

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Аналіз інноваційного концепту "Індустрія 4.0". Стан та перспективи досліджень

Виконав: студент IV курсу, групи СНС-42

спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Сідорчук Е.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пасічник В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Жаровський Р.О.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 23 » червня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Сідорчук Едуард Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз інноваційного концепту "Індустрія 4.0". Стан та перспективи досліджень

Керівник роботи Пасічник В.В., д.т.н., професор кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 16 » березня 2022 року № 4/7-161

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 червня 2022р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про концепт "Індустрія 4.0"

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Опис предметної області «Індустрія 4.0». 1.1 Інноваційна предметна область «Індустрія 4.0». 1.2 Чотири «розумні» виміри Індустрії 4.0. 1.3 «Розумне» виробництво. 1.4 «Розумна» робота. 1.5 «Розумний» ланцюг постачання. 1.6 «Розумні» продукти та послуги. 2 Аналіз інноваційного концепту «Індустрія 4.0». 2.1 Метод аналізу публікацій про Індустрію 4.0. 2.2 Асоціація статей до чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0. 2.3 Аналіз даних розвідки публікацій про Індустрію 4.0. 2.4 Еволюція чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0. 2.5 Висновок до другого розділу. 3. Безпека життєдіяльності, основи хорони праці. Висновки. Перелік джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Титульна сторінка. 2 Тема та мета роботи. 3 Завдання роботи. 4 Актуальність роботи.

5. Індекс зрілості Acattech Industrie 4.0. 6. Еталонна архітектурна модель Індустрії 4.0 – RAMI 4.0. 7. Концептуальна модель цифрової трансформації та чотирьох елементів Індустрії 4.0. 8. Терміни пошукових запитів. 9. Список найпоширеніших ключових слів за інтелектуальним виміром Індустрія 4.0. 10. Еволюція мережі статей з 2011 по 2020 рік. 11. Висновки. 12. Завершальний слайд.

АНОТАЦІЯ

Аналіз інноваційного концепту "Індустрія 4.0". Стан та перспективи досліджень // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Сідорчук Едуард Віталійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНс-42 // Тернопіль, 2022 // С. 46, рис. – 4, табл. – 4, кресл. – 12, бібліогр. – 65.

Ключові слова: Індустрія 4.0, розумне виробництво, розумні продукти та послуги, розумна робота, розумний ланцюг постачання.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу інноваційного концепту «Індустрія 4.0». Мета роботи проведення аналізу поточного стану досліджень інноваційного концепту «Індустрія 4.0» та перспективи подальших досліджень.

В першому розділі кваліфікаційної роботи описана інноваційна предметна область «Індустрія 4.0». Розглянуто чотири «розумні» виміри Індустрії 4.0. Зокрема, описано «розумне» виробництво, «розумна» робота, «розумний» ланцюг постачання і «розумні» продукти та послуги.

В другому розділі кваліфікаційної роботи описано використаний метод аналізу публікацій про Індустрію 4.0. Висвітлено асоціацію статей до чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0. Подано аналіз даних розвідки публікацій про Індустрію 4.0. Описано еволюцію чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0. Зокрема, подано аналіз ключових слів для «розумних» вимірів Індустрії 4.0. Розглянуто перспективи проведення досліджень щодо Індустрії 4.0. Висвітлено перспективи наукових видань досліджувати галузь Індустрія 4.0. Описано можливості практичного прийняття та використання Індустрії 4.0.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи хорони праці» розглянуто психологічні чинники небезпеки. Висвітлено особливості заходів електробезпеки на підприємствах.

ANNOTATION

Analysis of the innovative concept "Industry 4.0". Status and prospects of research // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Sidorchuk Eduard Vitaliiiovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Computer information systems and software engineering faculty, Computer science department, Group SNs-42 // Ternopil, 2022 // P. 46, fig. - 4, tabl. - 4, chair. - 12, ref. - 65.

Keywords: Industry 4.0, smart manufacturing, smart products and services, smart work, smart supply chain.

Qualification work is devoted to the analysis of the innovative concept "Industry 4.0". The purpose of the analysis of the current state of research of the innovative concept "Industry 4.0" and prospects for further research.

The first section of the qualification work describes the innovative subject area "Industry 4.0". Four "smart" dimensions of Industry 4.0 are considered. In particular, "smart" production, "smart" work, "smart" supply chain and "smart" products and services are described.

The second section of the qualification work describes the method used to analyze publications about Industry 4.0. The association of articles to the four "smart" categories of Industry 4.0 is highlighted. An analysis of industry data from industry 4.0 publications is presented. The evolution of the four intelligent dimensions of Industry 4.0 is described. In particular, a keyword analysis for the "smart" dimensions of Industry 4.0 is presented. Prospects for conducting research on Industry 4.0 are considered. Prospects of scientific publications to study the industry 4.0 are highlighted. Possibilities of practical acceptance and use of Industry 4.0 are described.

In the section "Life safety, basics of labor protection" psychological risk factors are considered. Features of electrical safety measures at enterprises are highlighted.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

SM (англ. Smart Manufacturing) – «розумне» виробництво.

SSC (англ. Smart Supply Chain) – «розумний» ланцюг постачання.

SPS (англ. Smart Products and Services) – «розумні» продукти та послуги.

SW (англ. Smart Working) – «розумна» робота.

SRL (англ. Systematic Literature Review) – систематичний огляд літератури

M2M (англ. Machine-to-Machine) – комунікація «машина-машина».

VR (англ. Virtual Reality) – віртуальна реальність.

AR (англ. Augmented Reality) – доповнена реальність.

ШІ – штучний інтелект.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «ІНДУСТРІЯ 4.0» | 8 |
| 1.1 Інноваційна предметна область «Індустрія 4.0» | 8 |
| 1.2 Чотири «розумні» виміри Індустрії 4.0 | 11 |
| 1.3 «Розумне» виробництво | 15 |
| 1.4 «Розумна» робота | 16 |
| 1.5 «Розумний» ланцюг постачання | 18 |
| 1.6 «Розумні» продукти та послуги | 19 |
| 1.7 Висновок до першого розділу | 20 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОГО КОНЦЕПТУ «ІНДУСТРІЯ 4.0» | 21 |
| 2.1 Метод аналізу публікацій про Індустрію 4.0 | 21 |
| 2.1.1 Фільтрація статей на основі машинного навчання | 23 |
| 2.2 Асоціація статей до чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0 ... | 24 |
| 2.3 Аналіз даних розвідки публікацій про Індустрію 4.0 | 26 |
| 2.4 Еволюція чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0 | 28 |
| 2.4.1 Аналіз ключових слів для «розумних» вимірів Індустрії 4.0 | 30 |
| 2.4.2 Перспективи проведення досліджень щодо Індустрії 4.0 | 31 |
| 2.4.3 Перспективи наукових видань досліджувати галузь Індустрія 4.0 | 32 |
| 2.4.4 Можливості практичного прийняття та використання Індустрії 4.0 | 32 |
| | 32 |
| 2.5 Висновок до другого розділу | 33 |
| РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ ... | 34 |
| 3.1 Психологічні чинники небезпеки | 34 |
| 3.2 Особливості заходів електробезпеки на підприємствах | 37 |
| ВИСНОВКИ | 40 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ | 41 |

ВСТУП

Актуальність теми. За останнє десятиліття література експоненціально зросла кількість наукових публікацій про Індустрію 4.0. Опубліковано обширний перелік робіт щодо чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0, зокрема, «розумного» виробництва, «розумних» продуктів та послуг, «розумних» ланцюгів постачання та «розумної» роботи. Наукова література в основному присвячена вивченню «розумного» виробництва, хоча останнім часом увага до інших «розумних» вимірів зростає. Тому доцільно проаналізували ключові слова та основні журнали, які публікуються за цими чотирма розумними вимірами.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є аналіз поточного стану інноваційного концепту «Індустрія 4.0» та перспективи подальших досліджень. Для досягнення поставленої мети потрібно:

- Проаналізувати поточний стан досліджень інноваційного технологічного концепту «Індустрія 4.0».
- Сформувати перелік «розумних» вимірів Індустрії 4.0 та подати їх описи.
- Виконати пошук та категоризацію наукових публікацій відповідно до переліку «розумних» вимірів Індустрії 4.0.
- Проаналізувати даних щодо розвідки публікацій про Індустрію 4.0.

Практичне значення одержаних результатів. На основі розлогого аналізу обширного числа наукових публікацій про Індустрію 4.0 сформовано перелік з чотирьох «розумних» вимірів Індустрії 4.0 та подано їх характеристики. Здійснено пошук та категоризацію наукових публікацій відповідно до сформованого переліку «розумних» вимірів Індустрії 4.0. Результати подано в табличній формі. Проведено аналіз ключових слів для «розумних» вимірів Індустрії 4.0.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «ІНДУСТРІЯ 4.0»

1.1 Інноваційна предметна область «Індустрія 4.0»

З того часу, як в 2011 році в сучасній науковій літературі було запроваджено термін «Індустрія 4.0» [1], публікується зростаюча кількість відомостей щодо досліджень різних напрямків цієї концепції [2]. Зазвичай в науковій літературі особлива увага приділяється цифровій трансформації галузей та підприємств до рівня «Індустрія 4.0» [3]. Процес цифрової трансформації підтримується впровадженням чотирьох базових технологій:

- Інтернету речей (IoT);
- хмарних обчислень;
- великих даних;
- штучного інтелекту [4].

Ці базові технології підтримують застосування декількох передніх інформаційних технологій, зокрема:

- системи проектування продуктів;
- моделювання;
- доповнену та віртуальну реальність;
- адитивне виробництво;
- передову робототехніку [3].

