

## Тема 10. Індустрія 4.0. Промисловий Інтернет Речей

Перша промислова революція була обумовлена появою парових машин. Вона обплутала світ інфраструктурою залізниць.

Друга промислова революція була пов'язана з появою конвеєра та електрики. Вона створила мережу шосе та кабелів у всьому світі.

Третя промислова революція – середина 20-го століття, поява комп'ютерних технологій, цифрова революція, автоматизація виробництва. Ця революція в більшій мірі була пов'язана з інформатизацією і створенням інтернету.

Четверта промислова революція – впровадження кіберфізичних систем і персоналізованого виробництва. Вона поєднує засоби виробництва і власне продукцію. Якщо зараз усі процеси виробництва контролює людина через комп'ютер, то у четвертій промисловій революції продукт, який виробляється, сам може взаємодіяти з верстатом, з конвеєром, з споживачем, а сам споживач може на це впливати.

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.

Розвиток інтернету, інфокомунікаційних технологій (ІКТ), стійких каналів зв'язку, хмарних технологій і цифрових платформ, а також інформаційний «вибух» вирвалися з різних каналів даних, забезпечили появу відкритих інформаційних систем і глобальних промислових мереж, що виходять за межі окремого підприємства і взаємодіючих між собою. Такі системи і мережі надають перетворює вплив на всі сектори сучасної економіки та бізнесу за межами самого сектора ІКТ, і переводять промислову автоматизацію на нову четверту сходинку індустріалізації.

Компоненти «Industry 4.0»:

- елементи Інтернету речей;
- штучний інтелект, машинне навчання і робототехніка;
- хмарні обчислення;
- Big Data;
- аддитивное виробництво;
- кібербезпека;
- інтеграційна система;
- моделювання;
- доповнена реальність.

В основі Industry 4.0 лежать smart manufacture. На таких підприємствах можна реалізувати виробничі процеси будь-якої складності, при цьому звівши до мінімуму ризик збоїв і забезпечивши ефективне створення «розумних» продуктів. Однією з важливих складових подібних виробництв є безпроводові мережі, які охоплюють всі процеси, машини, ресурси і співробітників, а також дозволяють налагодити обмін даними між компаніями.

В рамках нового виробництва «розумні» продукти можна точно ідентифікувати, дізнатися їх поточний стан, які виробничі процеси вони вже пройшли, а які тільки чекають – у всіх подробицях. Залежно від отриманої інформації smart manufacture вибудовують маршрут прямування продукту і

роботу устаткування. Такий підхід дозволяє забезпечити мобільність і поліпшити логістику.

Завдяки глобальних мереж «розумні» продукти можна буде відстежувати в протягом усього циклу виробництва в режимі реального часу. У деяких випадках вони навіть зможуть практично автономно контролювати процес свого виробництва, забезпечуючи оптимізацію даних етапів з точки зору логістики, обслуговування та інтеграції з іншими процесами підприємства. Також в подальшому в будь-який момент можна буде інтегрувати в «розумну» продукцію деякі сервісні функції та задати специфічні параметри конструкції, формування замовлення, планування виробництва, експлуатації та утилізації, що особливо важливо при випуску невеликих партій товару.

«Розумні» підприємства будуть здатні враховувати індивідуальні вимоги замовників, в будь-яку хвилину змінюючи режим роботи виробництва і швидко реагуючи на збої в роботі постачальників. Повна прозорість виробничих процесів дозволяє приймати оптимальні рішення і створювати нові бізнес-моделі.

Також для впровадження «Industry 4.0» необхідно розвивати мережеву інфраструктуру, збільшувати пропускну здатність для ресурсоємних додатків і підвищувати якість обслуговування мережі, особливо в тих випадках, коли час виконання завдання критично важливо. Можливий варіант побудови глобальних мереж на «розумному» підприємстві із зазначенням зв'язків між інтелектуальними об'єктами і службами наведено на рисунку 10.1.

CPS – це рішення типу «хмара в коробці», призначене для підтримки процесів підприємства і об'єднують їх мереж. За допомогою додатків, наданих цією платформою, можна буде забезпечити надійний зв'язок між співробітниками, об'єктами і системами. Такі додатки передбачають:

- гнучкість, продуктивність і простоту використання розроблених сервісів;
- легке розгортання моделі бізнес–процесів безпосередньо з App Store;

- комплексне, безпечне і надійне резервне копіювання всіх бізнес-процесів;
- безпеку і надійність всього виробничого процесу – від датчиків до призначених для користувача мереж;
- підтримку мобільних платформ і пристроїв;
- підтримку спільного виробництва, процесів обслуговування, аналізу і прогнозування в мережах.

