

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

курс лекцій з навчальної дисципліни


«Інтелектуальні системи управління»

(для здобувачів вищої освіти спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
усіх форм навчання другого (магістерського)
рівня вищої освіти)

Частина 1. Кіберфізичні системи

*Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 1 від «8» вересня 2023 р.)
Обов'язково до розміщення в репозиторії*

Запоріжжя 2023



Інтелектуальні системи управління: курс лекцій з дисципліни «Інтелектуальні системи управління» (для здобувачів вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти). **Частина 1. Кіберфізичні системи** / Уклад. О.В. Разживін. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 51 с.


Першу частину курсу лекцій присвячено кіберфізичним системам. Кіберфізичні системи розглядаються як складні розподілені системи, керовані або контрольовані комп'ютерними алгоритмами, з їх тісною інтеграцією з Інтернет та його користувачами. Розглянута технологія інтернет речей (Internet of Things, або IoT), які працюють у різних просторових і часових масштабах, з виявленням безлічі різних поведінкових модальностей та взаємодіють один з одним безліччю способів, які змінюються залежно від контексту..

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти).

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Протокол № 3 від «11» липня 2023 р.

Узгоджено:
Секретар Редакційної ради


Малій Х. В.
«12» липня 2023 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023

ЗМІСТ

	Стор.
1 ВВЕДЕННЯ В КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ (КФС)	4
1.1 Поняття КФС. Основні принципи організації КФС	4
1.2 Нові технології автоматизації. цикли розвитку інформаційних систем	8
2 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ. КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ	13
2.1 CALS, ERP, MES і АСУ ТП	13
2.2 Об'єкт і суб'єкт цехового керування	24
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНИХ АГЕНТІВ	28
4 ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (INTERNET OF THINGS)	40
4.1 Історія Інтернету Речей	40
4.2 Огляд архітектури Інтернет речей	41
4.3 Типи платформ Інтернету речей	44
5 СЕНСОРНІ МЕРЕЖИ	49
5.1 Основні поняття і принципи сенсорних мереж	49
5.2 Класифікація технологій передачі даних у IoT	51
5.3 Типи вузлів БСМ	53
6 ОСОБЛИВОСТІ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	57
6.1 Типові архітектури та топології БСМ (WSN)	57
6.2 Режими роботи БСМ	60
6.3 Протоколи маршрутизації в БСМ	60
6.4 Сполучення БСМ з мережами загального користування	64
6.5 Проблеми реалізації БСМ	65
6.6 Електроживлення вузлів БСМ від зовнішнього середовища	67
6.7 БСМ та Інтернет речей	71
7 СТАНДАРТИ БСМ	73
7.1 Стандарт IEEE 802.15.4	73
7.2 Стандарт ZigBee	74
7.3 Стандарт 6LOWPAN	77
7.4 Стандарти WirelessHART та ISA100.11a	79
7.5 Стандарт Z-Wave	84
7.6 Стандарт Bluetooth Low Energy	88
8 МЕРЕЖЕВІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ В АСКОЕ	91
8.1 Структури АСКОЕ	91
8.2 Структури АСКОЕ	97
8.3 Загальна структурна схема АСКОЕ мікрорайону	106
8.4 Апаратна реалізація АСКОЕ будинків	108
Використана література	114



1 ВВЕДЕННЯ В КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ (КФС)

1.1 Поняття КФС. Основні принципи організації КФС

Четверта індустріальна революція (Індустрія 4.0) - перехід на повністю автоматизоване цифрове виробництво, кероване інтелектуальними системами в режимі реального часу в постійній взаємодії із зовнішнім середовищем, що виходить за межі одного підприємства, з перспективою об'єднання у глобальну промислову мережу Речів та послуг.

У вузькому значенні Індустрія 4.0 (Industrie 4.0) – це назва одного з 10 проектів державної Hi-Tech стратегії Німеччини до 2025 року, що описує концепцію розумного виробництва (Smart Manufacturing) на базі глобальної промислової мережі Інтернет речей та послуг (Internet of Things and Services) .


У широкому сенсі, Індустрія 4.0 характеризує поточний тренд розвитку автоматизації та обміну даними, який включає *кіберфізичні системи, Інтернет Речей і хмарні обчислення*. Являє собою новий рівень організації виробництва та управління ланцюжком створення вартості протягом усього життєвого циклу продукції, що випускається.

