]. Деякі підприємства, які розглядають можливість застосування роботизованих та автоматизованих ліній, розглядають сучасні технології як інструмент для вирішення більшості своїх проблем. Відкрита комунікація всередині компанії та навчання необхідні для уникнення непорозумінь і можливих невдач [17,19,27]. Стратегічне планування всього впровадження з чіткими цілями для кожного підрозділу компанії. Повторна комунікація та роз'яснення намірів має відбуватися і з працівниками, для яких важливо ідентифікувати себе з цілями компанії та впровадженням Індустрії 4.0. Вони повинні прийти до розуміння того, що автоматизація і роботизація допомагають їм підвищити ефективність і замінити особливо складну і монотонну роботу. Через процес сервізації та залучення клієнтів у виробничий процес для вирішення екологічних проблем можна або безпосередньо генерувати економічні вигоди, або опосередковано, через екологічні чи операційні показники, підвищити задоволеність клієнтів. Цей шлях також може максимізувати обсяги всіх подальших процесів виробництва та постачання [44,45]. На жаль, не всі компанії Індустрії 4.0 належним чином розуміють саме значення сервітизації. Навіть якщо вони надають певні послуги в цьому напрямку (наприклад, конструкторський відділ), цілеспрямованої інтеграції та створення цінності не відбувається [32].

Існує два найбільш суттєві бар'єри на шляху впровадження Індустрії 4.0 у секторі машинобудування. Перший фактор - це дрібномасштабне виробництво, яке вимагає дуже гнучких механічних осередків на самому заводі-виробнику. Це супроводжується високими вимогами до програмування, що знижує прибутковість та ефективність. По-друге, обробка вимагає дуже складного підходу, оскільки параметри обробки повинні постійно адаптуватися до характеристик і процесів виробів, що виготовляються. Обробка напівфабрикатів вимагає використання одноцільових верстатів (наприклад, лазерних або плазмових різаків, горизонтальних фрезерних верстатів і пресів), які займають багато місця і

вимагають багато персоналу. Велика кількість відходів, споживання енергії та людської праці, таким чином, стає тягарем не лише для самої компанії, але й для навколишнього середовища [46,47].

Наступною найчастіше згадуваною перешкодою, є проблема інвестування часу та грошей у розвиток. Перш ніж приймати рішення про інвестування в Індустрію 4.0, власники бізнесу повинні бачити приклади того, що ці практики є прибутковими та надають багато інших переваг. Нинішні представники бізнесу вважають, що інноваційні рішення є складними у фінансовому плані та нерентабельними. Впровадити інноваційне рішення, безсумнівно, складніше, ніж продовжувати працювати за традиційною схемою. Однак впровадження Індустрії 4.0 можна адаптувати до можливостей і потреб конкретної компанії.

Прогалини в бізнес-ланцюгах поставок як з боку покупця, так і з боку постачальника є центральними для впровадження Індустрії 4.0, причому найбільшою проблемою є впровадження та співпраця з різними організаціями, які не використовують сучасні технології, а обмін та комунікація з цими організаціями-партнерами є складним завданням. Сьогодні концепції та інструменти управління бізнесом стрімко розширюються. Тому топ-менеджмент зосереджується на впровадженні всієї Індустрії 4.0, включаючи бізнес і ланцюжок поставок [35]. Добре інтегрований та керований ланцюг поставок вважається потужною стратегічною та логістичною "зброєю", яку важко імітувати і яка забезпечує довгострокову конкурентну перевагу [38,39].

Як показали наші дослідження загальна проблема полягає в тому, що постачальники послуг, які пропонують комбінацію апаратного та програмного забезпечення, здебільшого спеціалізуються на великих компаніях. Практично немає жодної компанії, яка б пропонувала малому підприємству послуги з комплексного вирішення питань технічного та технологічного оснащення, продажу певних "ноу-хау", що стосуються повного комплексу послуг виробничого та невиробничого характеру. Тут ми стикаємося з фундаментальним фактом, який полягає у відсутності інформації про можливі рішення у всьому секторі меблевого

виробництва. Іншою проблемою є несумісність між машинами, що забезпечують різні виробничі операції, і програмним забезпеченням, що їх контролює або керує ними, а також взаємодія між різними програмними машинами від різних виробників. Для компаній є чудова можливість запропонувати бізнес-аналіз і впровадити рішення, яке б опосередковувало зв'язок між складом, програмним забезпеченням для проектування, програмним забезпеченням для управління людськими ресурсами та бухгалтерським програмним забезпеченням, а також між іншими операціями компанії [7]. Метою є впорядкування комунікаційного потоку, відображення необхідних даних та усунення повторюваних операцій, що застосовується в машинобудівних компаніях. Опитані підприємства, які займаються розробкою, часто мають у штаті спеціаліста, який програмує продукт. Багато компаній все ще не бачать потенціалу, який криється, наприклад, у співпраці зі спеціалізованими аутсорсинговими компаніями [27]. Важливо зазначити, що для деяких процесів ефективніше користуватися послугами спеціалізованих ІТ-компаній, ніж здійснювати процес силами власного ІТ-персоналу [52], наприклад, управління даними та кіберзахист, взаємозв'язок програмного забезпечення тощо. При впровадженні доцільно діяти по частинах; рекомендується спочатку завершити одну частину, а потім працювати над наступною.

Одним з основних принципів Індустрії 4.0 є створення оперативних виробничих планів і скорочення фізичних запасів. З огляду на поточну ситуацію і стан ланцюга поставок, це зараз дуже проблематично, і було б доцільно поживити його. Внаслідок пандемії, російсько-української війни, високої інфляції та загального зростання цін на всі товари та послуги, постачання матеріалів, необхідних для виробництва, затримується або припиняється повністю (мікročіпи) Відсутність широкого спектру матеріалів, фурнітури та електроніки, що постачаються з країн Азії, є актуальною проблемою, де час транспортування відіграє важливу роль. Ця проблема підкреслює невідповідність суспільства і промисловості до широкого спектру всіх потоків поставок і виробництва, змушуючи компанії створювати запаси матеріалів і комплектуючих, в яких зав'язані

великі суми грошей. З поступовим зростанням транспортних цін разом із "зеленим курсом" виробники дефіцитних товарів, що виробляються за межами ЄС, також будуть змушені перенести виробництво до європейських країн. Скорочення часу транспортування та забезпечення самодостатності європейських країн також сприятиме пришвидшенню поставок. Водночас, однак, існують специфічні відмінності в умовах окремих країн у машинобудівній промисловості [55].

Компанії повинні використовувати можливості, пов'язані з просуванням зеленої енергетики, для вдосконалення механізмів переробки меблевих відходів з метою мінімізації енергоспоживання [21]. Одним з основних факторів, що спричиняє перевантаження ресурсів, є глобальна система, заснована на лінійному потоці матеріалів та енергії, що призводить до виснаження природних ресурсів та утворення великої кількості відходів [56]. Відповідним рішенням є циркулярна модель, заснована на циркулярній економіці (ЦЕ), яка дозволяє забезпечити сталий розвиток. Іншим варіантом є використання відходів як джерела енергії на підприємстві, наприклад, для когенераційних установок, що виробляють електроенергію, яка потім буде використовуватися у виробництві, що значно знизить виробничі витрати компанії і може мати значний ефект, особливо в умовах нинішньої енергетичної кризи. Це підтверджують деякі компанії, які вже виробляють електроенергію зі своїх відходів.

Найбільш поширеним ризиком нереалізації проекту зацікавлені сторони називають нестачу персоналу, як на виробничих, так і на технічних управлінських посадах. У таких випадках підприємством часто керує одна людина, і його можлива знижена замінність або недотримання термінів відвантаження у разі виробничого збою та необхідність високого рівня оперативного управління є загрозами в довгостроковій перспективі. Цей ризик найбільш очевидний на середніх і великих підприємствах, де технології Індустрії 4.0 роблять виробництво більш ефективним, а кількість технічного та економічного персоналу скорочується. Усі чотири промислові революції мали значний вплив на роботу з точки зору освіти. Наразі на ринку праці існує великий дефіцит компетентних і кваліфікованих працівників

(робочої сили) з досвідом роботи в галузі та компетентністю в інноваційних технологіях. Поряд з вимогою перекваліфікації працівників, робоча сила повинна відповідати складним умовам виробництва та набувати м'яких навичок [59,60]. Автоматизація та індустріалізація підприємств також матимуть вплив на людські ресурси в розумінні Human Resources 4.0. У довгостроковій перспективі втрачені робочі місця будуть замінені робочими місцями, які відповідають потребам майбутнього ринку. Аспект, який викликає занепокоєння щодо впровадження Індустрії 4.0, - це поточна структура системи освіти. З появою діджиталізації та робототехніки виробничі процеси як такі докорінно змінюються, і система освіти повинна реагувати на це негайно [62]. Застарілі машинобудівні підприємства не мають нічого спільного з сучасним виробництвом. Випускники закладів освіти, як правило, щойно закінчили навчання і не володіють цифровими процесами, що суттєво гальмує розвиток компаній. Респонденти гостро відчують цю проблему і бачать її вирішення у співпраці між закладами та технічно розвиненими компаніями, де здобувачі могли б проходити стажування, яке допомогло б підвищити обізнаність про широкий спектр можливостей.