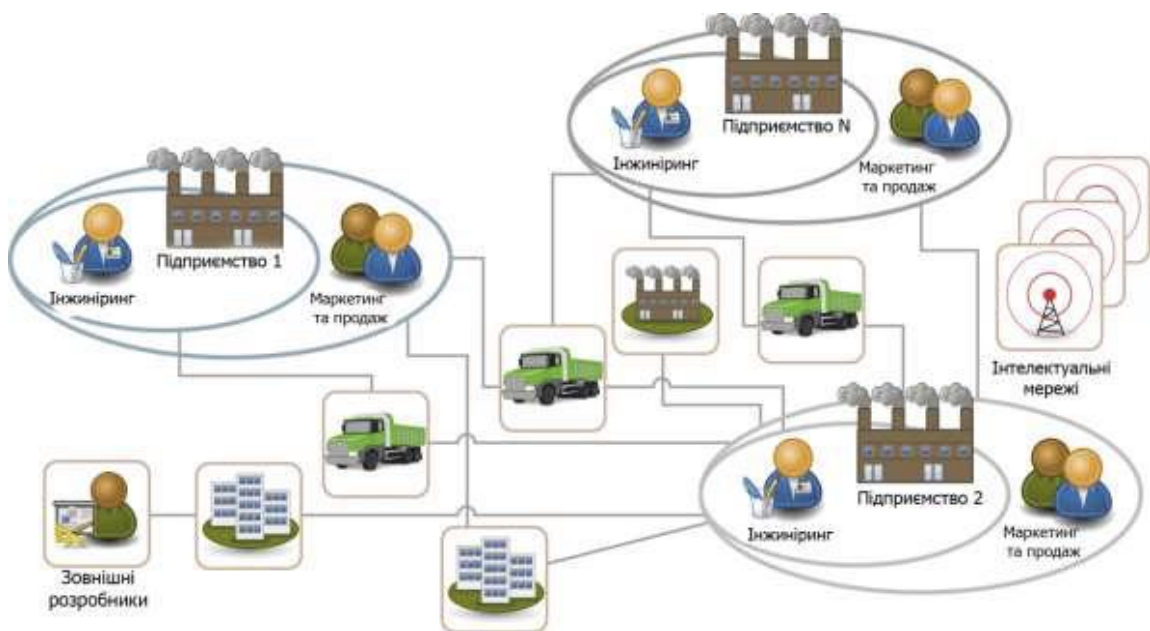


Рисунок 10.1 – Структура «розумного» підприємства

При розробці сервісів і додатків на CPS-платформах необхідно враховувати вимоги вертикальної і горизонтальної інтеграції. При цьому в рамках «Industry 4.0» оркестровка має більш широкий зміст, ніж в разі веб-сервісів: створення загальних служб і додатків повинно бути частиною спільної роботи компаній. Умовний варіант побудови глобальних мереж на базі CPS-платформи із забезпеченням зв'язку між інтелектуальними об'єктами представлений на рисунку 10.2.



Рисунок 10.2 – Основні об’єкти Industry 4.0

Експерти виділяють чотири базових технології, в результаті впровадження яких очікуються революційні зміни.

Інтернет речей (Internet of Things, IoT). У цій технології Інтернет використовується для обміну інформацією не тільки між людьми, але і між різними «речами», тобто машинами, пристроями, датчиками і т.д. З одного боку, речі, забезпечені датчиками, можуть, обмінюватися даними і обробляти їх без участі людини. З іншого боку, людина може активно брати участь в цьому процесі, наприклад, коли мова йде про «розумний будинок».

Різновидом IoT є промисловий (індустріальний) інтернет речей (Industrial Internet of Things, IIoT). Саме він відкриває пряму дорогу до створення повністю автоматизованих виробництв. Починається все з того, що ключові компоненти обладнання забезпечуються різними датчиками, виконавчими механізмами і контролерами; зібрані дані обробляються і надсилаються до відповідних служб підприємства, що дозволяє персоналу оперативно приймати обґрунтовані і виважені рішення. Але завдання-максимум полягає в досягненні такого рівня автоматизації підприємства, при якому на всіх ділянках, де це можливо, машини

працюють без участі людей. Роль персоналу при цьому зводиться до контролю роботи машин і реагування лише на екстрені ситуації.

Цифрові екосистеми. Це системи, що складаються з різних фізичних об'єктів, програмних систем і керуючих контролерів, що дозволяють уявити таке утворення як єдине ціле. Фізичні та обчислювальні ресурси в такій екосистемі тісно пов'язані, моніторинг і управління фізичними процесами здійснюється з використанням технологій ІоТ. Традиційні інженерні моделі гармонійно співіснують з комп'ютерними.

Аналітика великих даних (Data Driven Decision) або просто Великі дані (Big data). Величезні обсяги інформації, що накопичуються в результаті «оцифрування» фізичного світу, можуть бути ефективно оброблені тільки комп'ютерами (в майбутньому, можливо, квантовими), із застосуванням хмарних обчислень і технологій штучного інтелекту (Artificial Intelligence). В результаті людина, яка контролює той чи інший процес, ситуацію, обстановку має отримувати оброблені дані, максимально зручні для сприйняття, аналізу і ухвалення рішення.

Складні інформаційні системи, відкриті для використання клієнтами і партнерами (цифрові платформи). Це можуть бути цифрові платформи і системи для управління бізнес- процесами, для інтеграції інтернету речей в фізичні бізнес-процеси, для аналізу і прогнозування стану обладнання і т.д.

Четверта промислова революція, крім перерахованих вище сфер прискореного розвитку, може також задіяти широке впровадження 3D-друку, друкованої електроніки, застосування розподілених реєстрів (тобто технології блокчейн, яка стала популярною після створення на її основі криптовалюта), 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.

За прогнозами Всесвітнього Економічного Форуму, більшість технологій Четвертої революції стане повсякденністю вже в 2027 році. А це означає, що

з'являться не тільки розумні будинки, а й розумні міста, безпілотні автомобілі на вулицях, штучний інтелект в офісах і суперкомп'ютери в кишенях.

