

*Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет*

**КАФЕДРА ЕКОНОМІКИ, ПІДПРИЄМНИЦТВА  
ТА БІЗНЕС-АДМІНІСТРУВАННЯ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

*Тема: «Економічна оцінка інноваційних підходів в будівництві в  
контексті концепції "Індустрія 4.0"»*

*Спеціальність 051 «Економіка»*

*Освітня програма 6.051.00.06 «Економіка і бізнес»*

*Завідувач кафедри: \_\_\_\_\_ / проф. Мельник Л. Г*

*Керівник роботи: \_\_\_\_\_ / ст.викладач Гончаренко О. С.*

*Виконавець: \_\_\_\_\_ / Гацаєва О.І.*

*Група: \_\_\_\_\_ Едн - 610*

**Суми 2020**

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота 35 стор., 2 рисунки, 2 таблиці, 61 джерело.

Мета роботи – полягає в обґрунтуванні економічної оцінки інноваційних підходів в будівництві в контексті концепції "Індустрія 4.0".

Об'єкт дослідження – процес економічної оцінки інноваційних підходів в будівництві в контексті концепції "Індустрія 4.0".

Предмет дослідження – механізм оцінки складових концепції Індустрія 4.0 в будівельній галузі.

Методи дослідження – загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, структурно-логічний аналіз, метод класифікацій, методи аналізу та синтезу, метод порівняння, графічний та табличний методи.

У першому розділі визначені концептуальні підходи до визначення Індустрія 4.0, принципи її становлення та складові.

У другому розділі досліджено теоретико-методичне забезпечення впровадження концепції Індустрія 4.0 в будівельну галузь.

У третьому розділі проведено оцінку ефектів від впровадження елементів Індустрії 4.0 в будівельну галузь України.

## Зміст

Вступ.....	4
Розділ 1 Теоретичні основи концепції Індустрія 4.0 в економіці .....	5
1.1. Концептуальні підходи до визначення Індустрія 4.0.....	5
1.2 Основні принципи та компоненти концепції «Індустрія 4.0».....	8
1.3 Тенденції розвитку Індустрії 4.0 та її вплив на економіку розвинених країн.....	10
Розділ 2 Теоретико-методичне забезпечення впровадження концепції Індустрія 4.0 в будівельну галузь .....	14
2.1 Проблематика впровадження елементів Індустрії 4.0 у вітчизняну будівельну галузь .....	14
2.2 Обґрунтування економічної сутності Індустрії 4.0 в будівельній галузі	15
2.3 Основні шляхи впровадження Індустрія 4.0 у будівельній галузі .....	18
Розділ 3 Оцінка впровадження елементів Індустрії 4.0 в будівельну галузь України. ....	21
3.1 Інформаційне моделювання будівельного об'єкту.....	21
3.2 Модель кіберфізичної системи та ефекти її застосування у будівництві .....	24
3.3 Кластеризація складових елементів Індустрії 4.0 для будівельної галузі .....	26
Висновок .....	30
Список використаної літератури .....	31

## Вступ

На сьогоднішній день робота і розвиток підприємства неможлива без ведення інноваційної політики, розвитку науки й техніки, оновлення устаткування та обладнання. Особливо це стосується будівельних підприємств. Адже будівельна галузь є невід'ємною частиною господарського комплексу країни, індикатором зростання чи занепаду економіки.

Інноваційна діяльність у будівництві є одним з найважливіших елементів підвищення ефективності виробництва. Це стосується постійного та своєчасного оновлення і покращення технологій виконання будівельних, ремонтних та монтажних робіт. А в загальному контексті – основна умова забезпечення економічного зростання підприємства.

Зважаючи на це будівельним підприємствам необхідно приділяти увагу пошуку шляхів удосконалення своєї діяльності за рахунок упровадження інноваційних технологій. Впровадження інноваційних технологій дозволяє зменшити час і витрати на будівництво, поліпшити екологію завдяки використанню екологічно чистих будівельних матеріалів, тобто відмовитись від традиційних – азбесту, токсичних видів пластмаси, деяких марок бетону.

Наш час можна охарактеризувати як Четверту промислову революцію, або, як її ще називають, Індустрію 4.0. У сучасних умовах концепція Індустрії 4.0 набула широко поширення у світі. Перехід до концепції Індустрії 4.0 свідчить, що в майбутньому такі бізнес-процеси, як постачання сировини та матеріалів, розроблення і доведення товарів до споживачів та їх обслуговування, будуть здійснюватися через Інтернет [1].

Отже, метою роботи є дослідження основних моментів впровадження Індустрії 4.0 в підприємства будівельної галузі та визначення основних еколого-економічних ефектів від впровадження кіберфізичної системи будівництва будинку.

## Розділ 1 Теоретичні основи концепції Індустрія 4.0 в економіці

### 1.1. Концептуальні підходи до визначення Індустрія 4.0

Четверта промислова революція [1] або Промисловість 4.0 - це поточна трансформація традиційних виробничих та промислових практик за допомогою новітніх розумних технологій. В першу чергу це зосереджено на використанні широкомасштабних машин для машинного зв'язку (M2M) та розгортання Інтернету речей (IoT) для забезпечення підвищеної автоматизації, покращеного зв'язку та самоконтролю, а також розумних машин, які можуть аналізувати та діагностувати проблеми без необхідності втручання людини. [2]

Перша промислова революція ознаменувалась переходом від методів ручного виробництва до машин через використання парової енергії та водної енергії. Впровадження нових технологій зайняло тривалий час, тому період, в якому це стосується, знаходиться між 1760 та 1820 роками, або 1840 р. В Європі та США. Його наслідки мали наслідки для виробництва текстилю, яке першими прийняло такі зміни, а також металургійну промисловість, сільське господарство та видобуток, хоча це також мало суспільний вплив із усе сильнішим середнім класом. Це також впливало на британську промисловість у той час. [3]

Друга промислова революція або більш відома як технологічна революція - це період між 1870 та 1914 рр. Це стало можливим завдяки розгалуженій залізничній мережі та телеграфу, що дозволяло швидше передавати людей та ідеї. Він також відзначається все більш присутнім електроенергією, яка дозволила електрифікувати фабрику, і сучасною виробничою лінією. Це також період великого економічного зростання із збільшенням продуктивності. Однак це призвело до зростання рівня безробіття, оскільки багатьох робітників замінили машини на фабриках [4].

Третя промислова революція відбулася в кінці 20 століття, після закінчення двох великих воєн, внаслідок уповільнення індустріалізації та технологічного прогресу порівняно з попередніми періодами. Її ще називають цифровою революцією. Світова криза 1929 р. Була однією з негативних економічних подій, що з'явилися у багатьох індустріально розвинутих країнах з перших двох революцій. Виробництво з'ї стало початком вдосконалених цифрових розробок. Це продовжилося з наступним значним прогресом у розвитку комунікаційних технологій із суперкомп'ютером. У цьому процесі, де широко використовувалися комп'ютерні та комунікаційні технології у виробничому процесі. Машина почали скасовувати потребу людської сили в житті. [5]