Розділ III

ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

3.1 Впровадження роботизованого комплексу на машинобудівному підприємстві.

Впровадження роботів на підприємстві вимагає структурованого підходу до проекту, щоб забезпечити успішну інтеграцію та максимальну вигоду. Такий проектний підхід складається з декількох етапів і зазвичай має схожі риси зі звичайними проектами (рисунок 3.1).

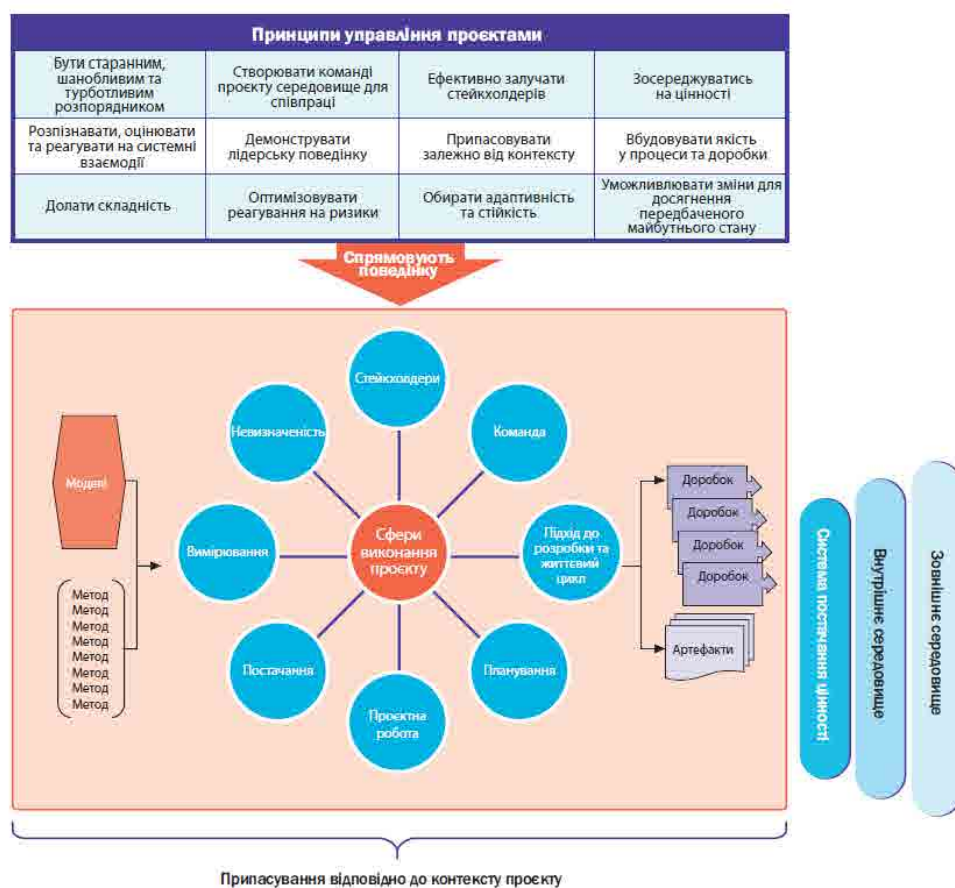


Рисунок 3.1 – Принципи управління проектами та припасування відповідно до контексту проекту

На етапі ініціювання відбувається попередня підготовка проекту. Спочатку визначаються цілі проекту. Основними завданнями на даному етапі є встановлення конкретних показників, які вважаються показниками успішності проекту. До таких характеристик зазвичай відносять підвищення продуктивності, покращення якості продукції, зменшення витрат. Дані практичної імплементації робототехнічних комплексів для зварювання показують, що навіть один робот дозволяє підвищити продуктивність у 5 разів за зміну та підвищити якість зварного шва у 2 рази.

Після ініціювання проводиться ідентифікація зацікавлених сторін - керівництво, співробітники, команди конструкторів та постачальників. Важливо при спілкуванні з зацікавленими сторонами виходити з позиції лідерства

Для кількісної оцінки можливості впровадження виконується техніко-економічне обґрунтування, яке дозволяє відповісти на питання щодо доцільності впровадження розробки. Основними показниками, які розраховують є інвестиційні, операційні витрати, економічні та фінансові показники. Для оцінки інвестиційної привабливості (Capital Expenditure - CapEx) розраховують вартість обладнання, вартість придбання роботів та допоміжного обладнання; вартість встановлення та монтажу; витрати на встановлення та інтеграцію роботів у виробничий процес; вартість модернізації інфраструктури; витрати на оновлення існуючих систем та інфраструктури для сумісності з роботами; вартість навчання персоналу; витрати на навчання співробітників для роботи з новими технологіями.

При визначенні операційних витрат (Operating Expenditure - OpEx) рахують експлуатаційні витрати; витрати на обслуговування та технічну підтримку роботів; енергетичні витрати; витрати на електроенергію для роботи роботів; витрати на матеріали та запчастини; витрати на заміну витратних матеріалів та запасних частин.

Економічну складову обраховують через зменшення трудових витрат; економію на заробітній платі завдяки автоматизації ручної праці; підвищенні продуктивності; збільшенні обсягу виробництва та зменшення часу на виконання

операцій. Покращення якості продукції враховує зниження кількості браку та підвищення якості продукції; зменшення виробничих витрат та економію на матеріалах завдяки точнішому та ефективнішому використанню ресурсів.

До розрахунку фінансових показників слід віднести визначення чистої поточної вартості (NPV); сума дисконтованих грошових потоків проекту (визначає, чи є проект прибутковим); внутрішню норму рентабельності (Internal Rate of Return - IRR). Також розрахунок проводиться з визначення відсоткової ставки, при якій чиста поточна вартість проекту дорівнює нулю (показує рентабельність інвестицій); період окупності (Payback Period) та рентабельність інвестицій (Return on Investment - ROI).

Попередній розрахунок фінансових показників представлений в таблиці 2.5 та на рисунку 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок фінансових показників впровадження інноваційного проекту (встановлення роботи) на підприємстві

	Рік 1												Рік 1		Рік 2		Рік 3	Рік 4	Рік 5	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1-6	7-12	1-6	7-12				
Revenues / Доход																				
From advertising Campaigns / За результатами проведених компаній															\$5 000	\$15 000	\$50 000	\$100 000	\$150 000	
From goods sales /Від прямого продажу виготовлених виробів							\$219	\$21 900	\$24 090	\$28 908	\$37 580	\$56 371	\$169 068	\$541 158	\$919 968	\$1 655 943	\$6 292 582	\$12 585 165	\$26 428 846	
Total / Сума							\$219	\$21 900	\$24 090	\$28 908	\$37 580	\$56 371	\$169 068	\$541 158	\$924 968	\$1 670 943	\$6 342 582	\$12 685 165	\$26 578 846	
COGS / Собівартість реалізованих виробів									\$7 227	\$8 672	\$11 274	\$16 911	\$50 720	\$162 347	\$277 490	\$501 283	\$1 902 775	\$3 805 549	\$7 973 654	
Gross Profit / Валовий прибуток							\$219	\$21 900	\$16 863	\$20 236	\$26 306	\$39 459	\$118 347	\$378 810	\$647 478	\$1 169 660	\$4 439 808	\$8 879 615	\$18 605 192	
Expenses / Расходы																				
R&D + IT&Support	\$1 925	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$2 250	\$13 850	\$14 900	\$57 800	\$87 800	\$211 600	\$247 600	\$283 600	
M & S (маркетинг та продажі) G & A (загальні та адміністративні)	\$800	\$800	\$800	\$800	\$800	\$800	\$4 800	\$800	\$800	\$800	\$800	\$800	\$4 800	\$4 800	\$9 800	\$9 800	\$24 600	\$43 400	\$62 200	
	\$153	\$160	\$160	\$160	\$160	\$160	\$1 345	\$160	\$160	\$160	\$160	\$160	\$1 345	\$953	\$2 910	\$2 910	\$6 520	\$7 320	\$7 420	
Total Operating Expenses /Загальні операційні витрати	\$2 878	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$8 395	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$19 995	\$20 653	\$70 510	\$100 510	\$242 720	\$298 320	\$353 220	
Total Expenses / Загальні витрати	\$2 878	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$8 395	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$3 210	\$19 995	\$20 653	\$70 510	\$100 510	\$242 720	\$298 320	\$353 220	
Operating Profit / Операційний дохід	-\$2 878	-\$3 210	-\$3 210	-\$3 210	-\$3 210	-\$3 210	-\$8 176	\$18 690	\$13 653	\$17 026	\$23 096	\$36 249	\$98 352	\$358 158	\$576 968	\$1 069 150	\$4 197 088	\$8 581 295	\$18 251 972	
Accumulation Profit/loss	-\$2 878	-\$3 210	-\$3 210	-\$3 210	-\$3 210	-\$3 210	-\$8 176	\$15 813	\$29 466	\$46 491	\$69 587	\$105 837	\$204 189	\$562 347	\$1 139 315	\$2 208 465	\$6 405 552	\$14 986 848	\$33 238 820	