Вперше про програму «Індустрія 4.0» мова зайшла у 2011 році на промисловій виставці в Ганновері, де уряд Німеччини поставив задачу розширити застосування інформаційних технологій у виробництві. Над створенням програми модернізації промислових підприємств країни в цьому напрямку працювала високопрофесійна команда, до якої увійшли представники бізнесу і держави. Мета програми - збереження і збільшення конкурентних переваг підприємств країни.

### **Принципи побудови "Індустрії 4.0"**

Ключовою технологією програми Індустрія 4.0 вважається Інтернет Речей.

Складовою частиною Інтернету Речей і його головною на даному етапі розвитку технологій рушійною силою є Промисловий (або Індустріальний) Інтернет Речей (Industrial Internet of Things, IIoT).

Промисловий Інтернет Речей - це система об'єднаних комп'ютерних мереж і підключених до них промислових (виробничих) об'єктів з вбудованими датчиками і програмним забезпеченням для збору та обміну даними, з можливістю віддаленого контролю і управління в автоматизованому режимі, без участі людини.

На першому етапі впровадження IIoT на промислове обладнання встановлюють датчики, виконавчі механізми, контролери та людино-машинні інтерфейси. В результаті стає можливим збір інформації, яка дозволяє керівництву отримувати об'єктивні і точні дані про стан виробництва. Оброблені дані надаються всім підрозділам підприємства. Це допомагає налагодити взаємодію між співробітниками різних підрозділів і приймати обґрунтовані рішення.

Отримана інформація може бути використана для запобігання позаплановим простоям, поламам устаткування, скороченню позапланового

техобслуговування та збоєм в управлінні ланцюжками поставок, тим самим дозволяючи підприємству функціонувати більш ефективно.

При обробці величезного масиву неструктурованих даних, що надходять з датчиків, їх фільтрація і адекватна інтерпретація стає пріоритетним завданням. Тому особливого значення набуває представлення інформації в зрозумілому користувачеві вигляді. Для цього використовуються передові аналітичні платформи, призначені для збору, зберігання і аналізу даних про технологічні процеси і події, що відбуваються в реальному масштабі часу.

Промисловий Інтернет Речей дозволяє створювати виробництва, які виявляються більш ощадливими, гнучкими і ефективними, ніж існуючі. Бездротові пристрої з підтримкою протоколу IP, включаючи смартфони, планшети і датчики, вже активно використовуються на виробництві. Наявні дротові мережі датчиків в найближчі роки будуть розширені і доповнені бездротовими мережами, завдяки чому на підприємствах суттєво розширяться зони застосування систем моніторингу та управління. Наступний етап оптимізації виробничих процесів буде характеризуватися все більш щільною конвергенцією кращих інформаційних і операційних технологій.

Було сформульовано кілька основних принципів побудови "Індустрії 4.0", дотримуючись яких компанії можуть впроваджувати сценарії четвертої промислової революції на своїх підприємствах.

Перший — це сумісність, що означає здатність машин, пристроїв, сенсорів та людей взаємодіяти один з одним через інтернет речей (IoT).

Це веде до наступного принципу — прозорості, яка з'являється у результаті такої взаємодії. У віртуальному світі створюється цифрова копія реальних об'єктів, систем, функцій, яка точно повторює все те, що відбувається з її фізичним клоном. Внаслідок цього накопичується максимально вичерпна інформація про всі процеси, які відбуваються з обладнанням, "розумними" продуктами, виробництвом у цілому і так далі. Для цього потрібно забезпечити можливість збору всіх цих даних із сенсорів та датчиків, а також з обліку контексту, у якому вони генеруються.



Технічна підтримка — третій принцип "Індустрії 4.0". Комп'ютерні системи допомагають людям приймати рішення завдяки збору, аналізу та візуалізації всієї інформації, про яку говорилося вище. Ця підтримка також може полягати у повному заміщенні людей машинами при виконанні небезпечних чи рутинних операцій.

Четвертий принцип — деталізація управлінських рішень, делегування деяких із них кіберфізичним системам. Ідея полягає в тому, щоб автоматизація була настільки повною, наскільки це взагалі можливо: всюди, де машина може ефективно працювати без втручання людей, рано чи пізно повинно відбутися заміщення людини машиною. Співробітникам при цьому відводиться роль контролерів, які можуть приєднатися в екстрених ситуаціях.

Внаслідок переходу промисловості на ці принципи відбуваються також зміни у бізнес- моделях. Так, замість того, аби сфокусуватись на заощадливому виробництві, компанії прагнуть запровадити випуск персоналізованої масової продукції за принципом Agile і переходять на випуск партій розміром в один-єдиний продукт. При цьому зберігається принцип економії: роботизоване виробництво більш енергоефективне, воно супроводжується меншою кількістю відходів та браку.

Трансформація виробничої галузі називається революцією саме тому, що зміни відбуваються не поверхневі, а радикальні: індустрія перебудовується згори донизу. Змінюються бізнес-моделі, народжуються нові компанії, а всесвітньовідомі бренди з довгою історією просто зникають, якщо не встигають вступити до лав цифрових революціонерів. Клієнти змінили свою поведінку, вони хочуть індивідуального підходу та унікальних товарів.