Фраза Четверта промислова революція вперше була введена виконавчим головою Всесвітнього економічного форуму Клаусом Швабом у статті про закордонні відносини 2015 року [6] «Освоєння четвертої промислової революції» була темою щорічної зустрічі Всесвітнього економічного форуму 2016 року в Давос-Клостерс, Швейцарія. 10 жовтня 2016 року Форум оголосив про відкриття свого Центру четвертої промислової революції у Сан-Франциско. [7] Це також було предметом та назвою книги Шваба за 2016 рік. [8] У цю четверту епоху Schwab включає технології, що поєднують апаратне, програмне забезпечення та біологію (кібер-фізичні системи) [9] та підкреслюють прогрес у спілкуванні та зв'язку. Шваб очікує, що цю епоху ознаменують прориви нових технологій у таких сферах, як робототехніка, штучний інтелект, нанотехнології, квантові обчислення, біотехнологія, Інтернет речей, індустріальний Інтернет речей (IIoT), децентралізований консенсус, бездротові технології п'ятого покоління (5G), 3D-друк та повністю автономні транспортні засоби. [10]

Термін "Industrie 4.0", скорочений до I4.0 або просто I4, виник у 2011 році від проекту у високотехнологічній стратегії уряду Німеччини, який сприяє комп'ютеризації виробництва [11]. Термін "Industrie 4.0" був публічно введений в тому ж році на Ганноверському ярмарку. [12] У жовтні 2012 року

Робоча група з питань промисловості 4.0 представила низку рекомендацій щодо впровадження галузі 4.0 федеральному уряду Німеччини. Члени та партнери робочої групи «Індустрія 4.0» визнані батьками-засновниками та рушійною силою промисловості 4.0. 8 квітня 2013 року на Ганноверському ярмарку було представлено підсумковий звіт Робочої групи «Промисловість 4.0». Цю робочу групу очолювали Зігфрід Дайс (Robert Bosch GmbH) та Геннінг Кагерманн (Німецька академія науки та техніки). [13]

Оскільки компаніями застосовуються принципи Industry 4.0, їх іноді ребрендують, наприклад, виробник аерокосмічних деталей Meggitt PLC проклав власний дослідницький проект M4 Industry 4.0 [14].

Дискусія про те, як перехід на промисловість 4.0, особливо цифровізація, вплине на ринок праці, обговорюється в Німеччині під темою Робота 4.0. [15]

Характерними характеристиками стратегії німецького уряду Industry 4.0 є: сильна адаптація продукції в умовах дуже гнучкої (масової) продукції. [16] Необхідна технологія автоматизації вдосконалюється введенням методів самооптимізації, самоконфігурації, [17] самодіагностики, пізнання та інтелектуальної підтримки працівників у їх все більш складній роботі. [18] Найбільшим проектом в галузі 4.0 на липень 2013 року є передовий кластер BMBF "Розумні технічні системи Ostwestfalen-Lippe (це OWL)". Інший великий проект - проект BMBF RES-COM [19], а також кластер передового досвіду "Інтеграційна технологія виробництва для країн з високою заробітною платою". [20] У 2015 році Європейська Комісія розпочала міжнародний дослідницький проект Horizon 2020 CREMA (Забезпечення хмарного швидкого еластичного виробництва на основі моделі XaaS та Cloud) як основну ініціативу сприяння розвитку галузі 4.0. [21]

## 1.2 Основні принципи та компоненти концепції «Індустрія 4.0»

Існує чотири принципи дизайну. Ці принципи підтримують компанії у визначенні та реалізації сценаріїв. [22]

Взаємозв'язок: здатність машин, пристроїв, датчиків та людей з'єднуватися та спілкуватися один з одним через Інтернет речей (IoT) або Інтернет людей (IoP) [21]

Інформаційна прозорість: прозорість, що надається технологією Industry 4.0, надає операторам величезну кількість корисної інформації, необхідної для прийняття відповідних рішень. Взаємозв'язок дозволяє операторам збирати величезну кількість даних та інформації з усіх точок виробничого процесу, тим самим сприяючи функціональності та визначаючи ключові сфери, які можуть отримати користь від розвитку та вдосконалення. [19]

Технічна допомога: здатність систем допомагати людям у прийнятті рішень та вирішенні проблем, а також здатність допомагати людям із надто складними або небезпечними завданнями. [18]

Децентралізовані рішення: здатність кіберфізичних систем самостійно приймати рішення та виконувати свої завдання максимально автономно. Тільки у випадку винятків, втручань або конфліктуючих цілей завдання, делеговані на більш високий рівень. [5]

Четверта промислова революція складається з багатьох складових при уважному вивченні нашого суспільства та сучасних цифрових тенденцій. Щоб зрозуміти, наскільки обширні ці компоненти, наводимо приклади цифрових технологій як приклади: [6]

Мобільні пристрої

Платформи Інтернет речей (IoT)

Технології виявлення місцезнаходження

Розширений інтерфейс людина-машина



Аутентифікація та виявлення шахрайства

3D-друк

Розумні датчики

Велика аналітика та передові процеси

Багаторівнева взаємодія з клієнтами та профілювання клієнтів

Розширена реальність / носіння

Туман, Край та наявність на замовлення ресурсів комп'ютерної системи

Візуалізація даних та ініційоване навчання наживо [6]

В основному ці технології можна об'єднати в чотири основні компоненти, визначаючи термін "промисловість 4.0" або "розумна фабрика": [16]

Кіберфізичні системи

IoT

За запитом наявність ресурсів комп'ютерної системи

Когнітивні обчислення [16]

За допомогою кіберфізичних систем, які відстежують фізичні процеси, може бути спроектована віртуальна копія фізичного світу. Таким чином, ці системи мають можливість самостійно приймати децентралізовані рішення та досягати високого ступеня самостійності (для отримання додаткової інформації див. "Характеристики галузі 4.0). В результаті, Промисловість 4.0 підключає широкий спектр нових технологій для створення цінності. [6]

Дані

Всі ці компоненти мають спільне те, що дані та Analytics є їх основними можливостями, якими керується: [7]

Оцифровка та інтеграція вертикальних і горизонтальних ланцюгів значень

По вертикалі, Промисловість 4.0 інтегрує процеси у всій організації,

наприклад, процеси в розробці, виробництві, структуруванні та обслуговуванні, тоді як в горизонтальному відношенні Індустрія 4.0 включає внутрішні операції від постачальників до клієнтів, а також усіх ключових партнерів ланцюга вартості. [7]

#### Оцифровка пропозицій товарів та послуг

Інтеграція нових методів збору та аналізу даних, наприклад, шляхом розширення існуючих товарів або створення нових оцифрованих продуктів, допомагає компаніям генерувати дані про використання продукції, а отже, вдосконалювати продукцію з метою задоволення найкращих потреб клієнтів. [7]

#### Цифрові бізнес-моделі та доступ до клієнтів

Досягнення задоволеності клієнтів - це багатоетапний, нескінченний процес, який зараз потрібно змінювати, оскільки потреби клієнтів постійно змінюються. Тому компанії розширюють свою пропозицію, встановлюючи руйнівні цифрові бізнес-моделі, щоб забезпечити своїм клієнтам цифрові рішення, які найкраще відповідають їх потребам.

### 1.3 Тенденції розвитку Індустрії 4.0 та її вплив на економіку розвинених країн

По суті, четверта промислова революція - це тенденція до автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях та процесах, що включають кіберфізичні системи (CPS), Інтернет речей (IoT), індустриальний Інтернет речей (IIOT) [18], хмара обчислювальна техніка [22], когнітивні обчислення та штучний інтелект. [11]

#### Розумна фабрика

Четверта промислова революція сприяє тому, що називалося "розумною фабрикою". У рамках модульних структурованих розумних заводів

кіберфізичні системи контролюють фізичні процеси, створюють віртуальну копію фізичного світу та приймають децентралізовані рішення. Через Інтернет речей, кіберфізичні системи спілкуються та співпрацюють між собою та з людьми синхронно, як внутрішньо, так і через організаційні послуги, пропоновані та використовувані учасниками ланцюжка цінності [22].