Хоча Індустрія 4.0 започаткована як платформа промислової політики [5], наукова література розглядає інформаційні технології, які можна практично реалізувати на основі моделей зрілості [6] та створювати різні інформаційні рішення та застосунки [7]. Тому індустрія 4.0 на даний час вважається новим етапом розвитку виробничих компаній, в якому поєднання передових технологій, що забезпечується Інтернетом речей, хмарними обчисленнями, великими даними та ШІ, дозволяє створювати кіберфізичні системи, забезпечуючи при цьому взаємопов'язаний рівень компаній з глибше

інтегрованими процесами [7]. Використання інформаційних технологій, пов'язаних з Індустрією 4.0, може мати різні цілі, наприклад:

- підвищення ефективності виробництва;
- підвищення продуктивності;
- підвищення якості;
- підвищення оперативної гнучкості;
- інтеграція виробничої системи з клієнтами та ланцюгами постачання;
- сприяння безпеці працівників та стабільності експлуатації [8].

Таким чином, Індустрія 4.0 містить стек технологій під управлінням ІоТ, які можуть бути організовані в різні інформаційно-технологічні рішення відповідно до поставлених виробничих цілей [9].

Наукова література про Індустрію 4.0 здебільшого зосереджена на змінах у виробничих системах для створення кібер-фізичних систем [10]. Такий потік досліджень визнав «розумне» виробництво як ядро Індустрії 4.0 [11]. Однак у міру розвитку присвячених Індустрії 4.0 досліджень з'явилися та інтегрувалися нові виміри, пов'язані з виробничою діяльністю, особливо з огляду на більші корпоративні системи. Нові дисципліни привернули увагу до цього питання, зокрема:

- розробка продуктів [12];
- послуги [13];
- ергономіка [14];
- ланцюги постачання [15].

Нові галузі вивчення та застосування цифрових технологій у сфері Індустрія 4.0 були узагальнені Франком [4] у тому, що вони назвали «модель «Чотири «розумні» індустрії 4.0», яка описує інтеграцію чотирьох вимірів:

- «розумне» виробництво;
- «розумні» продукти та послуги;
- «розумний» ланцюг постачання;
- «розумна» робота.

У цьому контексті Індустрія 4.0 надає широку перспективу, яка об'єднує декілька доменів у виробничій системі. «Розумне» виробництво все ще є загальноновизнаним коренем Індустрії 4.0. Однак нові галузі досліджень дають змогу зрозуміти потенціал рішень на основі IoT для підприємств і цілих систем ланцюга створення доданої вартості [11].

Хоча в Індустрії 4.0 формуються нові сфери застосування, що охоплюють межі нових дослідницьких напрямів, в науковій літературі виникло декілька задач, як це зазвичай буває у багатодисциплінарних темах. По-перше, концепція досліджувалася в межах різних дослідницьких галузей, що призвело до розробки колекцій знань, які необхідно краще інтегрувати [2]. Це області, які розглядають Індустрії 4.0 через дуже різні призми [1], зокрема:

- операційний менеджмент;
- управління технологіями;
- інформаційні системи;
- інноваційний менеджмент;
- промислова політика.

Це також може призвести до невирішених взаємодій між темами і, як наслідок, до суттєвих прогалин у наукових дослідженнях. Це створює фрагментарний, а іноді і непов'язаний погляд на Індустрію 4.0. Наприклад: для однієї концепції пропонуються різні терміни, інформаційні технології та сфери застосування [2]. Тому, оскільки концепція Індустрія 4.0 завершує десятиліття існування, з 2011 року по 2021, надзвичайно важливо шукати чітке розуміння її еволюції та майбутніх шляхів, щоб керувати майбутніми дослідницькими зусиллями в різних дисциплінарних напрямках, які досліджують її потенціал. Тому доцільно використати чотири «розумні» точки зору, які розглядають взаємозв'язок між «розумним» виробництвом, «розумним» ланцюгом постачання, «розумними» продуктами та послугами і «розумною» роботою [4], щоб проаналізувати різні потоки, пов'язані з концепцією Індустрія 4.0 та сформулювати картину еволюції досліджень та існуючих прогалин.

1.2 Чотири «розумні» виміри Індустрії 4.0

З того часу, як Інтернет був популяризований наприкінці 20-го століття, інформаційна революція вражаюче поширилася на нову технологічну епоху – так звану «цифрову епоху» [16]. Цифрова трансформація була однією з ключових проблем у промислово розвинених країнах [16]. У цьому контексті концепція «Індустрія 4.0» була розроблена у 2011 році німецькою державно-приватною ініціативою, щоб визнати промислові виклики та запропонувати стратегічну програму розвитку передових виробничих систем для німецьких компаній [17]. Відтепер ця концепція поширилася по всьому світу, хоча деякі країни використовують різні назви та роблять різний акцент на своїй промисловій політиці [2].

Для опису Індустрії 4.0 та її застосування було запропоновано декілька моделей. Більшість із них мають зрілий погляд на еволюцію інформаційних технологій, що описує, як має відбуватися їх впровадження. Що стосується галузі в цілому, можна знайти декілька моделей, наприклад:

– «Індекс зрілості Acatech Industrie 4.0» (див. рисунок 1.1), створений Німецькою національною академією наук та інженерії [8].

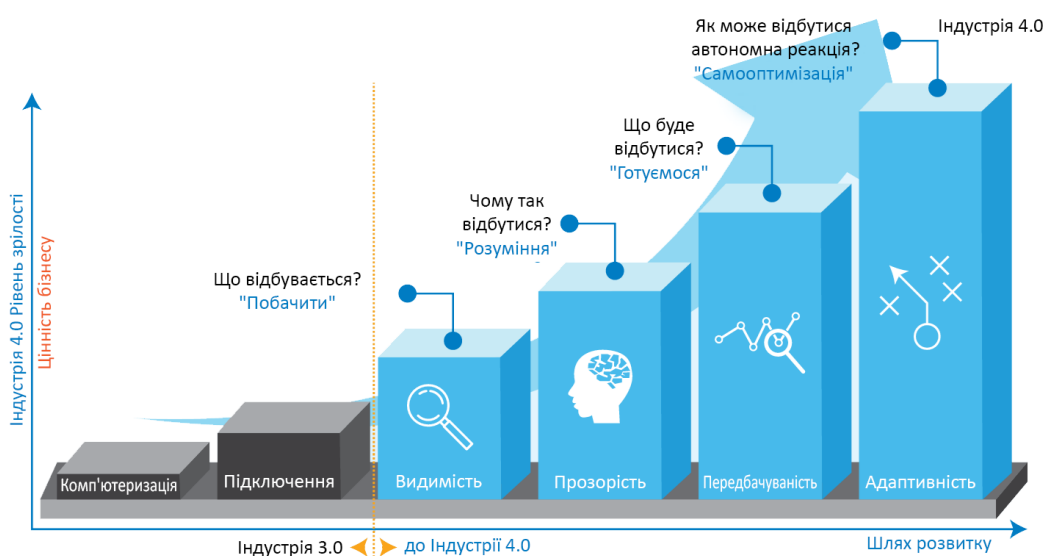


Рисунок 1.1 – Індекс зрілості Acatech Industrie 4.0

– «Еталонну архітектурну модель Індустрії 4.0» – RAMІ 4.0 (див. рисунок 1.1), створену «Platform Industrie 4.0» [18].



Рисунок 1.2 – Еталонна архітектурна модель Індустрії 4.0 – RAMІ 4.0

Академічною спільнотою були запропоновані моделі для опису реалізації цієї концепції, зокрема:

- моделі для малих і середніх підприємств [6];
- моделі для оцінки готовності до Індустрії 4.0 [19];
- моделі дорожньої карти цифрових технологій [20].

У науковій літературі модель, запропонована [4] (див. рисунок 1.3) згадується найчастіше. Ця модель розрізняє базові та фронтальні технології Індустрії 4.0, що забезпечує більш чітке розуміння технологій, що сприяють

загальним цілям, і тих, які орієнтовані на конкретну діяльність у виробничій системі. Крім того, ця модель відкриває ширший погляд на Індустрію 4.0, за межі виробничої системи.

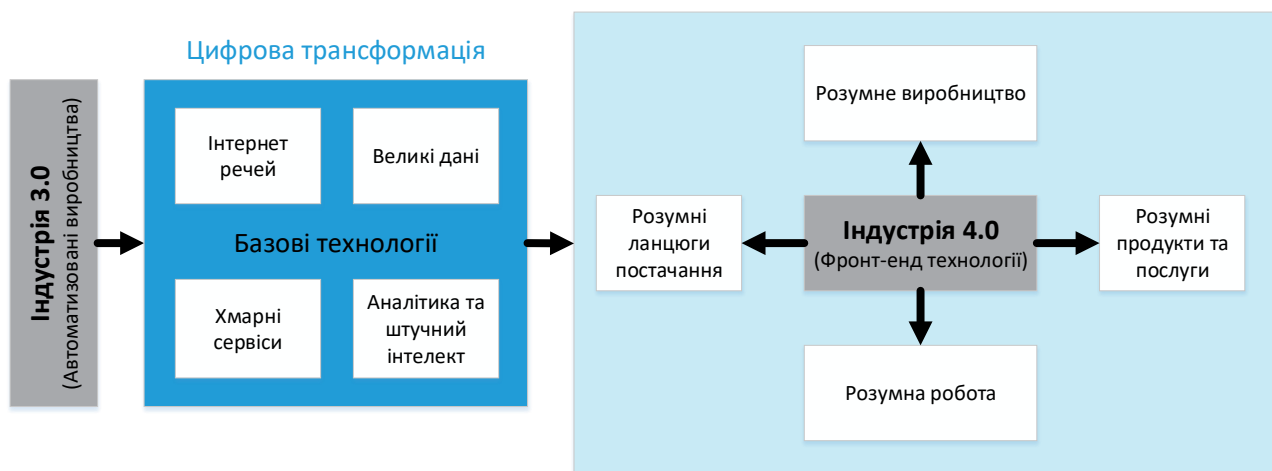


Рисунок 1.3 – Концептуальна модель цифрової трансформації та чотирьох елементів Індустрії 4.0. Адаптовано з [4].