Підприємствам, що звикли виробляти однакові речі, доводиться змінюватись. Впровадження принципів "Індустрії 4.0" дозволяє отримати низку переваг, що не були доступні в традиційних моделях минулого. Наприклад, тепер компанії можуть досягнути індивідуального підходу та персоналізувати замовлення згідно з особистим уподобанням клієнтів, що стрімко підвищує їхню лояльність. Старі заводи та фабрики перетворюються на "розумні" та починають

випускати буквально унікальні продукти за індивідуальним замовленням. При цьому знижуються питомі витрати на виробництво одиниці продукції, компанії отримують можливість продукувати унікальний персоналізований продукт за ціною масового стандартизованого продукту.

### **Приклади впровадження ІюТ**

За індивідуальним замовленням можуть вироблятися і двигуни, і сервери, і взагалі будь-що. На заводі Fujitsu Siemens у німецькому місті Аугсбург випускаються комп'ютерні системи та сервери буквально в одному екземплярі для конкретного замовника.

Витрати на випуск продукції за індивідуальним замовленням на підприємстві з високим рівнем автоматизації невеликі: якщо раніше під кожен таку пару кросівок довелося б переналаштовувати обладнання вручну, то зараз комп'ютерна система за лічені секунди робить це самостійно. Роботизація заводів Tesla, що випускають електромобілі, дозволила компанії розгорнути виробництво не в Китаї, а в Каліфорнії. Це виявилось дешевше, ніж оплачувати працю китайських робітників і транспортування готових машин. Четверта промислова революція не тільки змінює бізнес окремих компаній — вона впливає на розстановку сил на глобальному рівні. Хто б міг подумати, що виробник автомобілів, якому немає й десяти років (Tesla заснована у 2008 році), зможе обігнати по капіталізації лідера другої промислової революції, яка відбулась у результаті винаходу конвеєра та переходу на масове виробництво, — Ford Motors.

Завдяки новим технологіям й інший відомий виробник — компанія Adidas — переносить своє виробництво назад до Німеччини. На новій фабриці всі операції будуть виконувати роботи. Це не тільки оптимізує виробництво, але й суттєво збільшить швидкість.



Рисунок 10.3 – Роботизація заводів Tesla, що випускають електромобілі, дозволила компанії розгорнути виробництво не в Китаї, а в Каліфорнії

По мірі становлення цифрових екосистем виробничі підприємства з ізольованих систем, які самостійно виконують всі необхідні для виробництва продукції виробничі та бізнес-процеси, будуть перетворюватися у відкриті системи, що поєднують різних учасників ринку; управляти засобами виробництва в цих системах буде не персонал, а хмарні сервіси, кінцева мета всіх цих трансформацій - не випуск продукції, а надання послуг споживачеві.<sup>3</sup>

Вважається, що ПоТ-рішення дозволяють підвищити ефективність виробництва в кілька разів, а термін окупності таких проектів в більшості випадків не перевищує декількох місяців.

Наприклад, обладнання заводу Philips з виробництва бритв (Голландія) працює в неосвітленому приміщенні, де встановлені 128 роботів. Весь персонал заводу складається з дев'яти працівників.

Яскравим прикладом застосування Промислового Інтернету Речей є проект компанії Harley Davidson, яка виробляє знамениті мотоцикли. Основною проблемою, з якою зіткнулася компанія, була повільна реакція на запити споживачів в умовах зростаючої конкуренції і обмежена можливість кастомізації дилерами п'яти моделей, що випускаються. У період з 2009 по 2011 рік компанія провела масштабну реконструкцію своїх виробничих майданчиків. В результаті

була створена єдиний складальний майданчик, що випускає мотоцикли всіх п'яти моделей з можливістю їх кастомізації, при цьому замовнику пропонується вибір з понад 1300 варіантів.

В ході всього виробничого процесу використовуються датчики, керовані системою класу MES. Кожен верстат, кожна деталь має радіопозначку, яка однозначно ідентифікує виріб і його виробничий цикл. Дані від датчиків передаються в платформу обробки даних, що виконує роль інтеграційної шини для збору даних з датчиків і різних інформаційних систем, як внутрішніх виробничих і бізнес-систем компанії Harley Davidson, так і інформаційних систем контрагентів компанії.

В результаті Harley Davidson досягла вражаючих результатів:

- виробничий цикл вдалося скоротити з 21 дня до 6 годин (кожні 89 секунд з конвеєра сходить мотоцикл, повністю налаштований під свого майбутнього власника);
- реалізовано наскрізне управління виробом (мотоцикл) на всьому його життєвому циклі;
- вартість акцій компанії виросла більш ніж в 7 разів: з рівня 10 доларів в 2009 році до 70 доларів в 2015 році.

### **Тенденції та технології**

Крейг Резник (Craig Resnick), провідний аналітик відомої аналітичної компанії ARC Advisory Group, вважає, що в розвитку Промислового Інтернету Речей станом на початок 2017 року простежувалися шість основних тенденцій.

1. Головними складовими ПоТ стають передові аналітичні інструменти, штучний інтелект та машинне навчання. Багато підприємств давно використовують платформи бізнес-аналітики (BI) та інструменти інтелектуального виробництва (EMI). Тепер, завдяки ПоТ, виробничники можуть використовувати передові аналітичні інструменти (advanced analytics), штучний інтелект і машинне навчання для оперативного управління на випередження і прийняття рішень на основі поглибленої аналітики. Завдяки

цьому Промисловий Інтернет Речей стає стратегічним інструментом, спрямованим на поліпшення виробничих показників.