#### Прогнозне обслуговування

Промисловість 4.0 також може забезпечити прогностичне обслуговування завдяки використанню технології та датчиків IoT. Передбачувальне технічне обслуговування - яке може виявити проблеми технічного обслуговування в прямому ефірі - дозволяє власникам машин виконувати економічне обслуговування та визначати його достроково до виходу з ладу або пошкодження машини. Наприклад, компанія в Лос-Анджелесі може зрозуміти, чи обладнання в Сінгапурі працює з ненормальною швидкістю або температурою. Потім вони могли вирішити, чи потрібно його відремонтувати. [12]

#### 3D-друк

Кажуть, що четверта промислова революція має велику залежність від технології 3D-друку. Деякі переваги 3D-друку для промисловості полягають у тому, що 3D-друк може надрукувати багато геометричних структур, а також спростити процес дизайну продукту. Він також відносно екологічно чистий. При низькооб'ємному виробництві це може також зменшити терміни використання та загальні виробничі витрати. Більше того, це може підвищити гнучкість, зменшити витрати на складування та допомогти компанії у прийнятті стратегії масового налаштування бізнесу. Крім того, 3D-друк може бути дуже корисним для друку запчастин та їх локальної установки, отже, зменшуючи залежність постачальника та скорочуючи час поставки. [13]

Визначальним фактором є темп змін. Співвідношення швидкості технологічного розвитку і, як наслідок, соціально-економічних та

інфраструктурних перетворень з життям людини дозволяють констатувати якісний стрибок у швидкості розвитку, що знаменує перехід до нової епохи часу. [14]

#### Розумні датчики

Датчики та приладобудування сьогодні є рушійними силами інновацій, причому не лише для промисловості 4.0, але й для інших «розумних» мегатренд, таких як розумне виробництво, розумна мобільність, розумний будинок, розумне місто та розумний завод. [5]

Розумні датчики - це пристрої, які генерують дані і дозволяють надалі функціонувати від самоконтролю та самоконфігурації до моніторингу стану складних процесів. Завдяки бездротовому зв'язку вони значно скорочують зусилля з встановлення та допомагають реалізувати щільний набір датчиків. [36]

Важливість датчиків, наукових вимірювань та розумного оцінювання для Industry 4.0 визнали та визнали різні фахівці і вже призвели до твердження «Промисловість 4.0: без сенсорних систем нічого не минає» [37]

Однак існує мало питань, таких як помилка синхронізації часу, втрата даних та робота з великою кількістю зібраних даних, які обмежують реалізацію повноцінних систем. Більше того, додаткові обмеження щодо цих функцій представляють потужність акумулятора. Одним із прикладів інтеграції розумних датчиків в електронні пристрої є розумні годинники, коли датчики отримують дані від руху користувача, обробляють дані і, як результат, надають користувачеві інформацію про його чи її кроки, зроблені за день, і додатково перетворюють їх на спалені калорії.

Сфера застосування:

Сільське господарство та харчова промисловість:

Слід зазначити, що розумні датчики у цих двох полях ще знаходяться на стадії тестування.

Ці інноваційні підключені датчики збирають, інтерпретують та передають інформацію, наявну на ділянках (площа листя, індекс вегетації,

хлорофіл, гігрометрія, температура, водний потенціал, радіація). Виходячи з цих наукових даних, мета полягає в тому, щоб надати можливість моніторингу в режимі реального часу за допомогою смартфона з різноманітними порадами, які оптимізують управління сюжетом з точки зору результатів, часу та витрат. На фермі ці датчики можна використовувати для виявлення стадій урожаю та рекомендувати введення та обробку в потрібний час. А також контроль рівня зрошення.

У харчовій промисловості. Ця галузь вимагає все більшої безпеки та прозорості, і необхідна повна документація. Ця нова технологія використовується як система відстеження, а також збір людських даних, а також даних про продукцію.

Четверта промислова революція знаменує собою початок епохи уяви [38]

## Розділ 2 Теоретико-методичне забезпечення впровадження концепції Індустрія 4.0 в будівельну галузь

### 2.1 Проблематика впровадження елементів Індустрії 4.0 у вітчизняну будівельну галузь

Проблеми впровадження галузі 4.0: [39] [40]

Економічні

Високі економічні витрати

Адаптація бізнес-моделі

Нечіткі економічні вигоди / надмірні інвестиції [39] [40]

Соціальні

Побоювання конфіденційності

Спостереження та недовіра

Загальне небажання змінюватись зацікавленими сторонами

Загроза надмірності корпоративного ІТ-відділу

Втрата багатьох робочих місць до автоматичних процесів та процесів,  
керованих ІТ, особливо для працівників синіх комірив [39] [40]

Політичні

Відсутність регулювання, стандартів та форм сертифікацій

Незрозумілі правові проблеми та безпека даних [39] [40]

Організаційна / внутрішня

Проблеми ІТ-безпеки, які значно посилюються притаманною потребою  
відкрити ті раніше закриті виробничі цехи

Надійність та стабільність, необхідні для критичного зв'язку машина-  
машина (M2M), включаючи дуже короткі та стабільні затримки

Необхідність підтримки цілісності виробничих процесів

Потрібно уникати будь-яких корчів ІТ, оскільки це може призвести до  
дорогих відмов виробництва

Необхідність захисту промислового ноу-хау (міститься також у файлах управління для обладнання промислової автоматизації)

Відсутність адекватних навичок для прискорення переходу до четвертої промислової революції

Низький обов'язок керівництва

Недостатня кваліфікація працівників [39] [40]

Програми

Аерокосмічну індустрію іноді характеризують як "занадто низький об'єм для широкої автоматизації", проте принципи "Індустрії 4.0" були досліджені декількома космічними компаніями. Технології були розроблені для підвищення продуктивності, коли передові витрати на автоматизацію неможливо виправдати. Одним із прикладів цього є проект виробника аерокосмічних деталей Meggitt PLC, M4. [14]

Зростаюче використання Індустріального Інтернету речей у Bosch називають промисловістю 4.0, а в Німеччині взагалі. До додатків належать машини, які можуть спрогнозувати збої та запустити процеси технічного обслуговування самостійно або самоорганізовану координацію, які реагують на несподівані зміни у виробництві. [41]

## 2.2 Обґрунтування економічної сутності Індустрії 4.0 в будівельній галузі

Аналіз літератури було проведено на основі джерела VOSviewer [2]. Було розпочато з більш широкої теми, щоб визначити, оцінити та проаналізувати опубліковані документи. Вказана структура для запиту «Industry 4.0» або «Industrialrevolution 4.0» і тема «Construction» або «Building» (проілюстровано на рис 2.1 і 2.2).