Автор [4] запропонував різні виміри ступеня застосування технології Індустрії 4.0. Всі вони пов'язані з виробничою системою – ядром промислової діяльності. Цю модель обрано, оскільки різні виміри, які вона описує, можуть допомогти досліджувати різні напрямки в науковій літературі. Наприклад, [4] демонструють, що «розумні» ланцюги постачання та «розумні» продукти та послуги є частиною індустрії 4.0. Такий, ширший погляд дозволяє розглянути літературу з ланцюга поставок та розробки продуктів, яка присвячена цій темі.

Водночас більшість інших моделей стурбовані тим, коли кожен рівень Індустрії 4.0 має бути реалізований. Модель [4] наголошує на тому, що слід проводити аналіз досліджень з точки зору технологій і практик у різних вимірах. Запропонована цими авторами модель має емпіричну основу. Автори вивчили різні застосування Індустрії 4.0, а потім проаналізували та об'єднали технології, які використовуються в компаніях для впровадження концепцій Індустрії 4.0. Як показано на рис. 1.3, технології Індустрії 4.0 можна організувати на двох основних рівнях:

- базовий технологічний рівень
- технологічний рівень інтерфейсу.

Базові технології сприяють цифровій трансформації в кожному вимірі підприємства та відрізняють, що таке Індустрія 4.0 щодо попередніх етапів промислового розвитку. Базові інформаційні технології:

- Інтернет речей;
- хмарні обчислення;
- великі дані та аналітика.

Інші опубліковані роботи [21] схвалили подібні точки зору щодо основних технологій Індустрії 4.0. Базові інформаційні технології підтримують перетворення звичайного підприємства – де різні виміри не інтегровані у «розумне» підприємство, а оптимально взаємопов'язані на рівні Індустрії 4.0.

Інтерфейс (див. рис. 1.3) включає інформаційні технології «розумного» підприємства для конкретних цілей. Внутрішні виміри розглядають потоки вартості, зосереджені на промисловій діяльності компанії, зокрема:

- виробничі процеси – «розумне» виробництво (англ. «Smart Manufacturing»);
- працівників – «розумні» працівники (англ. «Smart Working»).

Зовнішні виміри розглядають потоки створення вартості, які інтегрують процеси компанії із зовнішнім середовищем:

- ланцюжок постачання – «розумний» ланцюжок постачання (англ. «Smart Supply Chain»);
- клієнтів – «розумні» продукти та послуги (англ. «Smart Products and Services»).

Зазначені чотири «розумні» виміри охоплюють весь потенціал застосування інформаційних технологій Індустрія 4.0, оскільки вони охоплюють основні аспекти, представлені попередніми фреймворками [22]. Розглянемо теоретичні основи для кожного з зазначених вимірів і використовуємо їх як основу для проведення аналізу літературних джерел.

1.3 «Розумне» виробництво

Перший внутрішній вимір (див. рис. 1.3), Smart Manufacturing (SM), був пов'язаний з концепцією Індустрія 4.0 з самого початку [17]. Багато досліджень розглядали їх як синоніми. Однак, оскільки Індустрія 4.0 описує ширшу перспективу компанії та галузі, «розумне» виробництво є основним виміром, але не єдиним. Офіційне визначення дає [23]: *«Розумне виробництво об'єднує виробничі активи з давачами, обчислювальними платформами, комунікаційними технологіями, моделюванням із інтенсивним використанням даних, управлінням, моделюванням та прогнозуною інженерією. Розумне виробництво використовує концепції кібер-фізичних систем, Інтернету речей, хмарних обчислень, сервісно-орієнтованих обчислень, штучного інтелекту та науки про дані»*. Згідно цього визначення, «розумне» виробництво включає використання базових технологій Індустрії 4.0:

- Інтернет речей;
- хмарні обчислення та сервіси;
- великі дані;
- штучний інтелект

Зазначені інформаційні технології задіяні у виробничих цехах для інтеграції кібер-фізичних виробничих систем [24], «розумного» планування виробництва та контролю [11]. Частиною виміру «розумного» виробництва [3] є технології Індустрії 4.0:

- комунікації «машина-машина» (M2M);
- вертикальна інтеграція інформаційних систем;
- інноваційна робототехніка [25];
- інтегрована робототехніка.

Зазначені інформаційні технології також підтримують процес планування та контролю виробництва з використанням штучного інтелекту та отриманих в режимі реального часу даних для кращої організації виробничої діяльності [11]. «Розумне» виробництво також розглядає інтелектуальне обслуговування на

основі штучного інтелекту, щоб передбачити потенційні збої та прогнозувати планові зупинки обладнання [26].

Крім розгляду технологій, які використовуються для виробництва продукції, «Розумне» виробництво також інтегрує технології для інших видів діяльності у виробничому процесі. Передові технології для кращого управління споживанням енергії також є важливим аспектом «розумного» виробництва [23]. Таким чином, «розумне» виробництво розглядає наскрізний інженерний принцип Індустрії 4.0, коли інженерне проектування інтегровано з виробничою системою, щоб функціонувати як єдиний механізм у виробничій системі [3].

1.4 «Розумна» робота

Другий внутрішній вимір – «розумна» робота розглядає спосіб використання технологій для підтримки працівників у діяльності компанії (див. рис. 1.3). У ньому визнається, що працівники відіграють важливу стратегічну роль у виробничій діяльності підприємств і що їх слід покращувати, а не замінювати [27]. Нещодавно виникало доволі багато дискусій щодо ролі людини в контексті Індустрії 4.0, і деякі опубліковані результати досліджень запропонували новий профіль працівника під назвою «Оператор 4.0» або «Розумний оператор» [28]. Хоча ряд досліджень вказують на те, що автономні машини можуть замінити оперативну діяльність з низькою доданою вартістю, найбільший потенціал Індустрії 4.0 полягає в тому, щоб надавати підтримку працівникам, зокрема, операторам та іншим ієрархічним рівням, для ефективнішого та осмисленішого виконання роботи. Така робота базується на когнітивній здатності людини додавати вартість виробничій системі [29]. Тому «розумна» робота розглядає, як отримати найкраще від потенціалу працівників, використовуючи передові технології для:

- підтримки процесів прийняття рішень [30];
- керувати знаннями [31];

- сприяння креативності та дизайну [29];
- підвищення безпеки та задоволеності працівників [32].

Слідом за [4], розглянемо суть терміну «розумна робота», як гнучку та віддалену операційну діяльність, яку виконують «розумні» оператори, що включає ширше коло працівників, зокрема, менеджерів, інженерів та керівників, які виконують когнітивну діяльність виробничих процесів.

У наукових публікаціях [4] розглянуто різні технології для покращення та розширення можливостей працівників. Віртуальна реальність (VR) дозволяє безпечно та дистанційно використовувати небезпечне обладнання та покращувати вивчення процедур, а доповнена реальність (AR) доповнює робоче місце відповідною інформацією, корисною для виконання завдань [30]. Штучний інтелект (ШІ) дозволяє менеджерам швидко й ефективно аналізувати набори даних для підтримки прийняття рішень у режимі реального часу, що застосовуються до прогнозного технічного обслуговування та планування виробництва [33]. Розумні окуляри можуть допомогти працівникам швидко приймати рішення щодо обслуговування та контролю якості [34]. Трекери та біосенсори, можуть дозволити інтегрувати пов'язані з людиною дані, щоб краще зрозуміти:

- як люди ефективно працюють;
- як вони рухаються;
- як використовують інструменти та ресурси [35].

Що стосується ергономіки та фізичних зусиль, то «розумні» екзоскелети використовують алгоритми, які автоматично пристосовують ці пристрої до руху людського тіла, дозволяючи працівникам справлятися з великими навантаженнями [36]. Спільні роботи («Cobots») – це потужні пристрої, які можуть активно співпрацювати з операторами під час виконання конкретних завдань [33]. Усе це приклади технологій, що використовуються в контексті Індустрії 4.0 та мають визначний вплив на те, як люди виконують роботу та на необхідні можливості [37].

1.5 «Розумний» ланцюг постачання

Першим зовнішнім виміром Індустрії 4.0 є «розумний» ланцюг постачання (SSC, див. рис. 1.3). Ця концепція об'єднує попередні визначення, «ланцюг постачання 4.0» [38], «цифровий ланцюг постачання» [39] і «логістика 4.0» [40]. SSC розглядає підтримку базових технологій Індустрії 4.0 для покращення інформаційних потоків ланцюга постачання [4]. Завдяки «розумному» підключенню та сховищу даних з'являються нові можливості, якими в режимі реального часу обмінюються різні зацікавлені сторони в ланцюжку постачання [38]. Індустрія 4.0 запроваджує технологічні зміни, які допомагають покращити видимість та прозорість ланцюга постачання, дозволяючи комплексно керувати ризиками зривів процесів постачання шляхом відображення ланцюга поставок «від початку до кінця» [41]. Для контролю цілісності застосовуються технології:

- «розумні» давачі;
- аналітика великих даних;
- децентралізований контроль;
- керування агентами.

Вони можуть забезпечити правильні продукти в потрібний час, місце, кількість та стан, а також за правильне оцінювання вздовж ланцюга постачання [42]. На рівні фізичної логістики SSC використовує обслуговування «розумних» складів за допомогою автономних роботів і транспортних засобів, а також системи відстеження та прийняття рішень для контролю запасів [40]. Це також передбачає «розумну» обробку сировини – вхід на виробничу лінію та вироблену продукцію в цеху. Таке поводження може бути підтримане використанням роботизованих технологій зондування, включаючи автоматичні транспортні засоби з керуванням (AGV) і автономні мобільні роботи (AMR) [4]. SSC розглядає оцифровку операційних процесів ланцюга поставок, в основному за допомогою двох різних підходів: платформний краудсорсинг стандартних процесів і надання індивідуальних послуг на вимогу [43].