2. Все більше інтелектуальних пристроїв з'являється «на кордоні». Переміщення коштів аналітики на «передній край» мережі і, таким чином, ближче до джерел даних, допоможе поліпшити якість виробництва і продукції. Завдяки появі недорогих датчиків і процесорів з'являється можливість збирати і обробляти все більше даних про виробництво на фронтірі». Граничні (туманні) обчислення з вбудованою аналітикою стають прийнятною альтернативою також у випадках, коли небезпечно запускати аналітику в хмарі або від хмарного рішення відмовилися з якихось інших причин.

3. Поява цифрових двійників. Завдяки впровадженню технологій ІоТ стає можливим створення цифрової копії фізичного об'єкта, яку іноді називають «цифровий двійник». Цю копію використовують для моделювання, тестування і оптимізації даного фізичного об'єкта у віртуальному середовищі перед тим, як застосовувати його в реальному середовищі.

4. Аналогічно, дані, що надходять в реальному масштабі часу від інтегрованих в фізичні об'єкти датчиків або від інших джерел, можуть використовуватися для вирішення аналітичних задач, таких як моніторинг стану, діагностика відмови, відповідно до якої і складається аналітика. Отримане в результаті знання може підвищити цінність виробничих активів підприємства за рахунок:

- підвищення ефективності їх використання;
- скорочення часу простою;
- попередження відмов;
- забезпечення безперервних поліпшень продукції в процесі проектування і виробництва.

5. ІоТ допомагає розвивати технології доповненої і віртуальної реальності (AR / VR).

Підготовка нового персоналу за допомогою симуляторів може стати ефективним способом навчання. Застосовувані в ІоТ технології, такі як ігри,

доповнена / віртуальна реальність і 3D-занурення з використанням переносних пристроїв, можуть з високим ступенем достовірності імітувати реальну обстановку на підприємстві, функції працівників, елементи управління і фізичні об'єкти.

6. MQTT як основний протокол обміну повідомленнями в ІіоТ. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) - це спрощений протокол обміну даними, що працює поверх TCP / IP. Він добре підходить для використання в контролерах і датчиках, де потрібно невеликий розмір коду і існують обмеження по пропускній здатності каналу. Така ситуація є типовою для ІіоТ, тому MQTT розглядається як основний протокол Промислового Інтернету Речей.

### **Machine Learning**

Машинне навчання (МО, Machine Learning, ML) - великий підрозділ штучного інтелекту, що вивчає методи побудови алгоритмів, здатних навчатися.

Першу програму на основі алгоритмів, здатних самонавчатися, розробив Артур Самуель (Arthur Samuel) в 1952 році, призначена вона була для гри в шашки. Самуель дав і перше визначення терміну «машинне навчання»: це «область досліджень розробки машин, які не є заздалегідь запрограмованими». Більш точне визначення терміну «навчання» дав набагато пізніше Т. М. Мітчелл: кажуть, що комп'ютерна програма навчається на основі досвіду  $E$  по відношенню до деякого класу задач  $T$  і заходи якості  $R$ , якщо якість вирішення завдань з  $T$ , вимірний на основі  $R$ , поліпшується з набуттям досвіду  $E$ .

Вже в 1957 році була запропонована перша модель нейронної мережі, що реалізує алгоритми машинного навчання, схожі на сучасні. В даний час ведеться розробка самих різних систем машинного навчання, призначених для використання в таких технологіях майбутнього, як Інтернет Речей, Промисловий Інтернет Речей, в концепції «розумний» місто, при створенні безпілотного транспорту і в багатьох інших.

Про те, що на машинне навчання зараз покладають великі надії, свідчать такі факти:

- В компанії Google вважають, що скоро її продукти «перестануть бути результатом традиційного програмування - в їх основу буде покладено машинне навчання»;
- Компанії Google, Facebook, Apple, Amazon, Microsoft і китайська фірма Baidu вступили в боротьбу за талановитих фахівців у сфері штучного інтелекту;
- Марк Цукерберг, генеральний директор Facebook, особисто - по телефону і по відеочату - бере участь в спробах його компанії переманити найкращих випускників;
- Відвідуваність на найважливіших академічних конференціях в цій сфері збільшилася майже в чотири рази;
- Такі нові продукти, як Siri від Apple, M від Facebook, Echo від Amazon були створені за допомогою машинного навчання.

У найзагальнішому випадку розрізняють два типу машинного навчання: навчання по прецедентах, або індуктивне навчання, і дедуктивне навчання. Оскільки останнє прийнято відносити до області експертних систем, то терміни «машинне навчання» і «навчання по прецедентах» можна вважати синонімами. Цей метод навчання зараз, як прийнято говорити, в тренді, а ось експертні системи переживають кризу. Бази знань, що лежать в їх основі, важко узгоджувати з реляційною моделлю даних, тому промислові СУБД неможливо ефективно використовувати для наповнення баз знань експертних систем.

Навчання по прецедентах, в свою чергу, поділяють на три основних типи: контрольоване навчання, або навчання з учителем (supervised learning), неконтрольоване навчання (unsupervised learning), або навчання без учителя, і навчання з підкріпленням (reinforcement learning).

### **Методи машинного навчання**

Крім названих, розробляються і інші методи навчання: активне, багатозадачне, різноманітне, трансферне і т.д. Особливо успішно розвивається в

останні роки «глибоке навчання», при використанні якого можуть успішно поєднуватися алгоритми навчання з вчителем і без вчителя.