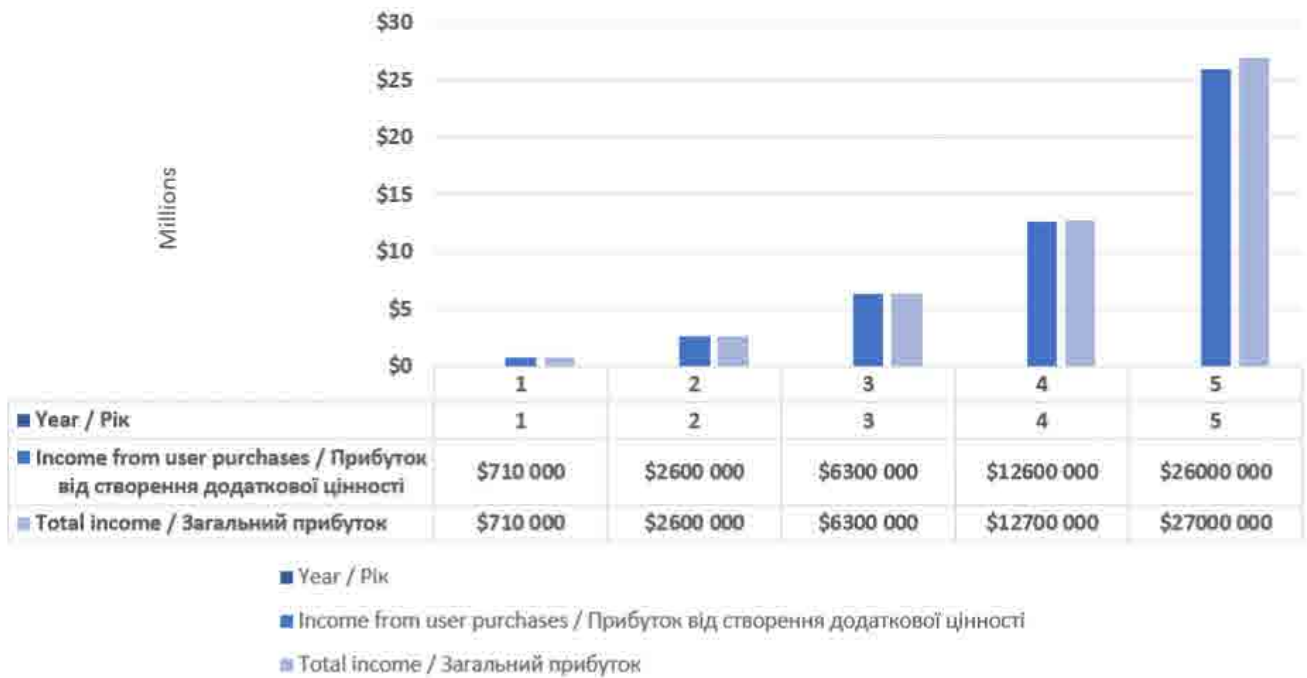
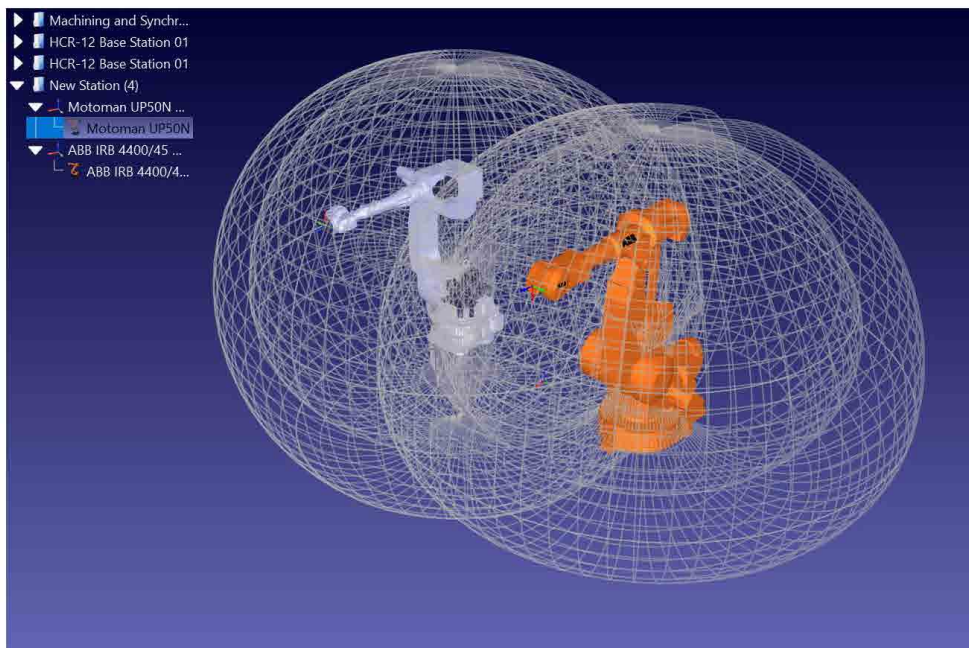


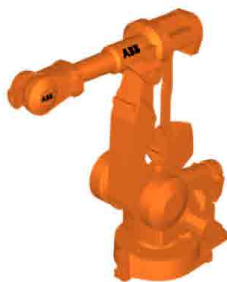
Рисунок 3.3 Прибуток від впровадження інноваційного рішення – роботизації, визначений по рокам імплементації

На етапі планування розробляється детальний план проекту, що описує обсяг робіт, терміни, бюджет і вимоги до ресурсів. Визначаються потенційні ризики та розробляються стратегії їх пом'якшення. Оцінюються і вибираються відповідні робототехнічні рішення відповідно до потреб підприємства (рисунок 3.4). Проводиться оцінка та планування необхідних змін, оновлення інфраструктури.



a)

ABB IRB 4400/45 M94A



Specifications

Brand	ABB
Model	IRB 4400/45 M94A
Type	Robot Arm
Axes	6
Payload	45 kg
Reach	1960 mm
Repeatability	0.19 mm
Weight	1040 kg

The ABB IRB 4400/45 M94A robot is a 6-axis robot arm, it offers a 45 kg payload and 1960 mm of reach. The repeatability of the ABB IRB 4400/45 M94A robot is 0.19 mm and the robot weight is approximately 1040 kg.

Common applications of the ABB IRB 4400/45 M94A include: Additive Manufacturing, Remote TCP.

The ABB IRB 4400/45 M94A is manufactured by ABB.

Use this [robot comparator](#) to find similar robots to the ABB IRB 4400/45 M94A.

[Browse the full RoboDK library.](#)

б)

Motoman UP50N



Specifications

Brand	Yaskawa Motoman
Model	UP50N
Type	Robot Arm
Axes	6
Payload	50 kg
Reach	2046 mm
Repeatability	0.07 mm
Weight	550 kg

The Motoman UP50N robot is a 6-axis robot arm, it offers a 50 kg payload and 2046 mm of reach. The repeatability of the Motoman UP50N robot is 0.07 mm and the robot weight is approximately 550 kg.

Common applications of the Motoman UP50N include: Additive Manufacturing, Assembly, Dispensing, Finishing, Material Handling, Palletizing, Remote TCP.

The Motoman UP50N is manufactured by Yaskawa Motoman.

в)

Рисунок 3.4 Визначення (а) моделі робота (ABB IRB 4400/45 M94A (б) порівнюється з Motoman UP50N (в)), з попередньою оцінкою технічних характеристик що найбільше відповідає вимогам підприємства

На наступному етапі розробляють проект роботизованої системи, включаючи апаратне та програмне забезпечення, а також інтеграцію з існуючими системами. Розробляються нові робочі процеси. При розробці ефективною є стратегія використання цифрових двійників. На даному етапі це дозволяє обрати правильне розташування робота, його розміщення (рисунки 3.5-3.7).