1.6 «Розумні» продукти та послуги

«Розумні» продукти та послуги (SPS), другий зовнішній вимір платформи Індустрія 4.0 (див. рис. 1.3), містить два види положень, які можна відокремити. Але зазвичай вони інтегруються в комплексне рішення. «Розумні» продукти – це артефакти, які, окрім фізичних компонентів, підтримуються базовими технологіями Індустрії 4.0, зокрема:

- IoT [44];
- хмарними послугами [45];
- аналітикою великих даних [46];
- штучним інтелектом.

Зазначені артефакти використовуються для:

- збору;
- моніторингу;
- контролю;
- оптимізації даних зібраних від користувачів [47].

«Розумні» послуги, у свою чергу, розглядають фірми, які використовують цифрові технології, щоб пропонувати своїм користувачам якісні послуги, зокрема це:

- хмарні послуги;
- дистанційна допомога та моніторинг;
- також віртуальна присутність на основі штучного інтелекту [48].

Ці послуги можуть пропонуватися як незалежні послуги для підтримки клієнтів у використанні ними продуктів, або сам продукт може пропонуватися як послуга в системі оплати за використання [49].

Виробничі компанії стають свідками швидко зростаючого процесу сервітизації, що означає включення надання послуг як частини виробничої бізнес-моделі [50]. Автори дослідження [13] пояснили зв'язок між сервітизацією та Індустрією 4.0 як двома різними галузевими потоками, які можуть зближуватися та створювати синергію.

1.7 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи описана інноваційна предметна область «Індустрія 4.0». Розглянуто чотири «розумні» виміри Індустрії 4.0. Зокрема, описано «розумне» виробництво, «розумна» робота, «розумний» ланцюг постачання і «розумні» продукти та послуги.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОГО КОНЦЕПТУ «ІНДУСТРІЯ 4.0»

2.1 Метод аналізу публікацій про Індустрію 4.0

В кваліфікаційній роботі освітнього рівня «Бакалавр» поставлено за мету проаналізувати еволюцію чотирьох «розумних» вимірів Індустрії 4.0. При цьому доцільно:

- сформулювати уявлення, як розвиваються інтерфейси між цими концепціями;
- визначити теми дослідження на ранніх етапах;
- сформулювати профіль наукових журналів, які досліджують зазначену тему, особливо тих, які розглядають цілісний погляд на Індустрію 4.0 як прояв інтеграції чотирьох розумність.

Тому проведемо систематичний огляд літератури (SRL) з подальшим розлогим аналізом робіт.

Щоб забезпечити вичерпний опис досліджуваного концепту Індустрія 4.0, проведемо аналіз наукових публікацій з широкого кола джерел. Для того, щоб такий аналіз був ефективним, потрібен структуроване та підготовлене високоякісне джерело бібліометричних даних. Тому скористаємось наукометричною базою даних Scopus (Elsevier) [51]. Індексцію в ній вважатимемо надійним джерелом бібліометричної інформації [10]. Scopus пропонує інтерфейс прикладного програмування (API) для дослідників, що забезпечує ефективний автоматизований пошук і пошук статей.

Для визначення релевантності публікацій, визначимо пошукові терміни, які вказують на те, чи був вміст статті пов'язаний із Індустрією 4.0 загалом чи з будь-яким із чотирьох «розумних» вимірів окремо. Тому виділимо потенційні пошукові терміни зі статей, включених до опису предметної області та поданого в попередньому розділі. Сформований перелік пошукових термінів англійською мовою подано в таблиці 2.1 [52].

Таблиця 2.1 – Початковий перелік термінів пошукових запитів

| Категорія | Терміни пошукових запитів |
|-------------------------------|---|
| Індустрія 4.0 | «industry 4.0» OR «industrie 4.0» OR «industrial internet» OR «industrial internet of things» OR «IIoT» OR «industrial IoT» OR «fourth industrial revolution» OR «4th industrial revolution» |
| «Розумне» виробництво | «smart factory» OR «digital factory» OR «intelligent factory» OR «smart manufacturing» OR «digital manufacturing» OR «digitalized manufacturing» OR «intelligent manufacturing» OR «advanced manufacturing» OR «cyber manufacturing» OR «factory 4.0» OR «cyber physical production system» OR «cyber physical manufacturing» OR «factory of the future» OR «factories of the future» OR «cloud based manufacturing» OR «cloud manufacturing» |
| «Розумні» продукти та послуги | «smart product» OR «smart connected products» OR «smart PSS» OR «smart product service» OR «servitization» OR «product service system» |
| «Розумний» ланцюг постачання | «smart logistics» OR «smart supply chain» OR «intelligent logistics» OR «intelligent supply chain» OR «digital supply chain» OR «digital value chain» OR «logistics 4.0» OR «supply chain 4.0» |
| «Розумна» робота | «work 4.0» OR «operator 4.0» OR «cyber physical human system» OR «human cyber physical system» OR «human centric manufacturing» OR «human machine collaboration» |

Скористаємось веб-інтерфейсом Scopus, щоб перевірити релевантність пошукових термінів. Перевіримо, чи привели пошукові терміни до вибірки релевантних статей без великої кількості непов'язаних статей. З цих результатів виділимо додаткові потенційні ключові слова та перевіримо їх релевантність. Було запущено початковий пошуковий запит, щоб оцінити надійність отримуваних результатів та відкоригувати ключові слова. На наступному етапі було виконано остаточні коригування.

Результати обмежуються документами типу «стаття», опублікованими з 2011 року, коли було запроваджено термін «Індустрія 4.0» [1]. В результаті пошуку, без урахування дублікатів, було знайдено понад вісімнадцять тисяч публікацій. Серед них було виключено понад десять тисяч публікацій матеріалів конференцій і розділів монографій. На цьому етапі для подальшої обробки було отримано майже вісім тисяч п'ятсот статей.

2.1.1 Фільтрація статей на основі машинного навчання

Подані вище пошукові терміни були визначені таким чином, щоб вони охоплювали якомога більше релевантних статей. Однак деякі з цих пошукових термінів також зустрічаються в статтях, які не мають безпосереднього відношення до нашого дослідження в галузі Індустрія 4.0. Декілька статей присвячені окремому технічному аспекту. Однак вони не пов'язують свою роботу з ширшим рівнем будь-якого з чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0. Крім того, деякі статті посилаються на одне з ключових слів, але насправді зосереджені на іншій темі. Було виключено ці статті, оскільки вони не дають уявлення про еволюцію концепції Індустрії 4.0 в академічній літературі [52].

Маючи понад вісімнадцять тисяч результатів пошуку та понад вісім тисяч потенційно релевантних статей після видалення статей, які не є журнальними, і відкликаних статей, ручна перевірка релевантності кожної статті буде дуже ресурсомісткою [52], а відтворення та оновлення набору даних навряд чи буде можливим. Тому доцільно використати алгоритми на основі машинного навчання для класифікації статей та виключення нерелевантних статей.

Для завдання класифікації потрібно перетворити неструктурований текст у структуровані дані. Останні підходи до обробки природної мови використовують вбудовування тексту, де текст представлений у вигляді багатовимірних векторів, що представляють його значення [53]. Ці вбудовування створюються за допомогою нейронних мереж, які вивчають значення слів шляхом обробки великих корпусів тексту [54], наприклад, навчили свою широко використовувану модель на понад 630 мільйонах слів

тексту. Отримані векторні представлення дозволяють обчислювати значення слів. Використання нейронних мереж у поєднанні з вбудовуванням слів показало кращі результати ніж альтернативні підходи до класифікації тексту [55]. Використаємо підхід на основі бібліотеки «SpaCy®» [56] для вбудовування слів і класифікації тексту. Вона забезпечує високопродуктивний алгоритм у поєднанні з високою швидкістю обробки. Модель представляє значення слів як трьохсот-вимірні вектори слів. Категоризатор тексту «SpaCy» використовує вектори слів як вхідні дані для навчання своєї згорткової нейронної мережі для категоризації тексту. На основі даних, анотованих вручну, нейронна мережа вчиться призначати відповідні мітки текстам, у даному випадку релевантній чи нерелевантній статті [52].

2.2 Асоціація статей до чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0

Щоб оцінити еволюцію досліджень, пов'язаних із чотирма «розумними» категоріями Індустрії 4.0, позначимо пов'язані розумні можливості для кожної статті. Спочатку пов'яжемо статті зі «smarts» на основі результатів пошукового запиту, поданого в таблиці 2.1. Наприклад, статті, отримані в результаті запиту «розумного» виробництва, з ключовими словами «цифровий завод», були позначені тегом «розумне виробництво» [52]. На другому етапі було створено додаткові асоціації на основі опису та метаданих кожної статті. Деякі пошукові терміни чітко вказували на зв'язок з SW, але не кваліфікувалися як пошуковий термін для початкового запиту. Оскільки вони також зазвичай використовуються в інших областях, це призведе до великої кількості невідповідних результатів пошуку. Було проведено пошук таких термінів у заголовку, анотації та ключових словах. Наприклад, «людинно-машинний інтерфейс» є пошуковим терміном, релевантним для розумної роботи, але він також використовується в кількох інших контекстах на кшталт «комп'ютерні ігри» або «нейронаука». В таблиці 2.2 підсумовано ці терміни [52].