### **Контрольоване навчання**

Цей метод навчання застосовується у випадках, коли є великі обсяги даних, припустимо - тисячі фотографій домашніх тварин з маркерами (мітками, ярликами): це кішка, а це собака. Необхідно створити алгоритм, за допомогою якого машина могла б по фотографії, яку «не бачила» раніше, визначити, хто на ній зображений: кішка або собака. У ролі «вчителя» в даному випадку виступає людина, яка заздалегідь проставила маркери. Машина сама вибирає ознаки, за якими вона відрізняє кішок від собак. Тому в подальшому знайдений нею алгоритм може бути швидко переналаштований на рішення іншої задачі, наприклад, на розпізнавання курей і качок.

Машина знову-таки сама виконає складну і копітку роботу по виділенню ознак, за якими буде розрізняти цих птахів. А неймережа, яку навчили розпізнавати кішок, можна швидко навчити обробляти результати комп'ютерної томографії.

### **Неконтрольоване навчання**

Хоча маркованих, розмічених даних накопичилося вже досить багато, даних без маркерів (міток) все ж набагато більше. Це зображення без підписів, аудіозаписи без коментарів, тексти без анотацій. Завдання машини при неконтрольованому навчанні - знайти зв'язку між окремими даними, виявити закономірності, підібрати шаблони, упорядкувати дані або описати їх структуру, виконати класифікацію даних.

Неконтрольоване навчання використовується, наприклад, в рекомендаційних системах, коли в інтернет-магазині на основі аналізу попередніх покупок покупцеві пропонуються товари, які можуть зацікавити його з більшою ймовірністю, ніж інші. Або коли на після перегляду якогось відеокліпу на порталі YouTube відвідувачеві пропонують десятки посилань на



ролики, чимось схожі на переглянутий. Або коли Google у відповідь на один і той же запит ранжує посилання в результатах пошуку для одного користувача інакше, ніж для іншого, оскільки враховує історію пошуків.

### **Навчання з підкріпленням**

Таке навчання є окремим випадком контрольованого навчання, але вчителем в даному випадку є «середовище». Машина (її в цій ситуації часто називають «агент») не має попередньої інформацією про середовище, але має можливість здійснювати в ній будь-які дії. Середовище реагує на ці дії і тим самим надає агенту дані, які дозволяють йому реагувати на них і вчитися. Фактично агент і середовище утворюють систему зі зворотним зв'язком.

Навчання з підкріпленням використовується для вирішення більш складних завдань, ніж навчання з учителем і без вчителя. Воно використовується, наприклад, в системах навігації для роботів, які навчаються уникати зіткнень з перешкодами шляхом набуття досвіду, отримуючи зворотний зв'язок при кожному зіткненні. Навчання з підкріпленням використовується також в логістиці, при складанні графіків і плануванні завдань, при навчанні машини логічним іграм (покер, нарди, го і ін.).

### **Нейронні мережі і глибоке навчання**

Для машинного навчання використовують різні технології та алгоритми. Зокрема, можуть застосовуватися дискримінантний аналіз, байесовські класифікатори та багато інших математичних методів. Але в кінці XX століття все більше уваги почали приділяти штучним нейронним мережам (ANN). Черговий вибух інтересу до них почався в 1986 році, після істотного розвитку т.зв. «Методу зворотного поширення помилки», який з успіхом застосували при навчанні нейронної мережі.

ANN є системою з'єднаних і взаємодіючих між собою штучних нейронів, виконаних на основі порівняно простих процесорів. Кожен процесор ANN періодично отримує сигнали від одних процесорів (або від сенсорів, або від

інших джерел сигналів) і періодично посилає сигнали іншим процесорам. Всі разом ці прості процесори, з'єднані в мережу, здатні вирішувати досить складні завдання.

Найчастіше нейрони розташовуються в мережі за рівнями (їх ще називають шарами). Нейрони першого рівня - це, як правило, вхідні. Вони отримують дані ззовні (наприклад, від сенсорів системи розпізнавання осіб) і після їх обробки передають імпульси через синапси нейронів на наступному рівні. Нейрони на другому рівні (його називають прихованим, оскільки він безпосередньо не пов'язаний ні з входом, ні з виходом ANN) обробляють отримані імпульси і передають їх нейронам на вихідному рівні. Оскільки мова йде про імітацію нейронів, то кожен процесор вхідного рівня пов'язаний з декількома процесорами прихованого рівня, кожен з яких, в свою чергу, пов'язаний з декількома процесорами рівня вихідного. Така архітектура найпростішої ANN, яка здатна до навчання і може знаходити прості взаємозв'язку в даних.

Глибоке (глибинне) навчання може бути застосоване лише по відношенню до більш складних ANN, що містить кілька прихованих рівнів. При цьому рівні нейронів можуть чергуватися з шарами, які виконують складні логічні перетворення. Кожен наступний рівень мережі шукає взаємозв'язки в попередньому. Така ANN здатна знаходити не тільки прості взаємозв'язки, а й взаємозв'язки між взаємозв'язками. Саме завдяки переходу на нейромережу з глибинним навчанням компанії Google вдалося різко підвищити якість роботи свого популярного продукту «Перекладач». Зокрема, якість перекладу між англійською та французькою мовами підвищився відразу на 7 балів, тобто більш ніж на 20%. Попередня система, яка виконувала фразовий статистичний машинний переклад, домоглася подібного поліпшення за весь час свого існування (з 2006 року).