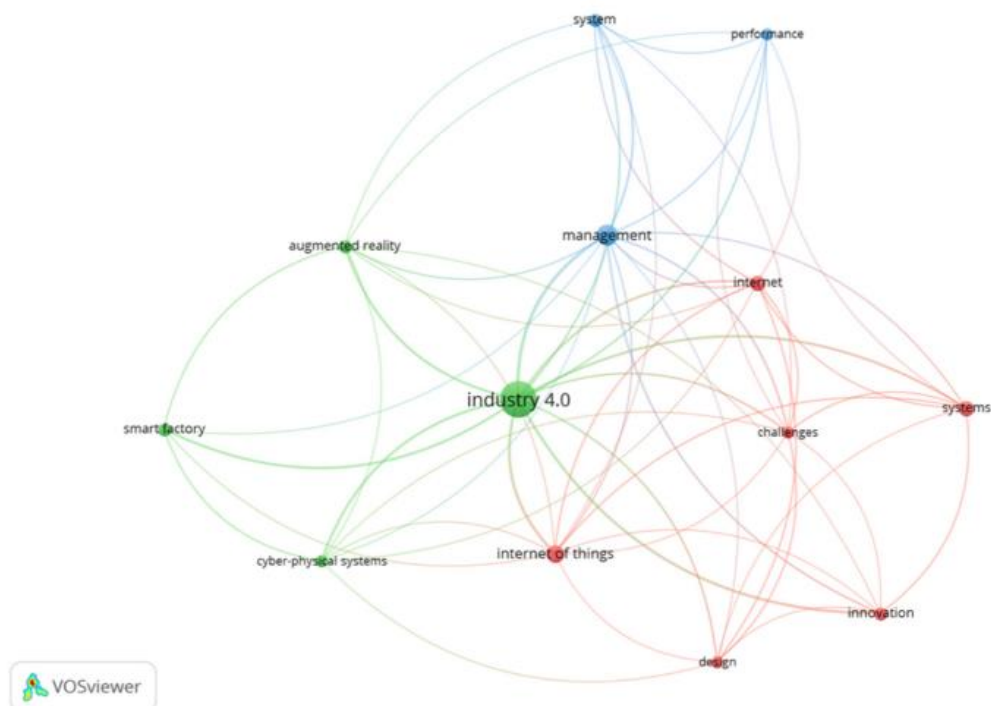


Рисунок 2.1 – Пошук за ключовими словами, що часто зустрічаються спільно з «Industry 4.0» або «Industryrevolution 4.0» і тема «Construction» або «Building», що має 183 публікації

*Джерело: побудовано автором.*

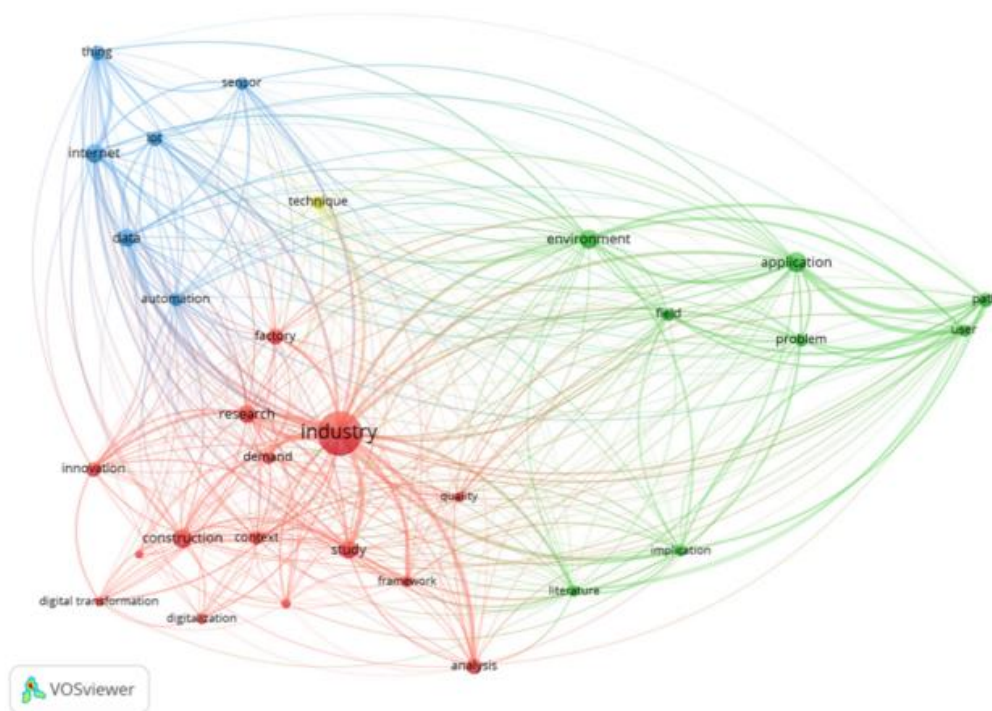




Рисунок 2.2 – Пошук за ключовими словами, що часто зустрічаються спільно з «Industry 4.0» або «Industryrevolution 4.0» і тема «Construction» або «Building», що має 364 публікації.

*Джерело: побудовано автором.*

За результатами пошуку були проаналізовані документи, відображені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Найбільш рейтингові документи

<i>Автор</i>	<i>Назва документу</i>	<i>Ресурс публікації</i>
Oesterreich and Teuteberg (2016)	Understanding the Implications of Digitization and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for The Construction Industry [3]	Computers in Industry
Baccarelli et al. (2017)	Fog of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and a Case Study [4]	IEEE Access
Shafiq et al. (2015)	Virtual Engineering Object/Virtual Engineering Process: A Specialized Form of Cyber-Physical System for Industry 4.0 [5]	Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems 19th Annual Conference, Kes-2015
Dallasega et al. (2018)	Industry 4.0 As an Enabler of Proximity for Construction Supply Chains: A Systematic Literature Review [6]	Computers in Industry
Kleineidam et al. (2016)	The Cellular Approach: Smart Energy Region Wunsiedel. Testbed for Smart Grid, Smart Metering and Smart Home Solutions [7]	Electrical Engineering
Theiler and Smarsly (2018)	IFC Monitor – An IFC Schema Extension for Modelling Structural Health Monitoring Systems [8]	Advanced Engineering Informatics
Nguyen and Lo Iacono (2016)	RESTful IoT Authentication Protocols [9]	Mobile Security and Privacy: Advances, Challenges and Future Research

		Directions
Li and Yang (2017)	A Research on Development of Construction Industrialization Based on BIM Technology under the Background of Industry 4.0 [10]	MATEC Web of Conferences
Dallasega et al. (2016)	A Decentralized and Pull-based Control Loop for On-demand Delivery in ETO Construction Supply Chains [11]	IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction
Delbrügger et al. (2018)	A Navigation Framework for Digital Twins of Factories Based on Building Information Modeling [12]	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA

### 2.3 Основні шляхи впровадження Індустрія 4.0 у будівельній галузі

Протягом тривалого часу вітчизняні підприємства намагалися розвиватися переважно за рахунок екстенсивного шляху, але ця тенденція практично вичерпала себе і стала економічно не вигідною. За сучасних умов для підприємств, щоб ефективно функціонувати, необхідне постійне оновлення своєї продукції, використання виробничих, організаційних, управлінських та інших нововведень. Адже, відомо, що підприємства, які постійно у своїй діяльності використовують різного роду інновації, інноваційні технології, є більш успішними та менш вразливими до негативного впливу зовнішнього середовища.

Слід відмітити, що інноваційні технології в кінцевому підсумку сприяють підвищенню конкурентоспроможності та ефективному розвитку підприємств у цілому. Особливо важливим упровадження інноваційних технологій стало для вітчизняних будівельних підприємств.

Для дослідження особливостей упровадження інноваційних технологій в контексті концепції Індустрія 4.0 у діяльність будівельних підприємств у

першу чергу слід з'ясувати поняття «Індустрія 4.0».

Індустрія 4.0 (Industry 4.0) - провідний тренд «Четвертої промислової революції», яка відбувається на наших очах.

Зараз ми живемо в епоху завершення третьої, цифрової революції, що почалася в другій половині минулого століття. Її характерні риси - розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація та роботизація виробничих процесів.

Характерні риси Індустрії 4.0 - це повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов. Кіберфізичні системи створюють віртуальні копії об'єктів фізичного світу, контролюють фізичні процеси і приймають децентралізовані рішення. Вони здатні об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в режимі реального часу, самоналагоджуватися і самонавчатися. Важливу роль відіграють інтернет-технології, що забезпечують комунікації між персоналом та машинами. Підприємства виробляють продукцію відповідно до вимог індивідуального замовника, оптимізуючи собівартість виробництва.