Таблиця 2.2 – Відкорегований перелік термінів пошукових запитів

| Категорія | Терміни пошукових запитів |
|-------------------------------|---|
| «Розумне» виробництво | «Production» OR («manufacturing» AND NOT «manufacturing firm» OR «manufacturing industry» OR manufacturing enterprise) OR («manufacture» AND NOT «manufacturer» OR «factory») |
| «Розумні» продукти та послуги | «products» OR («services» AND NOT «manufacturing service» OR «business service» OR «knowledge service» OR «micro service» OR «microservice» OR «pss») |
| «Розумний» ланцюг постачання | «Logistics» OR «supply chain» OR «value chain» |
| Розумна робота | <i>In title, abstract or keyword:</i> «human machine interaction» OR «human machine interface» OR «human computer interaction» OR «human centric» OR «smart work*» <i>Only in keywords:</i> «workplace» OR «work place» OR «work area» OR («work design» AND NOT «network design») OR «worker» OR («human» AND NOT «humanitarian») OR «employee» OR «assisted work» OR «work environment» |

Крім того, були визначили пошукові терміни, які можуть вказувати на зв'язок з однією з «розумних» категорій, але також можуть з'являтися в рефератах, які їх не стосуються, наприклад, термін «робоче місце». Повний список цих термінів див. у таблиці 2.3 [52].

Таблиця 2.3 – Список найпоширеніших ключових слів за інтелектуальним виміром Індустрія 4.0, відносна важливість. Частка ключових слів «розумний»

| Ключове слово | К-сть | SM | SSC | SPS | SW |
|----------------------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Інтернет речей (ІоТ) | 475 | 62% (1.0) | 15% (1.8) | 18% (0.8) | 6% (0.8) |
| Кіберфізичні системи | 374 | 77% (1.2) | 6% (0.8) | 10% (0.4) | 8% (1.0) |

Продовження таблиці 2.3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Великі дані | 152 | 73% (1.2) | 15% (1.9) | 8% (0.4) | 4% (0.5) |
| Хмарні обчислення | 147 | 79% (1.3) | 7% (0.9) | 10% (0.5) | 3% (0.5) |
| Сталість | 125 | 34% (0.6) | 11% (1.4) | 53% (2.4) | 2% (0.2) |
| Адитивне виробництво | 115 | 88% (1.4) | 9% (1.1) | 3% (0.1) | 1% (0.1) |
| Цифровий близнюк | 110 | 85% (1.4) | 1% (0.1) | 10% (0.5) | 4% (0.5) |
| Моделювання | 102 | 74%(1.2) | 12% (1.5) | 10% (0.4) | 5% (0.7) |
| Штучний інтелект (AI) | 86 | 66% (1.1) | 9% (1.2) | 6% (0.3) | 19% (2.5) |
| Кругова економіка | 85 | 19% (0.3) | 8% (1.0) | 71% (3.2) | 1% (0.2) |
| Машинне навчання | 77 | 75% (1.2) | 4% (0.5) | 10% (0.5) | 10% (1.4) |
| Онтологія | 72 | 75% (1.2) | 6% (0.7) | 17% (0.7) | 3% (0.4) |
| Бізнес-модель | 70 | 21% (0.3) | 7% (0.9) | 69% (3.1) | 3% (0.4) |
| Радіочастотний ідентифікатор. (RFID) | 69 | 49% (0.8) | 33% (4.1) | 10% (0.5) | 7% (1.0) |
| Інновації | 67 | 46% (0.7) | 15% (1.9) | 31% (1.4) | 7% (1.0) |

Пошук лише за ключовими словами гарантує, що стаття справді зосереджена на темі, наприклад, на робочому місці.

2.3 Аналіз даних розвідки публікацій про Індустрію 4.0

Проведено три типи аналізу, щоб вивчити область дослідження. Список найпоширеніших журналів за інтелектуальним виміром Індустрія 4.0 [52] подано в таблиці 2.4. Відсоткові значення вказують на частку кожного ключового слова, пов'язаного з кожним терміном. Значення в дужках вказують на відносну важливість кожного ключового слова для кожного терміну «smart»(розумний). Відсоткові значення можуть становити більше 100%, оскільки кожна стаття може бути пов'язана з декількома термінами «розумний».

Таблиця 2.4 – Список найпоширеніших журналів за інтелектуальним виміром Індустрія 4.0. Частка ключових слів «розумний»

| Кат. | Назва | К-сть | SM | SSC | SPS | SW |
|------|--|-------|------|-----|------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| OM | Int. J. of Production Research | 157 | 68% | 17% | 29% | 5% |
| OM | Int. J. of Computer Integrated Manufacturing | 97 | 93% | 4% | 13% | 5% |
| OM | Computers in Industry | 77 | 68% | 12% | 25% | 6% |
| OM | Computers and Industrial Engineering | 66 | 71% | 8% | 18% | 20% |
| OM | Int. J. of Production Economics | 60 | 48% | 17% | 55% | 2% |
| OM | Production Planning and Control | 36 | 50% | 28% | 58% | 0% |
| OM | Int. J. of Operations and Prod. Management | 33 | 24% | 12% | 85% | 0% |
| OM | Industrial Management and Data Systems | 14 | 79% | 7% | 29% | 0% |
| OM | Expert Systems with Applications | 10 | 30% | 30% | 60% | 0% |
| BM | Journal of Cleaner Production | 122 | 25% | 5% | 80% | 0% |
| BM | Industrial Marketing Management | 31 | 3% | 0% | 100% | 0% |
| BM | Enterprise Information Systems | 27 | 100% | 0% | 0% | 4% |
| BM | Journal of Business Research | 20 | 5% | 0% | 100% | 0% |
| BM | Technological Forecasting and Social Change | 19 | 68% | 21% | 21% | 5% |
| BM | Journal of Business and Industrial Marketing | 18 | 11% | 11% | 94% | 6% |
| BM | Research Technology Management | 16 | 13% | 13% | 88% | 0% |
| BM | Business Process Management Journal | 12 | 17% | 42% | 42% | 0% |

Категорія журналу OM – операційний менеджмент, BM – бізнес менеджмент. Було переглянуто статті, щоб виявити перекриття досліджень у чотирьох «розумних» категоріях на загальному рівні. Також було розглянуто рівень ключових слів для вивчення тем дослідження щодо Індустрії 4.0, пов'язаних з кожною з чотирьох «розумних» концепцій. Розглянуто рівень журналу, щоб визначити найбільш релевантні журнали для Індустрії 4.0 та кожної з «розумних» концепцій [57].

2.4 Еволюція чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0

На рисунку 2.1 подано еволюцію досліджень у кожному з вимірів Індустрії 4.0 [52].

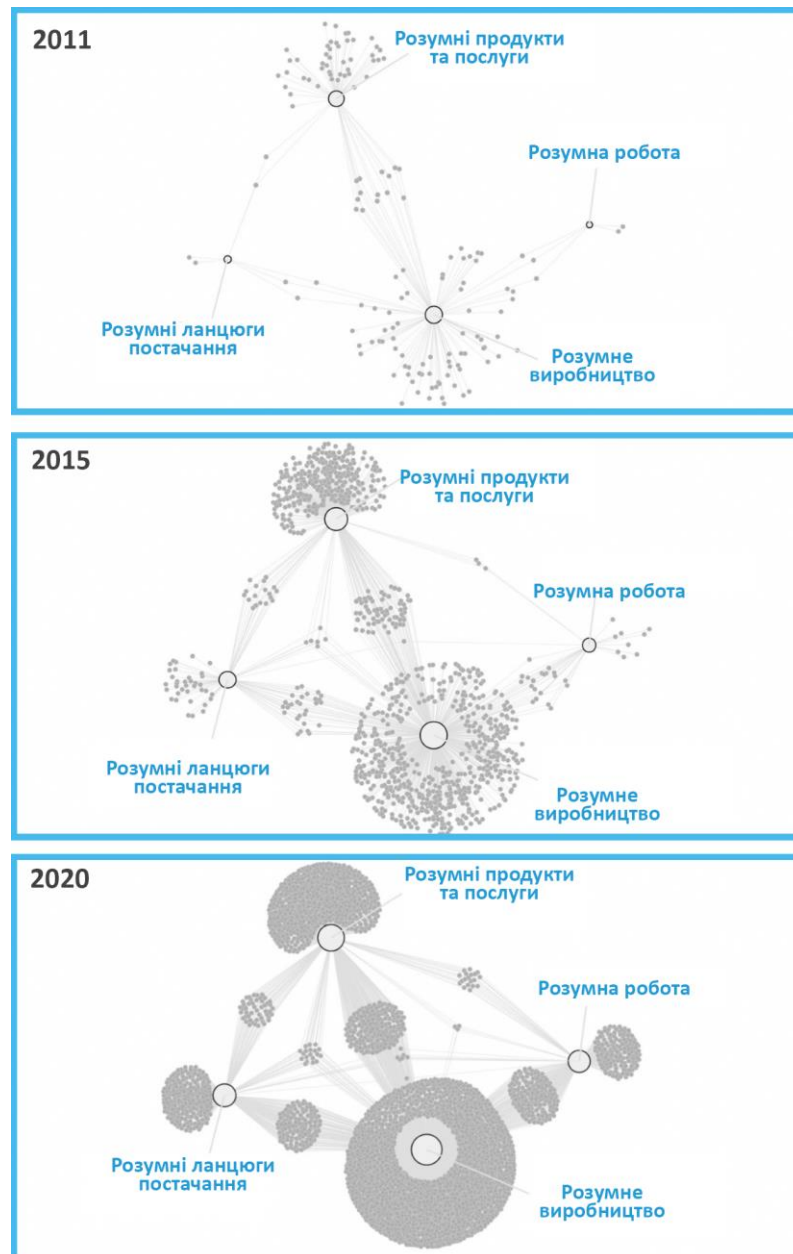


Рисунок 2.1 – Еволюція мережі статей з 2011 по 2020 рік

Білі кола формують «розумні» розміри. Розмір цих кіл є логарифмом кількості ребер, що відповідають статті та року. Кожна із сірих крапок позначає статтю. Лінії, краї, позначають відношення між «розумністю» і статтею.