## Машинне навчання для бізнесу

Ринок машинного навчання швидко зростає. З 2016 року його обсяг подолав позначку в \$1 млрд, а до 2025 року, судячи з прогнозів, він може збільшитися до \$39,98 млрд.

В кінці 2016 року MIT Technology Review і Google Cloud провели спільне дослідження на тему «Машинне навчання: новий спосіб отримати конкурентну перевагу». Було опитано 375 кваліфікованих респондентів з різних країн світу, які працюють в дрібних і великих компаніях з різних галузей (промисловість, послуги, фінанси). В результаті дослідження з'ясувалося, що 60% компаній вже використовують машинне навчання (ML), а в третини з них ця технологія перейшла зі стадії інноваційної в стадію зрілості. Більш того, 26% компаній вже отримують за рахунок ML конкурентну перевагу. Чверть компаній інвестують в ML понад 15% від коштів, спрямованих на розвиток ІТ, і в значній мірі повертають зроблені інвестиції.

Машинне навчання і, зокрема, нейронні мережі доцільно використовувати для вирішення бізнес-завдань у випадках, коли:

- накопичено велику кількість різних даних, але програми для їх обробки і систематизації відсутні;
- наявні дані спотворені, не повні або не систематизовані;
- дані настільки різні, що важко виявити зв'язку і закономірності, що існують між ними.
- бізнес-завдання, які можуть вирішуватися засобами машинного навчання і нейронних мереж:
- прогнозування: попиту, обсягу продажів, наповнення складу, завантаження устаткування і інших ресурсів, подальшого розвитку підприємства і т.п.
- виявлення: тенденцій, прихованих взаємозв'язків, аномалій, повторюваних елементів і т.п.
- розпізнавання: фото-, відео-, аудіоконтенту, спроб шахрайства, брехні, внутрішніх загроз, зовнішніх атак на систему безпеки і т.п.

- автоматизація: роботи операторів в онлайн-чатах, телефонних операторів і т.п.
- класифікація: аналіз складу покупців, клієнтів, замовників і сегментація їх за різними параметрами.
- кластеризація: класифікація за параметрами, які з самого початку не були відомі.
- розробка: чат-ботів.

Серед компаній з українським корінням слід зазначити стартап Neuromation, який в лютому 2017 року під час ICO залучив \$71,6 млн. інвестицій.

Платформа Neuromation дозволяє створювати штучне навчальне середовище для глибокого навчання нейронних мереж на великій кількості прикладів. Дані для навчання ANN генеруються з використанням обчислювальних потужностей блокчейн-спільноти. Настільки оригінальне рішення компанія прийняла тому, що раніше, в процесі роботи над системами з використанням комп'ютерного зору, зіткнулася з проблемою браку обчислювальних ресурсів. Оренда ресурсів у хмарних сервісів Amazon або Google для стартапу виявилася непідйомною. А через бум майнінгу було практично неможливо купити відеокарти. Так з'явилася ідея брати обчислювальні потужності в оренду у майнерів, яка в підсумку перетворилася на створення нейроплатформи.

### **Smart Factory - розумне виробництво**

Поняття «розумна фабрика» (Smart Factory), «розумне виробництво» (Smart Manufacturing), «фабрика майбутнього» (Factory of the Future) з'явилися зовсім нещодавно і поки не мають строго визначених значень. Зараз вони використовуються як синоніми, хоча поняття «фабрика майбутнього» більш об'ємне і включає в себе не тільки «розумні виробництва», але також віртуальні та цифрові підприємства.

Національний інститут стандартів і технологій США (NIST) визначає термін Smart Manufacturing так: це «повністю інтегровані корпоративні

виробничі системи, які здатні в реальному масштабі часу реагувати на мінливі умови виробництва, вимоги мереж поставок і задовольняти потреби клієнтів». У цьому визначенні головне: «в реальному масштабі часу», тобто максимально оперативно, досягаються названі цілі за рахунок інтенсивного і всеосяжного використання інформаційних технологій і кіберфізичних систем на всіх етапах виробництва продукції та її поставки.

«Розумне виробництво», поряд з Промисловим Інтернетом Речей, лежить в основі Індустрії 4.0 (Industrie 4.0). Таку назву отримала програма німецького уряду з розвитку високих технологій. Характерна риса Індустрії 4.0 - повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в реальному масштабі часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов.

Оскільки поняття «розумне виробництво» досить розпливчате (іноді під ним розуміють активну роботизацію, автоматизацію більшості виробничих і управлінських процесів і навіть просто інновації), а перехід до нього відбувається в кілька етапів, що займають не один рік, робляться спроби розділити це поняття на три. Так, Е. Філос, координатор ІКТ-проектів в сьомій рамковій програмі Європейського Союзу з науково-технічного співробітництва, розділяє фабрики майбутнього на три основних типи - цифрові (Digital), «розумні» (Smart) і віртуальні (Virtual).

### **Digital Factory**

Основне завдання Цифровий Фабрики - розробка моделей, що випускаються з використанням засобів цифрового проектування і моделювання. Названі засоби починають використовувати ще на стадії досліджень і розробок, а закінчують створенням «цифрового макета» (Digital Mock-Up, DMU), «цифрового двійника» (Digital Twin), дослідницького зразка, випуском дрібної серії або окремих виробів, кастомізованих під вимоги замовника.