Індустрія 4.0 є моделлю, на основі якої світові компанії забезпечують вертикальну інтеграцію «розумних» машин, продуктів і виробничих ресурсів у гнучкі виробничі системи та їх горизонтальну інтеграцію в міжгалузеві мережі цінностей [13].

За прогнозами Всесвітнього Економічного Форуму, більшість технологій Четвертої революції стане повсякденністю вже в 2027 році[14]. А це означає, що з'являться не тільки розумні будинки, а й цілі розумні міста.

Четверта промислова революція, коли це стосується будівництва, може задіяти широке впровадження 3D-друку, друкованої електроніки, використання віртуальної і доповненої реальності і навіть розробку автономних роботів, які будуть не компонентами автоматизованих ліній, як зараз, а цілком мобільними високоінтелектуальними пристроями, здатними

працювати поруч з людьми.

Інженери найбільших світових компаній працюють над створенням інноваційних матеріалів, які дозволяють зводити будинки з унікальними характеристиками і незвичайної форми в стислі терміни.

Інновації в будівництві можна умовно розділити на продуктові (нові матеріали і комплектуючі, отримання принципово нових функцій) і процесорні (нові методи організації і технології виробництва, перехід на інший рівень автоматизації)[табл.2].

Продуктові інновації споживач може побачити. Потреба в швидкому та недорогому будівництві змушує шукати інженерів нові технології та методи зведення будівель і споруд. Одним з таких методів є будівництво за допомогою 3D-принтерів.

Існує два види будівництва за допомогою 3D-принтерів. У першому випадку принтер розташований на будівельному майданчику і процес зведення відбувається пошаровим нанесенням бетонної суміші відповідно до проекту. А в другому – об'ємні елементи друкуються в заводських умовах і доставляються на майданчик, де монтуються традиційними методами будівництва.

Одним із таких принтерів є система ContourCrafting, спроектована дослідниками з університету Південної Каліфорнії (University of Southern California), що здатна надрукувати двохповерхову будівлю всього за 24 години[15].

Звичайно, робота принтера ContourCrafting не зможе повністю замінити працю спеціалістів будівельних спеціальностей, хоча в майбутньому це неминуче відбудеться. Але сам процес будівництва за допомогою даної системи буде набагато швидшим та ефективнішим. Крім цього, завдяки технології тривимірного друку, можна позбутися від одноманітної типової забудови кварталів. Адже за допомогою комп'ютера фактично кожен зможе скласти проект свого майбутнього будинку з набору готових компонентів

Розділ 3 Оцінка впровадження елементів Індустрії 4.0 в будівельну галузь України.

### 3.1 Інформаційне моделювання будівельного об'єкту

Процесорні технології вирішують питання організації процесу зведення будівель і, на перший погляд, покупець їх не бачить. Наприклад, понад 80% девелоперів ніколи не вкладаються у дедлайни. У тому ж Києві терміни введення в експлуатацію більшості житлових комплексів затримуються на рік. Цю проблему дозволяють вирішити BIM-технології.

BIM-технології (BuildingInformationModel) — це так зване інформаційне моделювання будівельного об'єкту. Інакше кажучи, це віртуальне будівництво об'єкта, яке можливо реалізувати ще задовго до його фактичного завершення.

Основними відмінностями BIM від традиційних комп'ютерних моделей об'єктів є:

- інтегрована інформація – модель містить всю інформацію у єдиному центрі, забезпечуючи, таким чином, її узгодженість, точність і доступність;
- точна геометрія – всі об'єкти задаються достовірно (в повній відповідності з реальною, у тому числі і внутрішньою будовою), геометрично адекватно і в точних розмірах;
- всеосяжні і здатні до доповнення властивості об'єктів – всі об'єкти в моделі мають деякі заздалегідь задані властивості (характеристики матеріалу, код виробника, ціну, дату останнього обслуговування тощо), які можна змінювати, поповнювати і використовувати, як у самій моделі, так і через спеціальні формати файлів (наприклад, IFC);
- різноманітність смислових зв'язків – в моделі задаються і враховуються при розгляді такі форми зв'язку і взаємного підпорядкування складових частин, як: «міститься в», «залежить від», «є частиною чогось»;

– підтримка життєвого циклу – модель дозволяє підтримувати роботу з даними протягом всього періоду проектування, будівництва, експлуатації і навіть остаточного зносу будівлі [16].

У Баку побудували з нуля Олімпійський стадіон на 68 000 людей за 18 місяців. У роботі використовувалося BIM-рішення Tekla BIMSight, яке дало перевагу з точки зору продуктивності та дозволило мінімізувати паперовий документообіг. В іншому випадку на етапі проектування компаніям треба було б готувати паперові креслення протягом восьми місяців для 17 000 тонн складних сталевих конструкцій.

Країни Євросоюзу почали впроваджувати BIM-технології ще у 2013 році. В Україні застосування BIM в проектуванні мало стати обов'язковим з 2019 року. Але всі захопилися передвиборчими кампаніями та ініціативу пустили набезрік.

Таблиця 3.1

#### Приклади впровадження Індустрії 4.0 у будівельній галузі

<i><b>Види інновацій</b></i>	<i><b>Приклади</b></i>
1. Інновації, які стосуються будівельних матеріалів (продуктові).	1) застосування дерев'яних конструкцій, які не горять, замість бетону та цегли; 2) використання самоочисних фарб; 3) виробництво певних елементів за допомогою 3D-друку; 4) побудова споруд із соляних блоків, які змішують з крохмалем і покривають матеріалом з використанням епоксидної смоли; 5) бетон, що самовідновлюється – при виробництві бетону використовуються капсули з бактеріями якщо бетон тріскається, капсули розчиняються під впливом води, бактерії оживають і виділяють вапняк, який і закупорює тріщини. Розробка дозволить подовжити термін експлуатації бетону на десятиліття і економити на проведенні вартісного ремонту бетону[17].

<p>2. Інновації, що стосуються технологій будівництва (процесорні)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) BIM-технології;</li> <li>2) для будівництва були розроблені 3D-принтери з робочим об'ємом близько 1000м<sup>3</sup> та з технічною можливістю друку бетонною сумішшю;</li> <li>3) 3D-принтери, що друкують будинки з будівельного сміття у Наньтуні (КНР, провінція Цзянсу);</li> <li>4) будинки, що парять у повітрі у Японії.</li> </ol> <p>Японська компанія Air Danshin Systems Inc розробила систему, яка дозволяє піднімати будинок над землею при виникненні землетрусів. Будівля розташовується на повітряній подушці й не закріплюється на фундаменті. Після початку землетрусу спрацьовують датчики, що розташовані по периметру будівлі. Вони запускають компресори, які піднімають будинок на 3–4 см від землі, що дозволяє мінімізувати наслідки землетрусів.</p>
<p>3. Інновації, які стосуються організаційно-економічного або управлінського механізму</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) оцифрування бізнес-процесів;</li> <li>2) хмарне управління процесами.</li> </ol>

Однак будівництво – консервативна галузь. За даними дослідження McKinsey, незважаючи на те що на нього припадає 13% світового ВВП, воно, як і раніше, залишається однією з найменш оцифрованих сфер. І українські забудовники не виняток.