Це показує, що загальна дослідницька діяльність у сфері Індустрії 4.0 невинно зростає з 2011 року. Більшість статей стосуються розумного виробництва – це понад три з половиною тисячі, що становить 71 % від зібраної вибірки публікацій. «Розумне» виробництво, «розумний» ланцюг постачання та «розумна» робота експоненційно зросли з 2015 року. Хоча для першого терміну дещо сповільнилося зростання з 2018 року. Це свідчить, що ця підсфера досягає стабільності та консолідації [52]. Водночас, «розумні» продукти та послуги демонструють лінійне та стабільне зростання. Проте загальна частка статей зменшується з 2013 року. У 2012 році відбулося значне збільшення статей на тему «розумного» виробництва, що призвело до зменшення частки статей про «розумні» продукти та послуги, хоча результати, пов'язані з цією темою, залишалися стабільними [52].

На рисунку 2.1 також сформовано уявлення про зв'язки між чотирма «розумними» системами за допомогою візуалізації мережі. Концентратори – біліші крапки, представляють чотири «розумні» категорії, а кожна з маленьких темно-сірих крапок позначає статтю. Лінії (краї) вказують на відношення статті до «розумного». Еволюційний графік показує, що на початковому етапі для Індустрії 4.0 існували певні зв'язки та відношення між «розумними» продуктами та послугами і «розумним» виробництвом. Водночас майже не було досліджень «розумної» роботи та «розумного» ланцюга постачання [52]. У 2015 році сфера «розумний» ланцюг постачання зросла за рахунок деяких зв'язків із «розумними» продуктами та послугами і «розумним» виробництвом. Сфера «розумна» робота почала розвиватися в 2015 році, хоча вона залишається в основному пов'язаною з «розумним» виробництвом. До 2020 року рис. 2.1 демонструє, що відношення між «розумними» продуктами та послугами і «розумною» роботою, «розумним» ланцюгом постачання та «розумними» продуктами та послугами, а також цілісна інтеграція трьох-чотирьох із цих «розумних» категорій залишаються ще в значній мірі невивченими. Більш того, цей малюнок показує, що загалом існує «розумний» зв'язок між чотирма «розумними» категоріями в контексті Індустрії 4.0 [52].

2.4.1 Аналіз ключових слів для «розумних» вимірів Індустрії 4.0

У табл. 2.3 наведено огляд найпоширеніших ключових слів в аналізі та журналів, які найчастіше цитуються за «розумними» вимірами. Аналіз ключових слів дає можливість сформулювати уявлення про теми досліджень, які розглядаються в кожному з «розумних» вимірів Індустрії 4.0. Найпоширеніші ключові слова, представлені в чотирьох вимірах, стосуються підключених та інтелектуальних інформаційних систем, зокрема:

- Інтернету речей (IoT);
- кіберфізичних систем;
- великих даних.

Крім того, спостерігаються деякі загальні ключові слова, які описують середовище, в якому обговорюється Індустрія 4.0. Ці ключові слова включають стійкість, інновації та цифровізацію [52].

Більшість статей у нашому аналізі пов'язані з «розумним» виробництвом. Тому більшість ключових слів з'являється у статтях, які досліджують це поняття. Відносна оцінка важливості враховує частоту понять. Наприклад, ШІ найчастіше присутній у статтях про «розумне» виробництво. Однак, відносно загальної кількості статей, він суттєво часто присутній у статтях про «розумну» роботу. Тому його відносна важливість вища для «розумної» роботи.

Вимір «Розумні» продукти та послуги має низькі загальні оцінки важливості, за винятком високої оцінки важливості для стійкості та циркулярної економіки [52]. Це свідчить, що багато тем, спільних для інших галузей Індустрії 4.0, можуть бути додатково досліджені в цій галузі. Наприклад, дивно, що параметр «розумні» продукти та послуги містить мало ключових слів, менше або рівне десяти відсотків, про великі дані та хмарні обчислення, які. Також оцінено, які журнали є релевантними для різних астеchnологій для оцифрування продуктів та послуг [47] в Індустрії 4.0 у другій частині табл. 2.3. Тому ми для оцінювання задіяно 2020 рік. Що стосується «розумного» ланцюга постачання – ця концепція має високу оцінку в цілому,

які журнали є найбільш релевантними [52], і обчислює бали важливості журналу для найбільш релевантних ключових слів.

2.4.2 Перспективи проведення досліджень щодо Індустрії 4.0

Одним із ключових пріоритетів перспективних досліджень має бути інтеграція «розумних» продуктів та послуг та «розумної» роботи. Оскільки було визначено лише шість статей, які охоплюють перетин цих категорій. Крім того, людський капітал є важливим елементом технологічних змін і може становити конкурентну базу для компаній і регіонів [58].

Хан [58] розглянув дослідження Індустрії 4.0 у контексті «розумного» ланцюга постачання і визначив підхід, орієнтований на людину, як один із ключових внесків у цифрові ланцюги постачання, якому потрібно приділяти більше уваги в майбутніх дослідженнях. Оскільки виробнича діяльність стає автономнішою в контексті Індустрії 4.0, більше можливостей може бути створено у додаткових бізнес-функціях, наприклад, зовнішній логістиці та розподілу. Беручи до уваги менш вивчені ключові слова в цих галузях (див. табл. 2.3), можна запропонувати потенційні теми [52] перспективних досліджень, зокрема:

- подальше вивчення того, як штучний інтелект може підтримувати прийняття рішень працівниками в ланцюжках поставок;
- вивчення того, як інструменти моделювання та цифрові близнюки можуть дозволити працівникам краще зрозуміти вплив змін у ланцюжку поставок на виробничу діяльність;
- визначення способу навчання працівників адитивному виробництву, щоб покращити надання продукції та компонентів у розподіленій логістиці;
- визначення того, як нові навички працівників можуть допомогти створити нові бізнес-моделі в ланцюжку поставок на основі цифрових рішень.

Це лише декілька прикладів можливостей, які з'являються в результаті схрещування менш вивчених ключових слів у цьому інтерфейсі між

«розумною» роботою і «розумними» ланцюгами постачання, але в результаті подальшого аналізу [52] можуть виникнути й інші теми.

2.4.3 Перспективи наукових видань досліджувати галузь Індустрія 4.0

Результати аналізу можуть допомогти дослідникам зрозуміти профіль наукових видань щодо перспектив, пов'язаних з Індустрією 4.0 (див. табл. 2.3). Аналогічно до журналів, зацікавлених щодо Індустрії 4.0, може бути корисно зосередитися на нових аспектах, щоб розширити кордони в цій галузі. Наприклад, висновки [52] показують, що категорія «розумна» робота мало висвітлювалася в наукових публікаціях щодо управління операціями. Це могло бути пов'язано з німецьким походженням концепції, яка має дуже автономну виробничу систему Індустрія 4.0 [8]. Впродовж останнього періоду часу такий погляд, зосереджений на автоматизації, був поставлений під сумнів. Це призвело до пропозиції концепції «Індустрія 5.0», яка поміщає працівника в центр цифрової трансформації «POMS, 2020». Однак технології Індустрії 4.0 можуть покращити можливості працівників, а не просто замінити їх [59], і для науковців та журналів є багато можливостей дослідити цей ракурс.

2.4.4 Можливості практичного прийняття та використання Індустрії 4.0

Для компаній аналіз дає цінну інформацію про стан досліджень у критичних галузях Індустрії 4.0. Це може змусити їх зосередитися на нових напрямках досліджень для розробки інноваційних технологічних рішень. Крім того, стартапи можуть використовувати аналіз [52] для виявлення невикористаних можливостей та прогалин в дослідженнях, наприклад, щодо використання підключених продуктів і послуг для підвищення ефективності ланцюгів постачання, категорій «розумні» продукти та послуги з «розумною» роботою, а також можливості Індустрії 4.0.

Що стосується перспективи розвитку Індустрії 4.0 у різних країнах, то в науковій літературі визначено різні рівні зрілості та технологічні потреби в розвинених країнах і країнах, що розвиваються [3]. Хоча в перспективі розумні виміри не зміняться, напрямки політики можуть змінитися, особливо щодо ролі працівників та вартості технологій [60].

2.5 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи описано використаний метод аналізу публікацій про Індустрію 4.0. Висвітлено асоціацію статей до чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0. Подано аналіз даних розвідки публікацій про Індустрію 4.0. Описано еволюцію чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0. Зокрема, подано аналіз ключових слів для «розумних» вимірів Індустрії 4.0. Розглянуто перспективи проведення досліджень щодо Індустрії 4.0. Висвітлено перспективи наукових видань досліджувати галузь Індустрія 4.0. Описано можливості практичного прийняття та використання Індустрії 4.0.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Психологічні чинники небезпеки

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз поточного стану та перспектив досліджень інноваційного концепту "Індустрія 4.0". Сучасне виробництво потребує від персоналу підвищеної уваги та концентрації. Зростає рівень стресу та психофізичного навантаження. Тому в цьому розділі доцільно проаналізувати психологічні чинники небезпеки.

На основі аналізу статистичних даних та висновків експертів у галузі безпеки життєдіяльності можна стверджувати, що від 60 до 90% травм на виробництві і в побуті відбувається з вини потерпілих [61]. Основні причини цього:

- низький рівень професійної підготовки з питань безпеки;
- недостатнє виховання;
- слабка установка людини на дотримання вимог безпеки;
- допуск до небезпечних робіт осіб з підвищеним ризиком травматизму;
- перебування людей у стані втоми чи інших психічних станах, які знижують безпеку діяльності.

Виділяють комплекс чинників, що збільшують індивідуальну схильність людини до небезпеки, це:

- особливості темпераменту;
- функціональні зміни в організмі;
- дефекти органів відчуття;
- незадоволення даним видом діяльності.