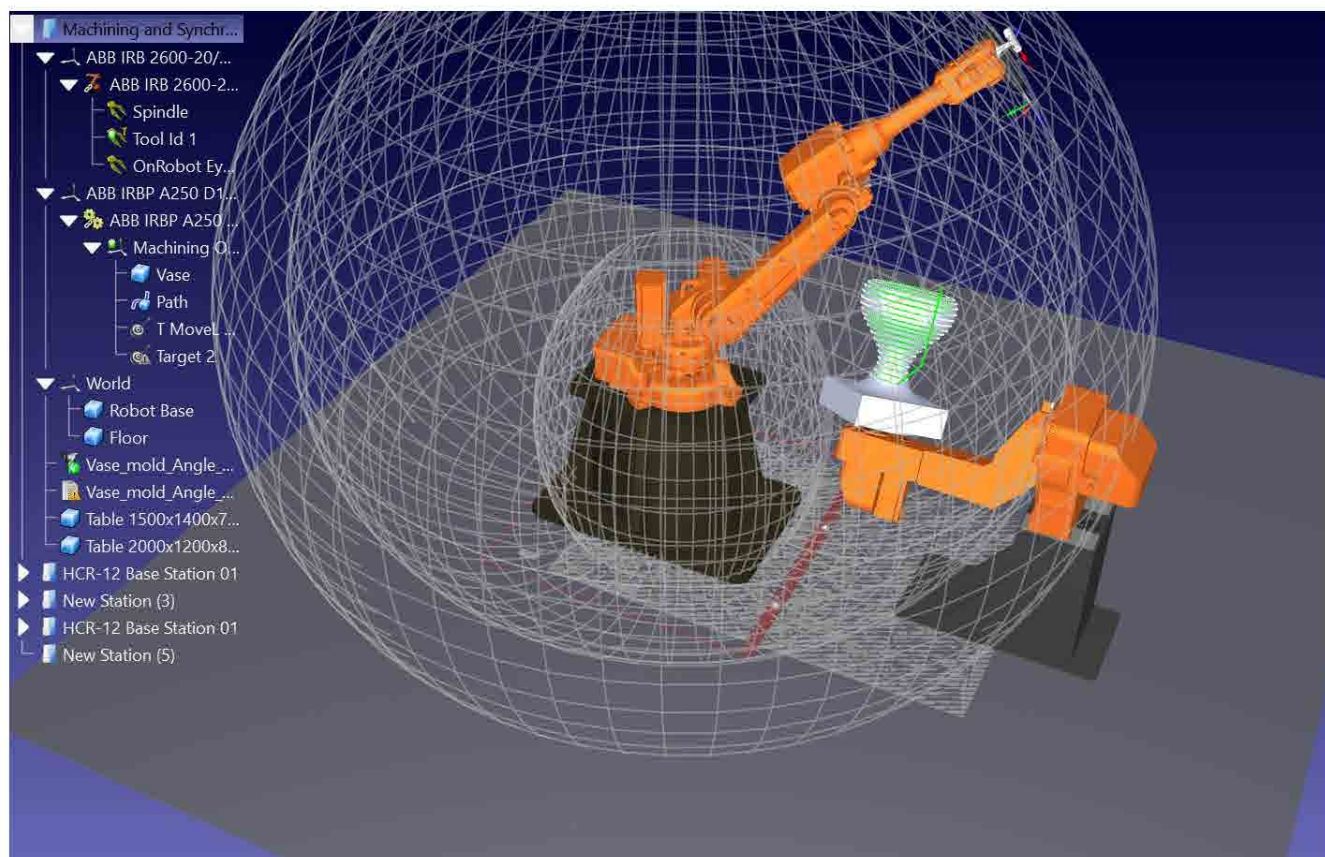


Рисунок 3.5 Визначення зовнішніх контурів та обмежень траєкторії руху інструмента при моделюванні робочого процесу обробки для робота ABB IRB 4400/45 M94A

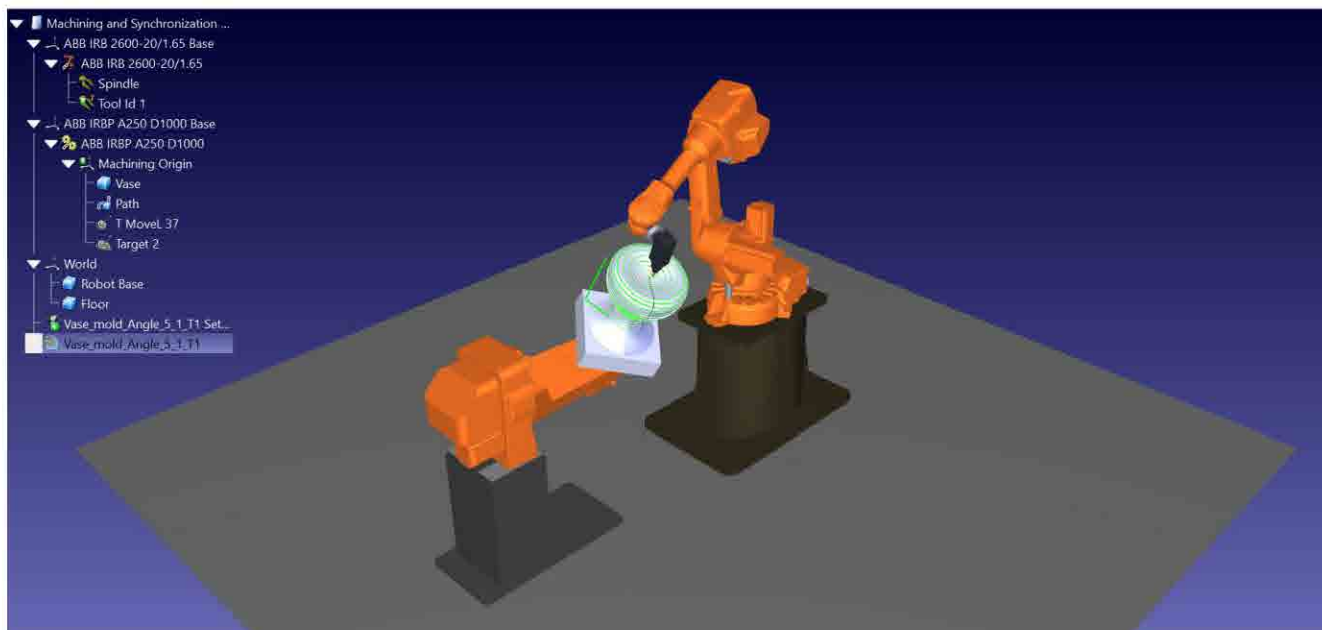


Рисунок 3.6 Визначення траєкторії руху інструмента при моделюванні робочого процесу обробки для робота ABB IRB 4400/45 M94A