Основні системи та технології:

- Системи CAD/CAM/CAE, що об'єднуються терміном САПР (система автоматизованого проектування)

- PDM (Product Data Management) - система управління даними про виріб
- PLM (Product Lifecycle Management) – прикладне програмне забезпечення для управління життєвим циклом продукції
- Верстати з ЧПУ
- 3D-принтери і інші адитивні технології.

«Розумні» фабрики націлені на серійний випуск виробів, але при збереженні максимальної гнучкості виробництва. Забезпечується це завдяки високому рівню автоматизації і роботизації підприємства. Широко застосовуються автоматизовані системи управління технологічними та виробничими процесами. Технології Промислового Інтернету Речей (IIoT) забезпечують міжмашинну взаємодію обладнання. Виробничі активи підприємства, забезпеченого датчиками і засобами зв'язку, що працюють по протоколу IPv6, здатні випускати продукцію майже (або зовсім) без участі людини. Справитися з різко збільшеними потоками інформації, які надходять від датчиків і автоматизованих систем управління, дозволяють технології обробки великих даних (Big Data).

Основні системи та технології:

- АСУТП - автоматизована система управління технологічними процесами
- APS (Advanced Planning and Scheduling) - синхронне (вдосконалене) планування виробництва
- MES (Manufacturing Execution System) - система управління виробничими процесами
- IIoT ((Industrial Internet of Things) - промисловий (індустріальний) інтернет речей
- Big Data - великі дані.

Віртуальна фабрика - це мережа цифрових і «розумних» фабрик, в яку включені також постачальники матеріалів, компонентів і послуг. Для управління глобальними ланцюгами постачання й розподіленими виробничими активами на такій фабриці використовується ряд автоматизованих систем управління

підприємством. При належному ступені інтеграції вони дозволяють розробляти і використовувати віртуальну модель всіх організаційних, технологічних, логістичних та інших процесів, що проходять не тільки на підприємстві, але на рівні розподілених виробничих активів і глобальних ланцюжків постачань, аж до післяпродажного обслуговування.

Основні системи та технології:

- ERP (Enterprise Resource Planning) - планування ресурсів підприємства
- CRM (Customer Relationship Management) - система управління взаємовідносинами з клієнтами
- SCM (Supply Chain Management) - управління ланцюжками постачання.

### **Фінансові перспективи та етапи впровадження**

Потенціал зростання світового ринку «фабрик майбутнього» величезний. Обсяг ринку цифрових фабрик (PLM-системи, адитивні технології, апаратне і числове програмне забезпечення, верстати і т.д.) досягне, за різними оцінками, 260 млрд. доларів до 2020 року і 740 млрд. доларів до 2035 року. Обсяг ринку «розумних фабрик» - відповідно 490 млрд. доларів і 1,35 трлн. доларів. За віртуальним фабрикам експерти очікують зростання в 690 млрд. доларів до 2020 року і майже 1,5 трлн. доларів через 20 років.

Можливо, вже реалізуються проекти побудови нових підприємств, максимально наближених до реалізації концепції Smart Factory і навіть Virtual Factory, проте переклад вже працюючих підприємств на нові принципи планування, виробництва, поставок і післяпродажного обслуговування продукції буде здійснюватися поступово і з максимальним використанням вже наявних виробничих активів. Послідовність переходу істотно залежить від специфіки роботи підприємства і доступності нових технологій

У компанії IT-Enterprise виділяють наступні етапи, які потрібно пройти для того, щоб реалізувати концепцію Smart Factory і закласти основи для подальшого переходу до Virtual Factory.

- Цифровізація виробництва. Забезпечення персоналу мобільними платформами, установка на обладнання датчиків і промислових контролерів. Установка нового обладнання, яке спочатку вже оснащено цифровими інтерфейсами. Ідентифікація фізичних об'єктів підприємства.
- Забезпечення мережевої взаємодії. Завдання збору даних з датчиків в реальному масштабі часу можна вирішити за рахунок підключення всіх пристроїв і датчиків до платформи IT-Enterprise.IoT. Оперативний обмін інформацією між співробітниками забезпечує корпоративна соціальна мережа IT-Enterprise.Hubber.
- Побудова цифрового двійника підприємства(digital twin). Рішення завдання візуалізації реального стану справ на підприємстві. Вироблення чітких правил, за якими можна виявити відхилення від норми, що відбулися при виконанні виробничих і бізнес-процесів. ERP-система IT-Enterprise дозволяє дуже детально і оперативно візуалізувати і відстежувати стан провадження у всьому холдингу, по підприємству, показники роботи підрозділів і конкретного обладнання.

Забезпечення за допомогою мобільних платформ синхронізації даних автоматизованої системи планування та даних, отриманих від обладнання, оперативне корегування планів. Забезпечення достовірності та корисності оперативної інформації.

- Перехід до завдань планування в реальному масштабі часу на основі достовірної інформації про хід виробничих процесів.
- Забезпечення автоматичної реакції системи управління на більшість виробничих ситуацій. Тобто це рішення, яке вироблено індивідуально для конкретного обладнання, яке індивідуально налаштовується і завдяки цьому система зможе запускати автоматичні реакції на виробничі події з виробництва.