Сучасні будівельні підприємства, як правило, впроваджують інноваційні технології у таких сферах діяльності [18]:

- у сфері проектування – застосування сучасних перспективних проектів та інноваційних дослідно-конструкторських розробок;

- у сфері будівельного виробництва – використання інноваційних технологій, новітньої техніки й обладнання, виробів, напівфабрикатів і різних сучасних будівельних матеріалів;

- у сфері організації та управління будівництвом – упровадження прогресивних методів організації виробництва і нових актуальних способів та прийомів управління будівництвом, що забезпечують ефективність функціонування будівельного процесу, а також підвищення рівня якості ремонтних і будівельно-монтажних робіт та послуг і зростання конкурентоспроможності підприємства.

### 3.2 Модель кіберфізичної системи та ефекти її застосування у будівництві

Під кіберфізичною системою розуміють поєднання фізичних процесів та кібернетичних компонентів [19-20], які забезпечують організацію вимірювально-обчислювальних процесів, захищене зберігання та обмін вимірювальною і службовою інформацією, організацію та здійснення впливів на фізичні процеси. Об'єднання цих компонентів у межах єдиної системи дає змогу отримувати якісно нові результати, які можна використовувати для створення широкого спектра принципово нових наукових, технічних та сервісних засобів.

Джерелами розвитку кіберфізичних систем стали різні за своєю специфікою сфери людської діяльності: аерокосмічна галузь, автомобільна промисловість, громадська інфраструктура, енергетика, охорона здоров'я, транспорт, розваги, побутова техніка та ін.

На відміну від вже існуючих вбудованих систем, повноцінні КФС розробляються у вигляді мережі з декількох складових частин, які займаються переробкою сировини. Головна ідея кіберфізичних систем тісно пов'язана з роботичними та сенсорними системами, які обладнані «розумними» механізмами з достатніми обчислювальними можливостями для достатнього керування. Завдяки постійному науковому прогресу, КФС зазнають періодичних змін, які покращують зв'язок між фізичними та обчислювальними компонентами за допомогою «розумних» механізмів, покращуючи таким чином здатність до адаптації, підвищуючи автономність, ефективність, надійність та безпечність та розширюючи функціональність кіберфізичних систем. Завдяки цьому потенціал їх використання розширюється у наступні виміри людської діяльності: втручання у процес водіння (напр., уникнення зіткнень), точність при проведенні операцій (напр.,



роботохірургія), рятувальні або дослідницькі операції (за участь робототехніки), координація перевезень (напр., повітряний трафік).

Прикладом працюючої КФС може бути роботичний город у MIT, в якому команда роботів займається вирощуванням томатів. Ця система включає розподілену сенсорну мережу (стан кожної рослини відстежується), навігацію, бездротовий зв'язок та власне роботів.

Національна лабораторія штату Айдахо, що належить до підрозділів Міністерства енергетики США, розробляють за участі приватних компаній гнучкі контрольні системи, які будуть застосовуватися на об'єктах критичної інфраструктури. Це намагання спрямоване на створення комплексного підходу для аналізу тих аспектів діяльності, які не піддаються кількісним підрахункам (кібербезпека, людські відносини, складні взаємозалежності).

Ще одним прикладом є проект MIT під назвою CarTel. На таксі встановили спеціальні пристрої, які збирали інформацію про трафік в режимі реального часу в деяких районах Бостона. Надалі ця інформація додається до попередньо зібраних даних і використовується для розрахунку оптимального маршруту в заданий час визначеного дня.

Застосування КФС у будівництві.

КФС «Розумні будівлі» – інтелектуальні будівлі (з мінімальним чи нульовим споживанням ресурсів), що потребують постійного моніторингу, вони повинні бути підключені до мереж інтелектуальних сенсорів і контролюватися засобами КФС. Основною вимогою є досягнення нульового споживання енергії. Для цього вивчають теплові умови за допомогою інтелектуальних сенсорів температури локальної мережі та забезпечують адекватну ізоляцію за безперервного багатоточкового контролю температури. Велику увагу приділяють попередній оцінці теплових умов на етапі будівництва, усуненню містків холод. Для цього використовують такі методи і засоби контролю тепла: методи інфрачервоної діагностики за допомогою тепловізора, метод дискретно-точкового вивчення

температурного режиму обмежувальних площин, моніторинг температур у часі за допомогою чипів із вбудованими сенсорами температури, прикріпленими до внутрішньої та зовнішньої поверхонь обмежувальних площин тощо. Так виявляють та усувають містки холоду, досліджують енергетичні відбивні покриття з невідомим коефіцієнтом чорноти і керують роботою енергетичних підсистем для електропостачання, опалення та вентиляції. У переважній більшості таких КФС застосовують програмне забезпечення StructureWare Building Operation [21].

Наслідком використання таких КФС «Розумних будівель» стане досягнення нульового споживання енергії, мінімізація негативного впливу людської діяльності на природу, економію коштів споживачів, покращення рівня життя користувачів та ін.

### 3.3 Кластеризація складових елементів Індустрії 4.0 для будівельної галузі

Перший кластер включає широкий спектр технологій, доступних у промисловості 4.0: Інтернет, автоматичне обладнання, Інтернет речей, технологія доповненої реальності та датчики. Цей кластер завершує кібер-планування-фізичну екосистему, інтегруючи фізичні машини та пристрої, нефізичні технології та BIM для розміщення функціональних можливостей BIM для поліпшення будівельної діяльності на різних етапах. Застосування цих технологій у будівельній галузі неможливо здійснити без оцифрування даних BIM як середовища співпраці. Наприклад, автоматизація проектування, що поєднує модель BIM з передовими інструментами моделювання та генетичними алгоритмами, змогла масово налаштувати будівництво житла [14]; використання BIM в ядрі навігації забезпечило навігаційну систему розширеної реальності для навігації в будівлях [17]; використання маяків низької енергії Bluetooth (BLE), розширеної мови

розмітки (XML) у форматі інформаційного BIM та моделі BIM на платформі Unity надало працівникам відповідну інформацію в режимі реального часу, виходячи з їх поточного положення на будівельному майданчику через доповнену реальність [19]; і BIM, IoT, датчики, обчислення даних та вдосконалені інструменти аналітики були використані для моделювання, повторного моделювання та картографування моделювання для моніторингу продуктивності сталевого мосту як основного, що забезпечує технологічну систему [11]. Автоматизовані технології будівництва в режимі реального часу допоможуть будівельній галузі підвищити продуктивність та якість проекту протягом його життєвого циклу. Таким чином, доступність Інтернету та Інтернету речей дозволяє створити кібердомен для підтримки цих розумних технологій у фізичній області із підтримкою BIM у домені планування

#### Кластер управління

До кластеру 3 включені статті, пов'язані з управлінням, пов'язаними з промисловістю 4.0, включаючи управління, інновації, дизайн, ефективність, якість та цифрову трансформацію, які пов'язані з функціями BIM. Управління в епоху «Індустрія 4.0» з основою BIM поступово зробило революцію, про що свідчать більш високі показники та хороша якість будівельних практик. Цільові документи продемонстрували успішне впровадження Industry 4.0

Технології шляхом досягнення управління проектами в реальному часі [9], управління розумними технологіями [11], розумне управління навігацією в приміщенні [17], створення цифрового близнюка для управління об'єктами [3], управління дорожнім будівництвом [10], а також масового управління налаштування управління дизайном [4]. Завдяки чіткому розподілу управлінської бази для інтеграції BIM та Industry 4.0, галузь, що займається будівництвом, зможе завоювати переваги BIM та Industry 4.0 з точки зору управління, і, як очікується, розроблять та впроваджуватимуть більше технологій для підвищення продуктивності праці. Будучи основою проекту із

спільною та автономною системою синхронізації, BIM пропонує новий спосіб прогнозувати, керувати та контролювати якість та ефективність проекту протягом усього життєвого циклу проекту.