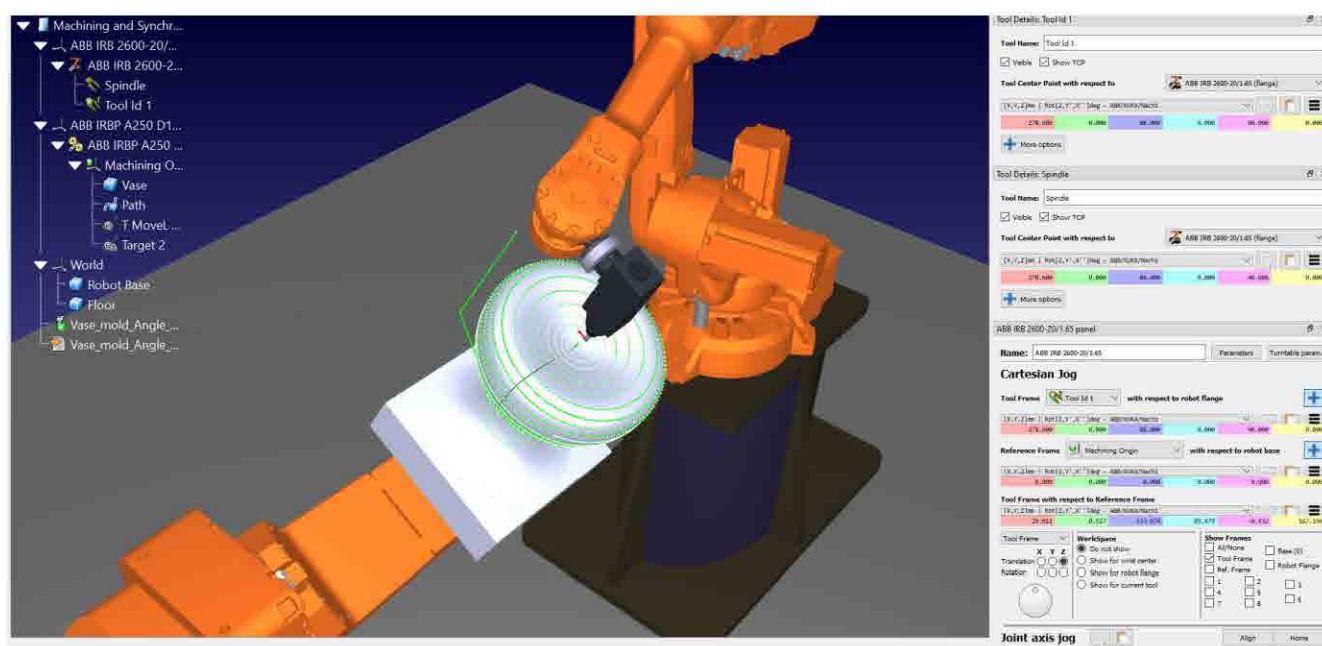


Рисунок 3.7 Позиціонування інструмента на початку обробки відповідно до траєкторії руху при моделюванні робочого процесу для робота ABB IRB 4400/45 M94A

```

1 //
2 // Program Vase_mold_Angle_5_1_T1
3 function Vase_mold_Angle_5_1_T1(){
4   console.log('Message: ', 'Program generated by RoboDK v5.6.7 for ABB IRB 2600-20/1.65 on 06/06/2024 20:52:49');
5   console.log('Message: ', 'Using nominal kinematics.');
```

```

6   popup('/ PART NAME : VASE MOLD ANGLE 5.FM');
7   popup('/ SETUP NAME : SETUP1');
8   popup('/ MACH TIME : 5:49:51.5');
9   popup('/ OPERATION NAME: TOOLPATH2');
10  popup('/ TYPE: TOOLPATH2');
11  popup('/ PASS:');
12  popup('/ TOOL: ENDMILL80750:4REG');
13  console.log('Message: ', '-> CUTTER/ 19.05, 9.525');
14  SetTool(1)
15  SetRPM(366.0)
16  setToolCenterPoint({x: 278.600, y: 0.000, z: 88.000, rx: 0.000, ry: 90.000, rz: 0.000});
17  // setPayload(0.5, {x:0, y:0, z:150}); // sample 0.5kg, CoG is (0,0,150)
18  console.log('Message: ', 'Show Tool Id 1');
19  moveJoint([13.214800, 1.296990, 19.184900, 64.826900, 60.300800, -100.870000, 30.000000, -176.481000], 50, 100);
20  moveLinear('tcp', {x: -6.666, y: -0.230, z: 530.269, rx: 178.625, ry: -1.520, rz: 101.932}, 200.0, 1000);
21  moveLinear('tcp', {x: -7.002, y: -1.818, z: 530.317, rx: 178.179, ry: -1.587, rz: 81.005}, 0.906, 1000);
22  moveLinear('tcp', {x: -6.488, y: -5.069, z: 530.402, rx: 177.276, ry: -1.408, rz: 61.473}, 0.906, 1000);
23  moveLinear('tcp', {x: -5.634, y: -6.641, z: 530.443, rx: 176.812, ry: -1.148, rz: 49.073}, 0.906, 1000);
24  moveLinear('tcp', {x: -4.415, y: -8.047, z: 530.483, rx: 176.376, ry: -0.766, rz: 31.981}, 0.906, 1000);
25  moveLinear('tcp', {x: -1.309, y: -9.986, z: 530.562, rx: 175.728, ry: 0.268, rz: 16.641}, 0.906, 1000);
26  moveLinear('tcp', {x: 0.346, y: -10.479, z: 530.599, rx: 175.548, ry: 0.859, rz: 6.906}, 0.906, 1000);
27  moveLinear('tcp', {x: 2.194, y: -10.700, z: 530.648, rx: 175.459, ry: 1.558, rz: -7.249}, 0.906, 1000);
28  moveLinear('tcp', {x: 5.432, y: -10.279, z: 530.744, rx: 175.593, ry: 2.828, rz: -24.880}, 0.906, 1000);
29  moveLinear('tcp', {x: 8.564, y: -8.812, z: 530.834, rx: 176.144, ry: 4.146, rz: -41.664}, 0.906, 1000);
30  moveLinear('tcp', {x: 11.200, y: -6.445, z: 530.922, rx: 177.114, ry: 5.336, rz: -57.668}, 0.906, 1000);

```

Рисунок 3.8 Генерація програми для робота ABB IRB 4400/45 M94A

Наступний етап включає проектування робочих процесів та розробку заходів щодо безпеки. Відповідно до зовнішнього контуру (див.рис. 3.6) для роботів встановлюють обмеження щодо недопущення травмування працівників на робочому місці відповідно до міжнародних стандартів ISO 10218 «Вимоги безпеки для промислових роботів», ANSI/RIA R15.06 «Американський національний стандарт для промислових роботів і роботизованих систем» та OSHA (Управління з охорони праці та здоров'я) «Рекомендації та правила для безпеки на робочому місці».

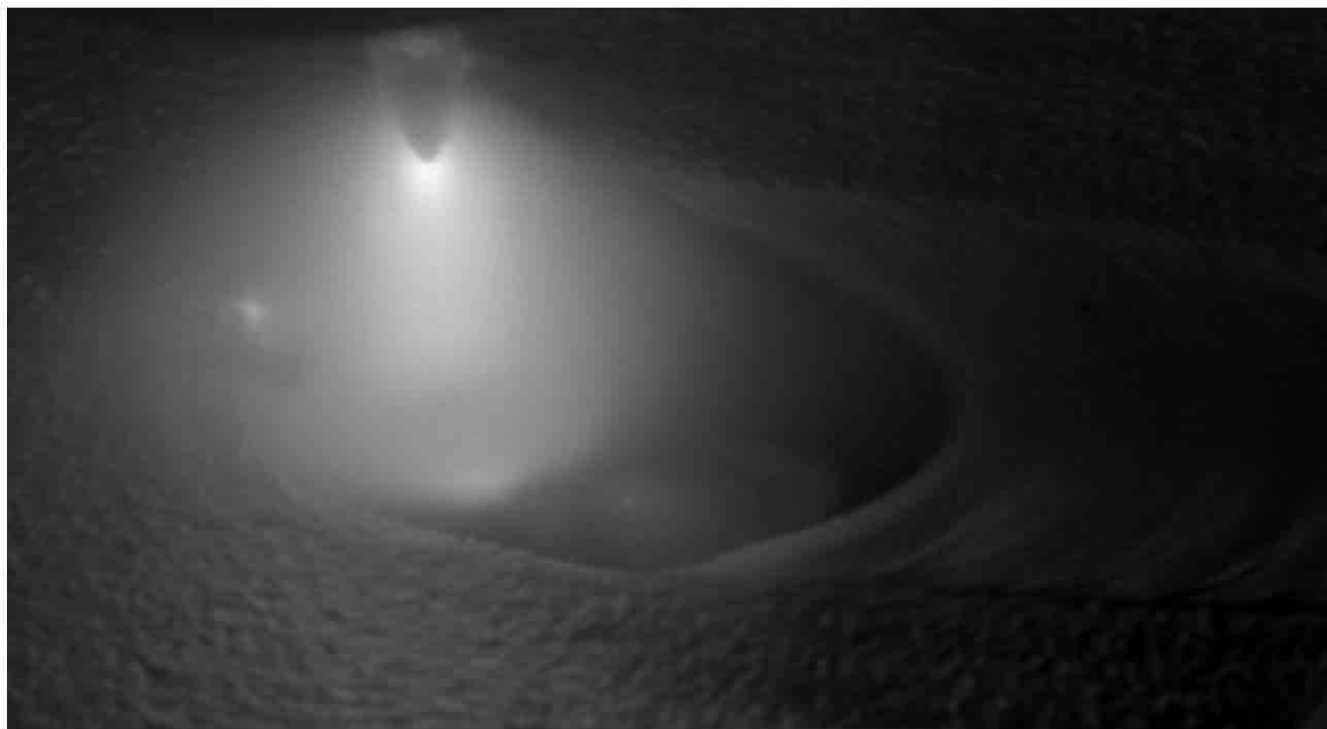


Рисунок 3.9 Класс GOOD WELD DEFF00 (процес якісного зварювання)



Рисунок 3.10 Класс CONTAMINATION DEF02 (забруднення)