Водночас схильність до небезпеки через несприятливий характер діяльності:

- значні фізичні та розумові зусилля;
- незручна робоча поза;
- високий темп праці;

- нервово-емоційні перевантаження;
- перенапруга слухових та зорових аналізаторів;
- несумісність робочого місця, засобів праці та антропометричних даних людини.

Зазначені фактори призводять до підвищеної фізичної та нервової втоми, яка послаблює психіку, знижує швидкість та точність орієнтації, притупляє пильність та увагу, порушує сприйняття навколишньої ситуації. Це також спричинює травматизм.

Психологи виділяють спеціальний розділ, психологію безпеки, в якому розглядають психічні властивості та різноманітні форми психічних станів, що спостерігаються у процесі трудової діяльності [62]. Психічні процеси становлять основу психічної діяльності. Без них неможливе формування знань та надбання життєвого досвіду.

Розрізняють пізнавальні, емоційні та вольові психічні процеси. Психічні властивості – це стійкі особливості особи: інтелектуальні, емоційні, вольові, трудові та ін. Психічні стани зумовлюють особливості психічної діяльності у конкретний період часу та можуть позитивно чи негативно впливати на всі психічні процеси. На думку багатьох психологів, ефективність діяльності, працездатність, людини залежить від рівня психічного напруження. Підвищення рівня психічного напруження істотно збільшує ефективність праці. Але існує критична межа активації, після якої результати праці знижуються аж до повної втрати працездатності.

Існують два типи позамежевого психологічного напруження – гальмівний та збудливий. Гальмівний тип характеризується скутістю та сповільненістю рухів. Людина не здатна з колишньою спритністю виконувати професійні дії. Знижується швидкість реакцій, сповільнюється процес мислення, погіршується згадування, розпорозується увага та виникають інші негативні прояви, не властиві даній людині у спокійному стані. Збудливий тип проявляє себе гіперактивністю, багатомовністю, тремтінням рук та голосу. Оператори здійснюють численні, не продиктовані конкретною потребою, дії. Вони

перевіряють стан приладів, крутять регулятори, поправляють одяг, розтирають руки. У них з'являється дратівливість, запальність, невластива їм різкість, грубість, уразливість.

Позамежеві форми психічного напруження часто лежать в основі помилкових дій та неправильної поведінки у складній ситуації, що може спричинити травматизм та аварії [63]. Серед особливих психічних станів, які мають істотне значення для безпеки життєдіяльності, психологи виділяють пароксизмальні розлади свідомості, психогенні зміни настрою та афектні стани, пов'язані з вживанням психічно активних засобів, стимуляторів, транквілізаторів, алкогольних напоїв.

Параксизмальні стани – група розладів, яка характеризується короткочасною, від кількох секунд до хвилин, втратою свідомості. Такі стани характерні для деяких органічних захворювань головного мозку, епілепсії. Сучасні методики дають змогу своєчасно визначити осіб із прихованою схильністю до пароксизмальних станів. Цим людям протипоказана робота на висоті, водіями автотранспорту та інша робота із підвищеною небезпекою.

Психогенні зміни настрою та афектні стани виникають під впливом психічних дій. Зниження настрою та апатія можуть бути наявні від кількох хвилин до одного – двох місяців, Погіршення настрою спостерігається внаслідок конфліктних ситуацій, після загибелі близьких та в інших випадках. При цьому з'являються байдужість, млявість, загальна скутість, загальмованість, сповільнення темпу мислення. Погіршення настрою супроводжується погіршенням самоконтролю, що може стати причиною травматизму та збільшує ризик виникнення небезпечних ситуацій.

Афектні стани (афект – вибух емоцій) можуть виникнути внаслідок виробничих невдач, під впливом образи. У стані афекту у людини розвивається емоційне звуження обсягу свідомості. Можуть спостерігатися різкі рухи, агресивні та руйнівні дії. Особи, схильні до афектних станів, належать до категорії з підвищеним ризиком травматизму та не повинні призначатися на посади з високою відповідальністю.

Використання психічно активних засобів, включаючи алкоголь, збільшує ризик травматизму та знижує рівень безпеки діяльності. Вживання легких стимуляторів (чай, кава) допомагає у боротьбі з сонливістю і може сприяти підвищенню працездатності на короткий період. Вживання ж активних стимуляторів на відповідальних роботах здатне викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, зменшується швидкість реакції. Використання транквілізаторів, які діють заспокійливо та запобігають розвитку неврозів, може знижувати психічну активність, уповільнювати реакцію, викликати апатію та сонливість. Особливо потрібно підкреслити вплив на безпеку діяльності алкогольних напоїв. За різними даними, автомобільний травматизм у 40-60 % випадків пов'язаний з вживанням алкоголю. Встановлено, що 64% смертельних випадків на виробництві викликано вживанням алкоголю та помилковими діями загиблих. Для безпеки праці особливе значення має після алкогольна астенія (похмілля), яка не лише знижує працездатність, а й призводить до загальмованості та притуплення відчуття обережності.

Тривале вживання алкоголю спричинює алкоголізм, який супроводжується різним ступенем деградації особи. Люди, які страждають на алкоголізм, втрачають властиву їм точність та охайність у роботі. Вони дедалі частіше допускають помилки та стають нездатними для вирішення складних проблем, до швидкої та правильної орієнтації у нестандартних ситуаціях.

3.2 Особливості заходів електробезпеки на підприємствах

Дана кваліфікаційна робота присв'ячена аналізу поточного стану та перспектив досліджень інноваційного концепту "Індустрія 4.0". Оскільки при запровадженні інновацій в галузі активно використовуються різноманітні електронні та електричні пристрої та обладнання, то доцільно розглянути особливості заходів електробезпеки на підприємствах. В умовах сучасного виробництва, яке нерозривно пов'язане з використанням електроенергії, особливого значення набуває питання електробезпеки.

Електробезпека – це система організаційних, технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики [64]. Електробезпека на підприємстві забезпечується завдяки дотриманню вимог, викладених у законодавчих актах:

– Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (далі – ПБЕЕС), затверджені наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4, вимоги яких поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів напругою до 220 кВ включно і є обов'язковими для всіх споживачів та виробників електроенергії, незалежно від їх відомчої належності і форм власності на засоби виробництва.

– Правила безпечної експлуатації електроустановок, дія яких поширюються на працівників, що виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України (наказ Держнаглядохоронпраці України від 06.10.1997 № 257).

– Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), затверджені наказом Мінпаливенерго України від 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу від 13.02.2012 № 91), якими унормовано організаційні й технічні вимоги щодо експлуатації електроустановок споживачів.

– Правила експлуатації електрозахисних засобів, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05.06.2001 № 253, в яких наведено перелік засобів захисту, вимоги до них, обсяги і норми випробувань, порядок застосування, зберігання їх, а також норми комплектування засобами захисту електроустановок і виробничих бригад.

– Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), які визначають будову, принципи улаштування, особливі вимоги до окремих систем, їх елементів, вузлів і комунікацій електроустановок. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 24.07.2017 № 476.

– ДСТУ 2843-94 «Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення», який установлює терміни та визначення основних понять в галузі електротехніки.

– Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МВС від 30.12.2014 № 1417.

Побутові електроприлади в умовах виробництва експлуатують відповідно до експлуатаційної документації підприємств-виробників і ПТЕЕС, п. 1.5 розд. І ПТЕЕС. Відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок ПБЕЕС покладають на роботодавця, який повинен [65]:

– призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок;

– створити і укомплектувати електротехнічну службу з числа осіб, які досягли 18-річного віку, мають відповідну освіту та пройшли медичний огляд і не мають протипоказань;

– розробити і затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, посадові інструкції працівників та інструкції з безпечного виконання робіт;

– забезпечити навчання і перевірку знань працівників, своєчасний огляд електроустановок, проведення профілактичних, протиаварійних та приймально-здавальних випробувань;

– встановити такий порядок, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, вели ретельні спостереження за дорученим їм обладнанням і мережами.

Для безпосереднього виконання функцій щодо організації експлуатації електроустановок призначається особа, відповідальна за електрогосподарство.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Описана інноваційна предметна область «Індустрія 4.0».
- Розглянуто чотири «розумні» виміри Індустрії 4.0.
- Зокрема, описано «розумне» виробництво, «розумна» робота, «розумний» ланцюг постачання і «розумні» продукти та послуги.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано використаний метод аналізу публікацій про Індустрію 4.0.
- Висвітлено асоціацію статей до чотирьох «розумних» категорій Індустрії 4.0.

– Подано аналіз даних розвідки публікацій про Індустрію 4.0.

– Описано еволюцію чотирьох розумних вимірів Індустрії 4.0.

– Подано аналіз ключових слів для «розумних» вимірів Індустрії 4.0.

– Розглянуто перспективи проведення досліджень щодо Індустрії 4.0.

– Висвітлено перспективи наукових видань досліджувати галузь Індустрія 4.0.

– Описано можливості практичного прийняття та використання Індустрії 4.0.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи хорони праці» розглянуто психологічні чинники небезпеки. Висвітлено особливості заходів електробезпеки на підприємствах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.de F.R., Ramos, L.F.P., 2017. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 55, 3609–3629.
- 2 Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., Sartor, M., 2020. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *Int. J. Prod. Econ.* 107617.
- 3 Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F., Frank, A.G., 2018. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *Int. J. Prod. Econ.* 204, 383–394.
- 4 Frank, Dalenogare, L.S., Ayala, N.F., 2019. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 210, 15–26.
- 5 Reischauer, G., 2018. Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. *Technol. Forecast. Soc. Change* 132, 26–33.
- 6 Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D., Wuest, T., 2018. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: implications for small and medium- sized enterprises (SMEs). *J. Manuf. Syst.* 49, 194–214.
- 7 Benitez, G.B., Ayala, N.F., Frank, A.G., 2020. Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation. *Int. J. Prod. Econ.* 228.
- 8 Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., ten Hompel, M., 2020. *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020.*
- 9 Benitez, G.B., Ayala, N.F., Lima, M.J.F., Frank, A.G., 2021. Industry 4.0 technology provision: the moderating role of supply chain partners to support technology providers. *Supply Chain Management-An International Journal* early cite.
- 10 Kipper, L.M., Furstenu, L.B., Hoppe, D., Frozza, R., Iepsen, S., 2020. Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. *Int. J. Prod. Res.* 58, 1605–1627.