#### Методичні проблеми

Концептуальні документи процвітали в галузі 4.0 для теми будівельних досліджень. У цьому огляді було підсумовано сучасний стан досліджень, пов'язаних із «Промисловістю 4.0» у будівельній галузі, як концептуально, так і надається поглиблена систематична дискусія. З 20 цільових робіт 9 паперів були концептуальними. Концептуальні документи, як правило, містять чіткий опис теми дослідження, включаючи короткий опис того, що вже відомо про цю тему, та важливість досліджень без документування статистичних доказів джерел з метою залучення читачів до розуміння того, що дослідник зараз досліджує, зазвичай публікуються на більш ранніх етапах досліджень [16]. Чотири статті були класифіковані як систематичні огляди літератури (ЗЗР), що рецензують дані

тенденція до оцифрування та автоматизації будівельної галузі та визначення та класифікація шаблонів дослідницьких тем. Дзеркальні дзеркала використовуються для всебічного пошуку та синтезу споріднених

дослідження, використовуючи організовані, прозорі та повторювані процедури на кожному етапі процесу [7]. Іншим методом огляду, використовуваним у зведених статтях, був Longitudinal Literature Review (LLR).

LLR - наука про відстеження змін шляхом багаторазового вимірювання одного і того ж явища за одних і тих же обставин протягом тривалого періоду часу [8]. Ця процедура часто використовується в стандартних дзеркальних дзеркалах, але є

диференційована великою тривалістю періоду спостереження для виявлення зміни тенденції та визначення того, як тенденція впливає на оточення. Це цільовий огляд цих конкретних видів

документи здатні допомогти іншим дослідникам проаналізувати, що

зараз відбувається з будівельною галуззю через різкі зміни, зумовлені епохою Індустрії 4.0. Пропозиції щодо майбутніх досліджень

та огляд переваг та викликів теми дослідження був суворо задокументований, використовуючи докази впровадження в інших галузях. Оригінальні дослідження (первинні джерела) цільових робіт були обмеженими. Тільки сім оригіналів

Були знайдені статті, в яких використовувались кількісні дослідження на конкретні дослідницькі теми, які не були пов'язані між собою: розширена реальність [8], управління об'єктами [3], структурний моніторинг [13],

управління даними [8], управління дизайном [2] та управління проектами в режимі реального часу [19]. Усі відібрані документи обговорювали експерименти та отриманий результат. У статті були детальні описи методів, які використовуються для отримання результатів для подальшої перевірки чи передачі знань іншими дослідниками.

Для глибшого розуміння теорій, що лежать в основі промисловості 4.0 для будівництва, потрібні якісні дослідження, оскільки вони зосереджені на "чому", а не на "чому" для вивчення природного

явища теми дослідження. Однак обрані статті не містили якісного оригінального дослідження, оскільки тема дослідження ще в зародковому стані. Якісні наукові праці здатні пірнати

заглиблюватися в проблему теми дослідження, повідомляючи про явища з різних точок зору, виявляючи багато факторів, що беруть участь у ситуації, та загалом замальовують більшу картину, яка виникає.

Це обмеження дає можливість детальніше вивчити цю тему дослідження, оскільки явища незрілі через відсутність теорії та обмеженої кількості доступних досліджень.

## Висновок

Отже, інноваційні технології в загальній схемі управління стійкістю функціонування будівельного підприємства відіграють домінуючу роль в умовах кризи й у посткризовий період. Крім того, постійно йде процес розвитку засобів та методів виробництва, що призводить до ще більшої конкуренції, тому підприємству потрібно турбуватися про свою конкурентоспроможність. На сьогодні економічне змагання за лідерство вітчизняних будівельних підприємств пов'язане винятково з упровадженням інноваційних технологій. Успішними будуть лише ті підприємства, які обрали інноваційний шлях розвитку та здійснюють управління впровадженням інноваційних технологій на будівельних підприємствах. Адже впровадження інноваційних технологій дозволяє зменшити час і витрати на будівництво, поліпшити екологію завдяки використанню екологічно чистих будівельних матеріалів, тобто відмовитись від традиційних – азбесту, токсичних видів пластмаси, деяких марок бетону.

## Список використаної літератури

1. Industrie 4.0 in a Global Context Strategies for Cooperating with International Partners / H. Kagermann, R. Anderl, J. Gausemeier, G. Schuh, W. Wahlster (Eds.); acatech STUDY. Herbert Utz Verlag GmbH, 2016. 74 p.
2. VOSviewer [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vosviewer.com/getting-started>
3. Oesterreich, T.D.; Teuteberg, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Comput. Ind.* 2016, 83, 121–139.
4. Baccarelli, E.; Naranjo, P.G.V.; Scarpiniti, M.; Shojafar, M.; Abawajy, J.H. Fog of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and a Case Study. *IEEE Access* 2017, 5, 9882–9910.
5. Shafiq, S.I.; Sanin, C.; Szczerbicki, E.; Toro, C. Virtual engineering object/virtual engineering process: A specialized form of cyber physical system for industrie 4.0. *Procedia Comput. Sci.* 2015, 60, 1146–1155.
6. Dallasega, P.; Rauch, E.; Linder, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Comput. Ind.* 2018, 99, 205–225.
7. Kleineidam, G.; Krasser, M.; Reischböck, M. The cellular approach: Smart energy region Wunsiedel. Testbed for smart grid, smart metering and smart home solutions. *Electr. Eng.* 2016, 98, 335–340.
8. Theiler, M.; Smarsly, K. IFC Monitor—An IFC schema extension for modeling structural health monitoring systems. *Adv. Eng. Inform.* 2018, 37, 54–65.
9. Nguyen, H.V.; Iacono, L.L. *RESTful IoT Authentication Protocols*; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, 2016.

10. Li, J.; Yang, H. A Research on Development of Construction Industrialization Based on BIM Technology under the Background of Industry 4.0. MATEC Web Conf. 2017, 100, 02046.
11. Dallasega, P.; Marcher, C.; Marengo, E.; Rauch, E.; Matt, D.T.; Nutt, W. A Decentralized and Pull-based Control Loop for On-Demand Delivery in ETO Construction Supply Chains. In Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, 18–24 July 2016; pp. 33–42.
12. Delbrügger, T.; Lenz, L.T.; Losch, D.; Roßmann, J. A navigation framework for digital twins of factories based on building information modeling. In Proceedings of the 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFa), Limassol, Cyprus, 12–15 September 2017; pp. 1–4.
13. Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries / M. Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner et. al. Boston Consulting Group. April 2015. 20 p.
14. Всесвітній Економічний Форум [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.weforum.org>
15. ContourCrafting [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=136&v=31jkjsZPjtQ&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=136&v=31jkjsZPjtQ&feature=emb_logo)
16. Використання ВІМ-технологій та аналіз уніфікованої цифрової моделі (УЦМ) / В. М. Андрухов, А. О. Колесник, В. В. Матвійчук – УДК 725
17. Hendrik Marius Jonkers – Self-healing concrete containing bacteria [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=57&v=OXkW1q9HpFA&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=57&v=OXkW1q9HpFA&feature=emb_logo)
18. Тянь Р.Б. Сучасний стан будівельного ринку України і заходи щодо його стабілізації в умовах світової фінансової кризи / Р.Б. Тянь, М.Ф.



Іванов, І.В. Грищенко // Економіка будівництва і міського господарства. – 2009. – Т. 5. – № 2. – С. 107–112.