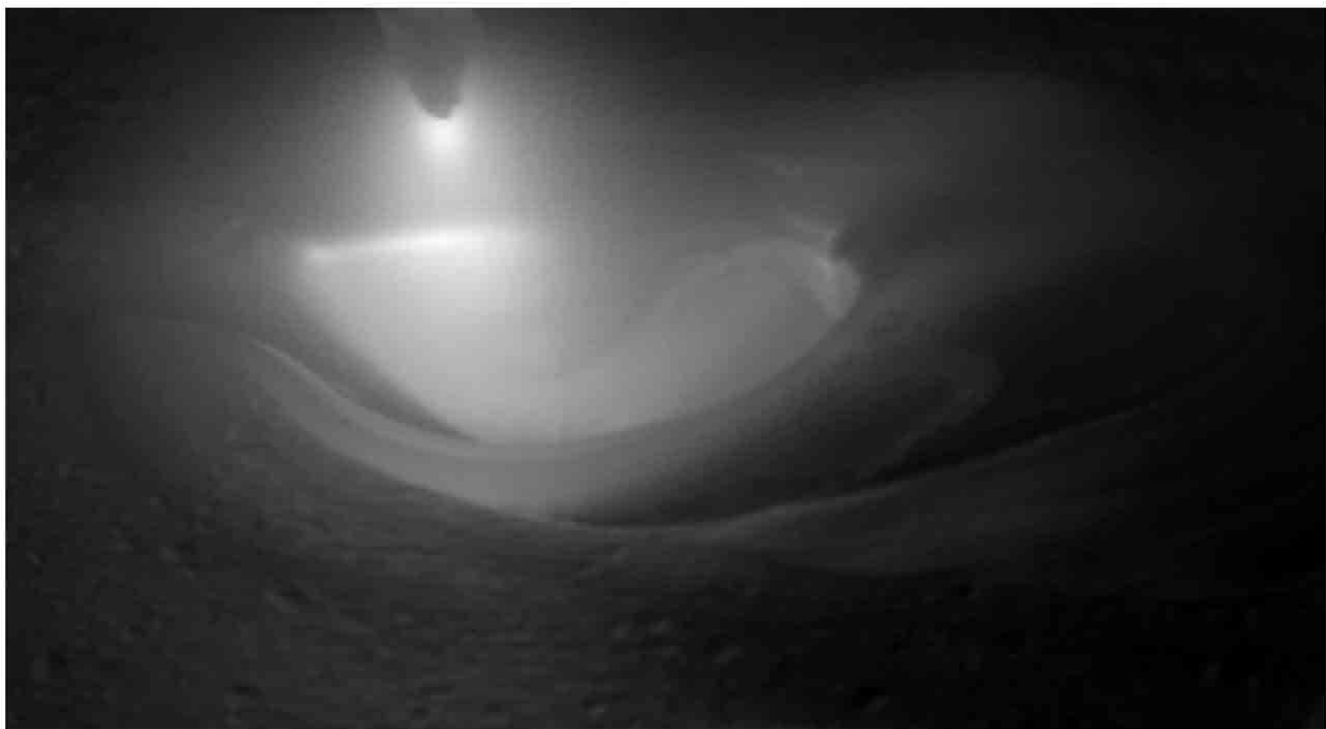


Рисунок 3.11 Класс LACK OF FUSION DEF03 (відсутність плавлення)

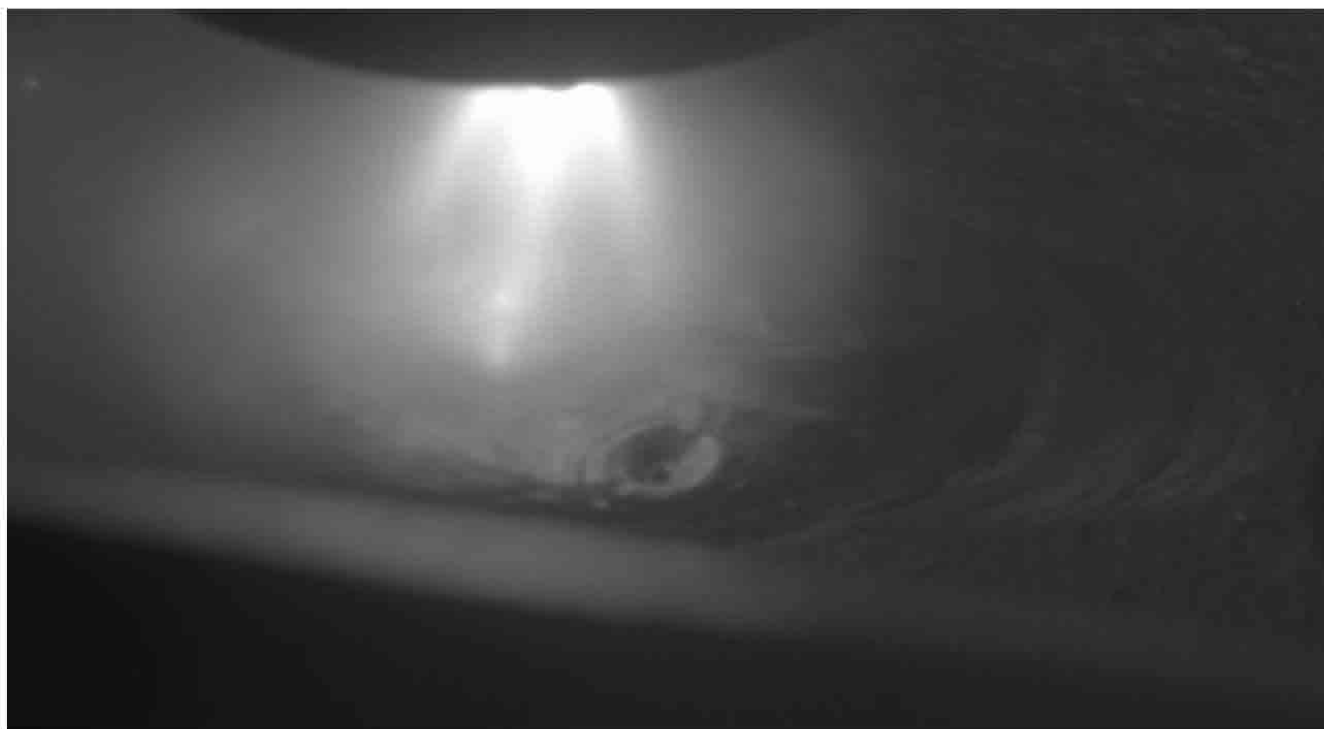


Рисунок 3.12 Класс LACK OF SHIELDING GAS DEF04 (відсутність захисного газу)



Рисунок 3.13 Класс HIGH TRAVEL SPEED DEF05 (висока швидкість переміщення)

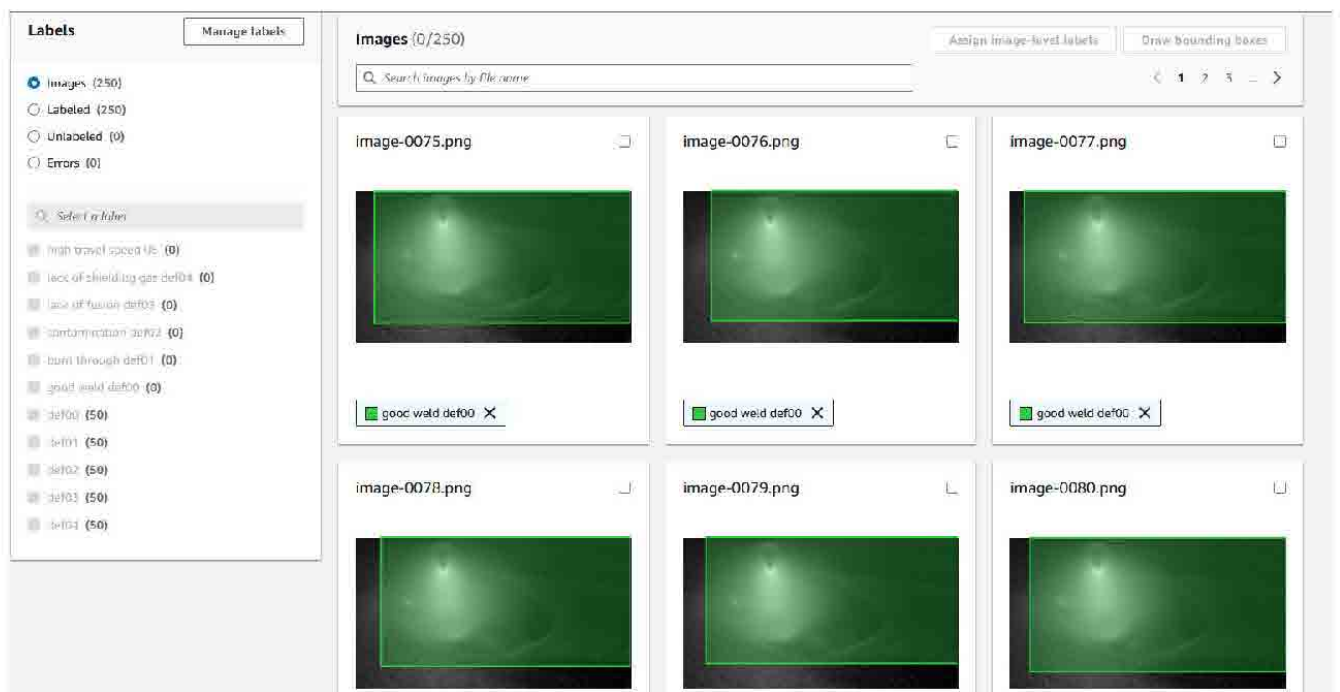


Рисунок 3.14 Розмітка знімків

TIGwelding4defects^{Info}

▼ How it works

Creating your dataset

1. Create dataset

A dataset is a collection of images, and image labels, that you use to train or test a model.

Created

2. Label images

Labels identify objects, scenes, or concepts on an entire image, or they identify object locations on an image.

Add labels

Training your model

3. Train model

Depending on the training dataset, the training model finds image-level scenes and concepts, or it finds object locations.

Train model

Evaluating your model

4. Check performance metrics

Performance metrics tell you if your model needs additional training before you can use it.

Check metrics

Project details

Project name TIGwelding4defects	Created December 15, 2024 at 17:16:51 (UTC+02:00)	Dataset 9 training labels, 197 training images, 8 test labels, 53 test images	Models 1
------------------------------------	--	--	-------------

Models (1)

Find resources

Name	Date created	Training dataset	Test dataset	Model performance (F1 score)	Model status	Status message
TIGwelding4defects.2024-12-15T18.05.10	December 15, 2024			N/A	TRAINING_IN_PROGRESS	The model is being trained.