- 11 Bueno, A.F., Godinho Filho, M., Frank, A.G., 2020. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review *Comput. Ind. Eng.* 106774.
- 12 Riel, A., Kreiner, C., Macher, G., Messnarz, R., 2017. Integrated design for tackling safety and security challenges of smart products and digital manufacturing. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 66, 177–180.
- 13 Frank, Mendes, G.H.S., Ayala, N.F, Ghezzi, A., 2019. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: a business model innovation perspective. *Technol. Forecast. Soc. Change* 141, 341–351.
- 14 Mansfield, N., Naddeo, A., Frohriep, S., Vink, P., 2020. Integrating and applying models of comfort. *Appl. Ergon.* 82, 102917.
- 15 Fatorachian, H., Kazemi, H., 2020. Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *Prod. Plan. Control* 1–19.
- 16 Brynjolfsson, E., McAfee, A., 2014. *The second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies.* WW Norton & Company, New York, N.Y.
- 17 Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the Industrie 4.0 WG.
- 18 Hankel, M., Rexroth, B., 2015. The Reference Architectural Model. *Industrie 4.0 (RAMI 4.0).* ZWEI Die Elektroind.
- 19 Schumacher, A., Erol, S., Sihn, W., 2016. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP* 52.
- 20 Sjodin, D.R., Parida, V., Leksell, M., Petrovic, A., 2018. Smart Factory Implementation “ and Process Innovation. *Res. Manag.* 61, 22–31.
- 21 Thoben, K.-D., Wiesner, S., Wuest, T., 2017. Industrie 4.0” and smart manufacturing – a review of research issues and application examples. *Int. J. Autom. Technol.* 11, 4–16.
- 22 Chen, Y., 2017. Integrated and intelligent manufacturing: perspectives and enablers. *Engineering* 3, 588–595.

- 23 Kusiak, A., 2018. Smart manufacturing. *Int. J. Prod. Res.* 56, 508–517.
- 24 Tao, F., Qi, Q., Liu, A., Kusiak, A., 2018. Data-driven smart manufacturing. *J. Manuf. Syst.* 48, 157–169.
- 25 Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., Zhang, C., 2016. Towards Smart Factory for Industry 4.0: A Self-Organized Multi-Agent System with Big Data Based Feedback and Coordination. *Comput. Networks.*
- 26 Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., Stahre, J., 2020. Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management. *Int. J. Prod. Econ.* 224, 107547.
- 27 Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Ozturk, C., Aromaa, S., Boubekur, M., Heilala, J., Heikkila, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petaja, E., Walter, T., 2020. Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Comput. Ind. Eng.* 139, 105678.
- 28 Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fasth, F.-B., Åsa, Gorecky, D., 2016. Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies. In: *Proceedings of the International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46)*.
- 29 Fantini, P., Pinzone, M., Taisch, M., 2020. Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Comput. Ind. Eng.* 139, 105058.
- 30 Segura, A., Diez, H.V., Barandiaran, I., Arbelaiz, A., Alvarez, H., Simoes, B., Posada, J., ~ García-Alonso, A., Ugarte, R., 2020. Visual computing technologies to support the Operator 4.0. *Comput. Ind. Eng.* 139, 105550 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.060>.
- 31 Pinzone, M., Alb`e, F., Orlandelli, D., Barletta, I., Berlin, C., Johansson, B., Taisch, M., 2020. A framework for operative and social sustainability functionalities in Human- centric cyber-physical production systems. *Comput. Ind.*
- 32 Fletcher, S.R., Johnson, T., Adlon, T., Larreina, J., Casla, P., Parigot, L., Alfaro, P.J., Otero, M, del, M., 2020. Adaptive automation assembly: Identifying system requirements for technical efficiency and worker satisfaction. *Comput. Ind.*

33 Cohen, Y., Naseraldin, H., Chaudhuri, A., Pilati, F., 2019. Assembly systems in Industry 4.0 era: a road map to understand Assembly 4.0. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 105, 4037–4054.

34 Dalenogare, L.S., Baseggio, M.M., Ayala, N.F., Dain, M.-A., Le, Frank, A.G., 2019. The contribution of Smart Glasses for PSS. *Procedia CIRP* 83, 318–323.

35 Peruzzini, M., Grandi, F., Pellicciari, M., 2020. Exploring the potential of Operator 4.0 interface and monitoring. *Comput. Ind. Eng.* 139, 105600.

36 Huysamen, K., Bosch, T., de Looze, M., Stadler, K.S., Graf, E., O’Sullivan, L.W., 2018. Evaluation of a passive exoskeleton for static upper limb activities. *Appl. Ergon.* 70, 148–155.

37 Szalavetz, A., 2019. Industry 4.0 and capability development in manufacturing subsidiaries. *Technol. Forecast. Soc. Change* 145, 384–395.

38 Frederico, G.F., Garza-Reyes, J.A., Anosike, A., Kumar, V., 2019. Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. *Supply Chain Manag. An Int. J.*

39 Büyükoçkan, G., Goçer, F., 2018. Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Comput. Ind.* 97, 157–177.

40 Strandhagen, J.O., Vallandingham, L.R., Fragapane, G., Strandhagen, J.W., Stangeland, A.B.H., Sharma, N., 2017. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Adv. Manuf.* 5, 359–369.

41 Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F., Ivanova, M., 2016. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. *Int. J. Prod. Res.* 54, 386–402.

42 Barreto, L., Amaral, A., Pereira, T., 2017. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manuf.* 13, 1245–1252.

43 Hahn, G.J., 2020. Industry 4.0: a supply chain innovation perspective. *Int. J. Prod. Res.* 58, 1425–1441.

44 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A., Bilak Y., Formation of Hypercubes Based on Data Obtained from Systems of IoT Devices of Urban Resource Networks, *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control* (2020) 10: 1. ISSN 2210-3287.

45 Bodnarchuk I., Duda O., Kharchenko A., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V. Choice method of analytical information-technology platform for projects associated to the smart city class. ICTERI 2020 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference p.317-330.

46 Duda, O., et al, Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities. CEUR Workshop Proceedings 2631, pp. 68-78. 2020.

47 Kahle, J.H., Marcon, E., Ghezzi, A., Frank, A.G., 2020. Smart Products value creation in SMEs innovation ecosystems. *Technol. Forecast. Soc. Change* 156.

48 Ardolino, M., Rapaccini, M., Saccani, N., Gaiardelli, P., Crespi, G., Ruggeri, C., 2017. The role of digital technologies for the service transformation of industrial companies. *Int. J. Prod. Res.* 56, 2116–2132.

49 Ayala, N.F., Paslauski, C.A., Ghezzi, A., Frank, A.G., 2017. Knowledge sharing dynamics in service suppliers' involvement for servitization of manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 193, 538–553.

50 Ayala, N.F., Gerstlberger, W., Frank, A.G., 2019. Managing servitization in product companies: the moderating role of service suppliers. *Int. J. Oper. Prod.*

51 Harzing, A., Alakangas, S., 2016. Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison. *Scientometrics* 106, 787.

52 Meindl, Benjamin, et al. "The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives." *Technological Forecasting and Social Change* 168 (2021): 120784.

53 Li, S., Hu, Jie, Cui, Y., Hu, Jianjun, 2018. DeepPatent: patent classification with convolutional neural networks and word embedding. *Scientometrics* 117, 721.

54 Mikolov, T., Grave, E., Bojanowski, P., Puhersch, C., Joulin, A., 2018. Advances in Pre- Training Distributed Word Representations. In: Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation. LREC 2018.

55 Zaghoul, W., Lee, S.M., Trimi, S., 2009. Text classification: neural networks vs support vector machines. *Ind. Manag. Data Syst.* 109, 708–717.

56 Honnibal, M., Montani, I., 2017. spaCy 2: Natural Language Understanding With Bloom Embeddings, Convolutional Neural Networks and Incremental Parsing. To Appear.

57 Machado, C.G., Winroth, M.P., Ribeiro da Silva, E.H.D., 2020. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *Int. J. Prod.*

58 Teece, D.J., 1998. Capturing value from knowledge assets: the new economy, markets for know-how, and intangible assets. *Calif. Manage. Rev.* 40, 55.

59 Cimini, C., Lagorio, A., Romero, D., Cavalieri, S., Stahre, J., 2020. Smart logistics and the logistics operator 4.0. In: *Proceedings of the 21st IFAC World Congress* |. Berlin, Germany.

60 Autor, D., Mindell, D.A., Reynolds, E.B., 2020. *The Work of the Future: Building Better Jobs in an Age of Intelligent Machines*. MIT Work of the Future Initiative - Final Report. Available at. <https://workofthefuture.mit.edu/research-post/the-work-of-the-future-building-better-jobs-in-an-age-of-intelligent-machines/>.

61 Психологічні чинники небезпеки. URL: <https://subject.com.ua/safety/bezpeka/30.html>.

62 Психологія безпеки. URL: https://pidru4niki.com/70727/bzhd/psihologiya_bezpeki.

63 Дуднікова І.І. Безпека життєдіяльності. Навч. посібник. – 2-ге вид., доп. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2013. — 268 с.

64 Електробезпека: охорона праці. URL: <https://www.sop.com.ua/article/745-elektrobezpeka>.

65 Лекція 8. Заходи електробезпеки на підприємствах галузі. URL: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/09/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F-8.pdf>.