19. Edward Lee, *Cyber Physical Systems: Design Challenges* // University of California, Berkeley Technical Report No. UCB/EECS-2008-86, January 23, 2008.

20. Jules White et al. R&D challenges and solutions for mobile cyber-physical applications and supporting Internet services // *Journal of Internet Services and Applications*, Volume 1, Number 1, May 2010. – P. 45–56.

21. Микійчук М. М., Стадник Б. І., Яцишин С. П., Луцик Я. Т. (2017). Розумні вимірювальні засоби для кіберфізичних систем. Вимірювальна техніка та метрологія. – № 77. – С. 3–17.

22. *Marr, Bernard*. "Why Everyone Must Get Ready For The 4th Industrial Revolution". *Forbes*. Retrieved 14 February 2018.

23. ^ *November 2019, Mike Moore 05*. "What is Industry 4.0? Everything you need to know". *TechRadar*. Retrieved 27 May 2020.

24. ^ "The Industrial Revolution and Work in Nineteenth-Century Europe - 1992, Page xiv by David Cannadine, Raphael Samuel, Charles Tilly, Theresa McBride, Christopher H. Johnson, James S. Roberts, Peter N. Stearns, William H. Sewell Jr, Joan Wallach Scott. | Online Research Library: Questia". *www.questia.com*.

25. ^ "History of Electricity".

26. ^ "History – Future of Industry".

27. ^ *Schwab, Klaus (12 December 2015)*. "The Fourth Industrial Revolution". Retrieved 15 January 2019.

28. ^ "New Forum Center to Advance Global Cooperation on Fourth Industrial Revolution". *10 October 2016*. Retrieved 15 October 2018.

29. ^ Schwab, Klaus (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. *New York: Crown Publishing Group (published 2017)*. ISBN 9781524758875. Retrieved 29 June 2017. *Digital technologies [...] are not new, but in a break with the third*

*industrial revolution, they are becoming more sophisticated and integrated and are, as a result, transforming societies and the global economy.*

30. ^ "The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond". *World Economic Forum*. Retrieved 20 March 2018.

31. ^ *Schwab, Klaus*. "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond". *World Economic Forum*. Retrieved 29 June 2017. *The possibilities of billions of people connected by mobile devices, with unprecedented processing power, storage capacity, and access to knowledge, are unlimited. And these possibilities will be multiplied by emerging technology breakthroughs in fields such as artificial intelligence, robotics, the Internet of Things, autonomous vehicles, 3-D printing, nanotechnology, biotechnology, materials science, energy storage, and quantum computing.*

32. ^ *BMBF-Internetredaktion* (21 January 2016). "Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - BMBF". *Bmbf.de*. Retrieved 30 November 2016.

33. ^ "Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution". *Vdi-nachrichten.com* (in German). 1 April 2011. Archived from the original on 4 March 2013. Retrieved 30 November 2016.

34. ^ Industrie 4.0 Plattform Last download on 15. Juli 2013

35. ^ Jump up to:a b "Time to join the digital dots". 22 June 2018. Retrieved 25 July 2018.

36. ^ Federal Ministry of Labour and Social Affairs of Germany (2015). Re-Imagining Work: White Paper Work 4.0.

37. ^ "This Is Not the Fourth Industrial Revolution". 29 January 2016 – via *Slate*.

38. ^ Selbstkonfigurierende Automation für Intelligente Technische Systeme, Video, last download on 27. Dezember 2012

39. ^ Jürgen Jasperneite; Oliver, Niggemann: Intelligente Assistenzsysteme zur Beherrschung der Systemkomplexität in der Automation. In: ATP edition - Automatisierungstechnische Praxis, 9/2012, Oldenbourg Verlag, München, September 2012

40. ^ "Herzlich willkommen auf den Internetseiten des Projekts RES-COM - RES-COM Webseite". *Res-com-projekt.de*. Retrieved 30 November 2016.
41. ^ "RWTH AACHEN UNIVERSITY Cluster of Excellence "Integrative Production Technology for High-Wage Countries" - English". *Production-research.de*. 19 October 2016. Retrieved 30 November 2016.
42. ^ "H2020 CREMA - Cloud-based Rapid Elastic Manufacturing". *Crema-project.eu*. 21 November 2016. Retrieved 30 November 2016.
43. ^ Jump up to:a b c Hermann, Pentek, Otto, 2016: Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, accessed on 4 May 2016
44. ^ Jump up to:a b Bonner, Mike. "What is Industry 4.0 and What Does it Mean for My Manufacturing?". Retrieved 24 September 2018.
45. ^ Marr, Bernard. "What Everyone Must Know About Industry 4.0". *Forbes*. Retrieved 27 May 2020.
46. ^ Gronau, Norbert, Marcus Grum, and Benedict Bender. "Determining the optimal level of autonomy in cyber-physical production systems." 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). IEEE, 2016. DOI:10.1109/INDIN.2016.7819367
47. ^ Jump up to:a b c d e "How To Define Industry 4.0: Main Pillars Of Industry 4.0". *ResearchGate*. Retrieved 9 June 2019.
48. ^ Jump up to:a b c d Geissbauer, Dr. R. "Industry 4.0: Building the digital enterprise" (PDF).
49. ^ "IIOT AND AUTOMATION".
50. ^ Jürgen Jasperneite:Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt Archived 1 April 2013 at the Wayback Machine in Computer & Automation, 19 December 2012 accessed on 23 December 2012
51. ^ Kagermann, H., W. Wahlster and J. Helbig, eds., 2013: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group

52. ^ Jump up to: a b Heiner Lasi, Hans-Georg Kemper, Peter Fettke, Thomas Feld, Michael Hoffmann: Industry 4.0. In: *Business & Information Systems Engineering* 4 (6), pp. 239-242
53. ^ "Are You Ready For The Fourth Industrial Revolution?". *The One Brief*. 4 May 2017. Retrieved 27 May 2020.
54. ^ Yin, Yong; Stecke, Kathryn E.; Li, Dongni (17 January 2018). "The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0". *International Journal of Production Research*. 56 (1–2): 848–861. doi:10.1080/00207543.2017.1403664. ISSN 0020-7543.
55. ^ Shestakova I. G. New temporality of digital civilization: the future has already come // // *Scientific and Technical Journal of St. Petersburg State Polytechnical University. Humanities and social sciences*. 2019. # 2. P.20-29
56. ^ Imkamp, D., Berthold, J., Heizmann, M., Kniel, K., Manske, E., Peterek, M., Schmitt, R., Seidler, J., and Sommer, K.-D.: Challenges and trends in manufacturing measurement technology – the “Industrie 4.0” concept, *J. Sens. Syst.*, 5, 325–335, <https://doi.org/10.5194/jsss-5-325-2016>, 2016
57. ^ A.A. Kolomenskii, P.D. Gershon, H.A. Schuessler, Sensitivity and detection limit of concentration and adsorption measurements by laser-induced surface-plasmon resonance, *Appl. Opt.* 36 (1997) 6539–6547
58. ^ Arnold, H.: Kommentar Industrie 4.0: Ohne Sensorsysteme geht nichts, available at: <http://www.elektroniknet.de/messen-testen/sonstiges/artikel/110776/> (last access: 10 March 2018), 2014
59. ^ "Imagination Age".
60. ^ Jump up to: a b c d e "BIBB : Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft" (PDF). *Doku.iab.de (in German)*. August 2015. Retrieved 30 November 2016.
61. ^ Jump up to: a b c d e Birkel, Hendrik Sebastian; Hartmann, Evi (2019). "Impact of IoT challenges and risks for SCM". *Supply Chain Management*. 24: 39–61. doi:10.1108/SCM-03-2018-0142.