Per label performance (5)

Find labels

Label name	F1 score	Test images	Precision	Recall	Assumed threshold
burn through def01	1.000	10	1.000	1.000	0.882
contamination def02	1.000	2	1.000	1.000	0.170
good weld def00	1.000	10	1.000	1.000	0.853
lack of fusion def03	1.000	2	1.000	1.000	0.245
lack of shielding gas def04	1.000	2	1.000	1.000	0.222

Рисунок 3.15 Модель та її матрики

image-0004.png

Box # Labels Confidence

0 contamination def02 True positive 17.2%

image-0005.png

Box # Labels Confidence

0 contamination def02 True positive 17.0%

image-0005.png

Box # Labels Confidence

0 lack of fusion def03 True positive 24.5%

image-0011.png

Box # Labels Confidence

0 lack of fusion def03 True positive 24.6%

Рисунок 3.16 Результати ідентифікації дефектів

Після вибору робота проводять тестування прототипу для оцінки функціональності. Виконують налаштування робототехнічних рішень відповідно до специфічних потреб підприємства.

На етапі впровадження встановлюють роботи та необхідну інфраструктуру, інтегрують рішення з існуючими системами та процесами. Проводять ретельне тестування, щоб переконатися, що роботи працюють відповідно до очікувань та відповідають стандартам продуктивності. Проводять навчання співробітників та розробляють стратегію переходу до нової технології для мінімальних втрат в перехідний період.

На завершальному етапі проводять пілотний запуск, щоб виявити будь-які проблеми та внести необхідні корективи. Успішний запуск передуює повному розгортанню робототехнічного рішення, моніторингу продуктивності. Після успішного запуску паралельно також розробляють план технічного обслуговування, щоб забезпечити оптимальний термін безвідмовної експлуатації роботів.

Таким чином впровадження роботів на підприємстві вимагає комплексного підходу до проекту, який включає ретельне планування, проектування, розробку, впровадження та постійну підтримку. Цей структурований підхід забезпечує підвищення продуктивності, ефективності та загальної бізнес-ефективності завдяки їх інтеграції.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Нові інноваційні технології Індустрії 4.0 є ключовими для майбутнього розвитку машинобудівної галузі. Методична підтримка менеджерів та керівників структурних підрозділів, які є ключовими користувачами цих технологій, має важливе значення для застосування нових тенденцій Індустрії 4.0 у промисловому секторі.

До процесу впровадження Індустрії 4.0 у цьому секторі, окрім великих компаній, де Індустрія 4.0 є звичним явищем, необхідно залучати малі компанії, оскільки вони представляють значний потенціал для впровадження Індустрії 4.0, особливо з точки зору ланцюгів постачання.

Різні підходи до впровадження та технологій Індустрії 4.0 потребують спрощення, особливо для МСП. Вони в основному обмежені браком фінансових ресурсів, знань та організації бізнесу. Тому необхідно використовувати лише часткові атрибути, які малі підприємства можуть реально використовувати.

Інноваційні технології виробничого та невиробничого характеру є важливими для компаній, де їх застосування зазнало швидких зрушень, підвищуючи ефективність всієї роботи в межах 30%-50%, зменшуючи комунікаційний потік, кількість помилок та повторюваних операцій на всіх рівнях підприємства та забезпечуючи ефективне використання відновлюваних ресурсів відповідно до Цілей сталого розвитку (ЦСР).

Для підвищення ефективності доцільно також зосередити комунікаційну стратегію Індустрії 4.0 на ланцюгах постачання та МСП, які представляють значний потенціал для успіху та розвитку Індустрії 4.0 у машинобудівному секторі. Щоб досягти успіху в конкурентній боротьбі в довгостроковій перспективі, підприємства повинні продовжувати розвиватися.

Впровадження робототехнічних комплексів на підприємстві залежить від розмірів підприємства, особливостей продукції, що на ньому виготовляється. Така розробка вимагає комплексного підходу до проекту, який включає ретельне

планування, проектування, розробку, впровадження та постійну підтримку. Такий структурований підхід може сформувати необхідну продуктивність, підвищити загальну ефективність виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хрутьба В. О. Формування методів управління проектами та програмами безпеки об'єктів критичної інфраструктури / В. О. Хрутьба, В. І. Зюзюн, С. Д. Неведров, Р. С. Лисак // Управління розвитком складних систем. - 2019. - Вип. 40. - С. 69-75.
2. Rana, A.; Rawat, A.S.; Afifi, A.; Singh, R.; Rashid, M.; Gehlot, A.; Akram, S.V.; Alshamrani, S.S. A Long-Range Internet of Things-Based Advanced Vehicle Pollution Monitoring System with Node Authentication and Blockchain. *Appl. Sci.* 2022, 12, 7547.
3. Шпак Н. О. Економічне обґрунтування управління бізнес-проектами підприємств / Н. О. Шпак, Р. З. Будинський // Бізнес Інформ. - 2020. - № 4. - С. 498-504.
4. Сметанюк О. А. Особливості системи управління проектами в іт-компаніях / О. А. Сметанюк, А. В. Бондарчук // Агросвіт. - 2020. - № 10. - С. 105-111.
5. Rametsteiner, E.; Weiss, G. Assessing Policies from a Systems Perspective—Experiences with Applied Innovation Systems Analysis and Implications for Policy Evaluation. *For. Policy Econ.* 2006, 8, 564–576.
6. Краснокутська Н. С. Аналіз методологій управління проектами в ІТ-галузі / Н. С. Краснокутська, Т. О. Подоприхіна // Бізнес Інформ. - 2020. - № 8. - С. 217-222.
7. Бурлуцька С. В. Системний підхід до управління проектами / С. В. Бурлуцька, С. В. Бурлуцький // Часопис економічних реформ. - 2020. - № 3. - С. 65-73.
8. Згалат-Лозинська Л. О. Напрями удосконалення державного регулювання процесу управління інноваційними проектами в науковій сфері / Л. О. Згалат-Лозинська // Підприємництво та інновації. - 2020. - Вип. 13. - С. 7-13.
9. Erol, S.; Schumacher, A.; Sihn, W. Strategic Guidance towards Industry 4.0—A Three-Stage Process Model. In *Proceedings of the International Conference on*

Competitive Manufacturing, Stellenbosch, South Africa, 27–29 January 2016; ResearchGate: Stellenbosch, South Africa, 2016.

10. Євчук Л. А. Управління проєктами як інструмент розвитку для суб'єктів бізнесу / Л. А. Євчук // Економіка, управління та адміністрування. - 2021. - № 3. - С. 3-7.

11. Смесова В. Л. Цифровізація у сфері управління проєктами та електронній торгівлі / В. Л. Смесова, А. С. Дудка, А. О. Дмитрієва // Економічний вісник Дніпровської політехніки. - 2021. - № 1. - С. 115-126.

12. Brettel, M.; Friederichsen, N.; Keller, M.; Rosenberg, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *Int. J. Inf. Commun. Eng.* 2014, 8, 37–44.

13. Занора В. О. Стратегічне управління інноваційними проєктами розвитку підприємства: методологічні положення / В. О. Занора // Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. - 2021. - № 1. - С. 72-85.

14. Wang, S.; Wan, J.; Li, D.; Zhang, C. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 2016, 12, 1–10.

15. Wang, Y.; Ma, H.S.; Yang, J.H.; Wang, K.S. Industry 4.0: A Way from Mass Customization to Mass Personalization Production. *Adv. Manuf.* 2017, 5, 311–320.

16. Завербний А. С. Вплив організаційних структур управління на ефективність використання гнучких методологій управління проєктами при виробництві технологічних продуктів / А. С. Завербний, В. С. Ільницький // *Modern economics.* - 2020. - № 23. - С. 69-73.

17. Azman, N.A.; Ahmad, N. Technological Capability in Industry 4.0: A Literature Review for Small and Medium Manufacturers Challenges. *J. Crit. Rev.* 2020, 7, 1429–1438.

18. Posada, J.; Toro, C.; Barandiaran, I.; Oyarzun, D.; Stricker, D.; De Amicis, R.; Pinto, E.B.; Eisert, P.; Döllner, J.; Vallarino, I. Visual Computing as a Key Enabling

Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. IEEE Comput. Graph. Appl. 2015, 35, 26–40. [Google Scholar] [CrossRef]

19. Морозов В. В. Використання моделі франчайзингу для управління інноваційними проектами на основі ціннісного підходу / В. В. Морозов, А. С. Коломієць, О. В. Кальніченко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. - 2020. - № 1. - С. 56-62.

20. Andersson C., Bellgran M. On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity Journal of Manufacturing Systems., 35 (2015), pp. 144-154.

21 Sivathanu, B.; Pillai, R. Smart HR 4.0—How Industry 4.0 Is Disrupting HR. Hum. Resour. Manag. Int. Dig. 2018, 26, 7–11.

22. Кучер Л. Ю. Аналіз термінологічного підґрунтя розвитку теорії управління інноваційними проектами / Л. Ю. Кучер // Вісник ХНАУ. Серія : Економічні науки. - 2020. - № 4(2). - С. 266-280.

23. Seymour, T.; Hussein, S. The History Of Project Management. Int. J. Manag. Inf. Syst. 2014, 18, 233–240.

24. Shehadeh, M.A.; Schroeder, S.; Richert, A.; Jeschke, S. Hybrid Teams of Industry 4.0: A Work Place Considering Robots as Key Players. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2017, Banff, AB, Canada, 5–8 October 2017; IEEE: Banff, AB, Canada, 30 October 2017; pp. 1208–1213.

25. Шпак Н. О. Вітчизняний та іноземний досвід управління бізнес-проектами підприємств / Н. О. Шпак, Р. З. Будинський // Інфраструктура ринку. - 2020. - Вип. 43. - С. 313-318.

26. Strandhagen, J.W.; Alfnes, E.; Strandhagen, J.O.; Vallandingham, L.R. The Fit of Industry 4.0 Applications in Manufacturing Logistics: A Multiple Case Study. *Adv. Manuf.* 2017, 5, 344–358.

27. Морозов В. В. Використання ціннісного підходу для управління інноваційними проєктами / В. В. Морозов, А. С. Коломієць // Управління розвитком складних систем. - 2021. - Вип. 48. - С. 32-38.

28. Семенчук К. Л. Управління проєктами в ланцюгах постачань / К. Л. Семенчук // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. - 2021. - Вип. 4. - С. 48-67.

29. Рудніченко Є. М. Теоретичні основи управління проєктами з позиції використання сучасних інструментів цифрового проєктного менеджменту / Є. М. Рудніченко, Н. І. Гавловська, Я. М. Сарафинюк, М. О. Кривдик // Український журнал прикладної економіки та техніки. - 2021. - Т. 6, № 3. - С. 72-78.

30. Stock, T.; Seliger, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP* 2016, 40, 536–541.

31. Veile, J.W.; Kiel, D.; Müller, J.M.; Voigt, K.-I. Lessons Learned from Industry 4.0 Implementation in the German Manufacturing Industry. *J. Manuf. Technol. Manag.* 2019, 31, 977–997.

32. Zhou, Y.; Xu, W.; Pan, Y.; Wang, F.; Hu, X.; Lu, Y.; Jiang, M. Deep Eutectic-like Solvents: Promising Green Media for Biomass Treatment and Preparation of Nanomaterials. *BioResources* 2022, 17, 5485–5509.

33. Bressanelli, G.; Perona, M.; Saccani, N. Challenges in Supply Chain Redesign for the Circular Economy: A Literature Review and a Multiple Case Study. *Int. J. Prod. Res.* 2019, 57, 7395–7422.

34. Santos, C.; Mehra, A.; Barros, A.C.; Araújo, M.; Ares, E. Towards Industry 4.0: An Overview of European Strategic Roadmaps. *Procedia Manuf.* 2017, 13, 972–979.

35. Schumacher, A.; Erol, S.; Sihm, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* 2016, 52, 161–166.
36. Erol, S.; Jäger, A.; Hold, P.; Ott, K.; Sihm, W. Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP* 2016, 54, 13–18.
37. Landscheidt, S.; Kans, M. Method for Assessing the Total Cost of Ownership of Industrial Robots. *Procedia CIRP* 2016, 57, 746–751.
38. M. Löfving, K. Säfsten, M. Winroth Manufacturing strategy frameworks suitable for SMEs *Journal of Manufacturing Technology Management.*, 25 (1) (2014), pp. 7-26
39. Лучко Г. Й. Управління проєктами підвищення лояльності споживачів / Г. Й. Лучко // *Бізнес Інформ.* - 2022. - № 8. - С. 173-179.
40. Castelo-Branco, I.; Cruz-Jesus, F.; Oliveira, T. Assessing Industry 4.0 Readiness in Manufacturing: Evidence for the European Union. *Comput. Ind.* 2019, 107, 22–32.
41. Mabkhot, M.M.; Al-Ahmari, A.M.; Salah, B.; Alkhalefah, H. Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective. *Machines* 2018, 6, 23.
42. Akbari, M.; Hopkins, J.L. Digital Technologies as Enablers of Supply Chain Sustainability in an Emerging Economy. *Oper. Manag. Res.* 2022, 15, 689–710.
43. Huxtable, J.; Schaefer, D. On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. *Procedia CIRP* 2016, 52, 46–51.
44. Saniuk, S.; Grabowska, S.; Straka, M. Identification of Social and Economic Expectations: Contextual Reasons for the Transformation Process of Industry 4.0 into the Industry 5.0 Concept. *Sustainability* 2022, 14, 1391.

45. Zhou, J.; Zhou, Y.; Wang, B.; Zang, J. Human–Cyber–Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing. *Engineering* 2019, 5, 624–636.
46. Dhiaf, M.M.; Atayah, O.F.; Nasrallah, N.; Frederico, G.F. Thirteen Years of Operations Management Research (OMR) Journal: A Bibliometric Analysis and Future Research Directions. *Oper. Manag. Res.* 2021, 14, 235–255.
47. Flynn, J.; Dance, S.; Schaefer, D. Industry 4.0 and Its Potential Impact on Employment Demographics in the UK. *Adv. Transdiscipl. Eng.* 2017, 6, 239–244.
48. Swain, M.; Zimon, D.; Singh, R.; Hashmi, M.F.; Rashid, M.; Hakak, S. LoRa-LBO: An Experimental Analysis of LoRa Link Budget Optimization in Custom Build IoT Test Bed for Agriculture 4.0. *Agronomy* 2021, 11, 820.
49. Baghizadeh, K.; Zimon, D.; Jum’ a, L. Modeling and Optimization Sustainable Forest Supply Chain Considering Discount in Transportation System and Supplier Selection under Uncertainty. *Forests* 2021, 12, 964.
50. EUR-Lex—32003H0361—EN Commission Recommendation of 6 May 2003 Concerning the Definition of Micro, Small and Medium-Sized Enterprises. Available online: <http://data.europa.eu/eli/reco/2003/361/oj>.
51. Azevedo, S.G.; Carvalho, H.; Cruz Machado, V. The Influence of Green Practices on Supply Chain Performance: A Case Study Approach. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.* 2011, 47, 850–871.
52. Zhu, Q.; Sarkis, J.; Lai, K. Institutional-Based Antecedents and Performance Outcomes of Internal and External Green Supply Chain Management Practices. *J. Purch. Supply Manag.* 2013, 19, 106–117.
53. Lopes de Sousa Jabbour, A.B.; Jabbour, C.J.C.; Godinho Filho, M.; Roubaud, D. Industry 4.0 and the Circular Economy: A Proposed Research Agenda and Original Roadmap for Sustainable Operations. *Ann. Oper. Res.* 2018, 270, 273–286.

54. Ahmad, S.; Miskon, S.; Alabdan, R.; Tlili, I. Towards Sustainable Textile and Apparel Industry: Exploring the Role of Business Intelligence Systems in the Era of Industry 4.0. *Sustainability* 2020, 12, 2632.

55. Feng, Y.; Audy, J.-F. Forestry 4.0: A Framework for the Forest Supply Chain toward Industry 4.0. *Gestão Produção* 2020, 27, e5677.

56. Dongfang, W.; Ponce, P.; Yu, Z.; Ponce, K.; Tanveer, M. The Future of Industry 4.0 and the Circular Economy in Chinese Supply Chain: In the Era of Post-COVID-19 Pandemic. *Oper. Manag. Res.* 2022, 15, 342–356.

57. Клецов Є. С. Сучасний стан публічного управління проектами у контексті потреб розвитку регіонів України / Є. С. Клецов. // Ефективна економіка. - 2023. - № 2.

58. Концептуальні основи гнучкого управління проектами розроблення та впровадження інформаційних систем [Електронний ресурс] / Р. Р. Білоскурський // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство. - 2022. - Вип. 41. - С. 10-13.

59. Yu, Z.; Razzaq, A.; Rehman, A.; Shah, A.; Jameel, K.; Mor, R.S. Disruption in Global Supply Chain and Socio-Economic Shocks: A Lesson from COVID-19 for Sustainable Production and Consumption. *Oper. Manag. Res.* 2022, 15, 233–248.

60. Masi, D.; Kumar, V.; Garza-Reyes, J.A.; Godsell, J. Towards a More Circular Economy: Exploring the Awareness, Practices, and Barriers from a Focal Firm Perspective. *Prod. Plan. Control* 2018, 29, 539–550.

61. Romero Gázquez, J.L.; Bueno Delgado, M.V.; Ortega Gras, J.J.; Garrido Lova, J.; Gómez Gómez, M.V.; Zbiec, M. Lack of Skills, Knowledge and Competences in Higher Education about Industry 4.0 in the Manufacturing Sector. *Rev. Iberoam. Educ. A Distancia* 2020, 24, 285–313.