Кіберфізичні системи – поняття досить комплексне. однозначного і загальноприйнятого визначення нині вони отримали, оскільки ці системи перебувають у перетині відразу кількох сфер і, залежно від реалізації. їх головною загальною характеристикою є дуже щільна взаємодія між обчислювальними процесами і фізичними процесами, тому можна сказати, що *кіберфізична система (CPS)* - це комплексна система з обчислювальних і фізичних елементів, яка постійно отримує дані з навколишнього середовища і використовує їх для подальшої оптимізації процесів управління.

Основним принципом роботи кіберфізичних систем можна назвати глибокий взаємозв'язок між їх фізичними та обчислювальними елементами. «мозок» системи у вигляді штучного інтелекту та інших технологій отримує дані від сенсорів у реальному світі, аналізує ці дані та використовує їх для подальшого управління фізичними елементами. Завдяки такій взаємодії кіберфізична система здатна ефективно працювати в умовах, що змінюються, як аналог людського організму або сучасна компанія, яка аналізує ситуацію на ринку, щоб розробити саме той продукт, який йому зараз потрібен. причому цикл «управління – отримання даних – обробка даних – управління» при налагодженій роботі системи щоразу має давати позитивні результати та створювати нову цінність.

Технологія кіберфізичних систем

Кіберфізична система - являє собою складну розподілену систему, керовану або контрольовану комп'ютерними алгоритмами, тісно інтегровану з Інтернет та його користувачами. Її технологічною основою



стала технологія інтернет речей (Internet of Things, або IoT). У системах CPS фізичні та програмні компоненти тісно взаємопов'язані. Кожна компонента працює у різних просторових і часових масштабах, виявляє безліч різних поведінкових модальностей і взаємодіє один з одним безліччю способів, які змінюються залежно від контексту. Зростання складності завдань управління зумовлює застосування принципово нових методів та систем управління.

Кіберфізичні системи здійснюють обчислювальні процедури у своїй розподіленій структурі, вони включають «розумні вузли» і уможливають реконфігурувати потоки в мережі залежно від умов. Таким чином, кіберфізичні системи є розподіленими системами з можливістю інтелектуальної обробки та реконфігурації потоків за рахунок інтелектуального управління. CPS застосовує трансдисциплінарні підходи, поєднуючи теорію кібернетики, мехатроніки, проектування та науки про процеси. Управління процесом часто називають вбудованими системами (embedded systems). У цих системах акцент найчастіше робиться на обчислювальних елементах і менше на інтенсивному зв'язку між обчислювальними та фізичними елементами. CPS схожа на технологію «Інтернет речей», що використовують одну й ту саму базову архітектуру. Однак CPS представляє більш високу комбінацію та координацію між фізичними та обчислювальними елементами. З системних позицій CPS є розподіленою субсидіарною системою. Ця система має багато рівнів, але на кожному рівні масштабу та складності з'являються нові властивості, які не зводяться до властивостей простих рівнів. На відміну від традиційних вбудованих систем, повнофункціональні CPS розробляються як мережа взаємодіючих елементів з фізичним введенням і виведенням, а не як автономні пристрої. Поняття CPS тісно пов'язане з концепціями робототехніки та сенсорних мереж із інтелектуальними механізмами власне обчислювального інтелекту, що ведуть шлях. Постійний прогрес у науці та техніці дозволяє створювати зв'язок між обчислювальними та фізичними елементами за допомогою інтелектуальних механізмів, значно збільшуючи адаптивність, автономність, ефективність, функціональність, надійність, безпеку та зручність використання кіберфізичних систем. Деякі приклади практичного застосування кіберфізичних систем

В виробничому середовищі

Кіберфізичні системи можуть покращити виробничі процеси, забезпечуючи обмін інформацією реального часу між промисловим обладнанням, виробничим ланцюжком поставок, постачальниками, системами управління бізнесом та клієнтами. Крім того, кіберфізичні системи можуть підвищувати ефективність цих процесів завдяки автоматичному моніторингу та контролю всього виробничого процесу та адаптації виробництва для задоволення переваг клієнтів. Кіберфізичні системи підвищують прозорість та керованість ланцюжків поставок,



покращуючи відстежуваність та безпеку товарів.

В охороні здоров'я

Кіберфізичні системи використовуються для дистанційного моніторингу фізичних показників пацієнтів у реальному часі з метою зменшення потреб у госпіталізації (наприклад, пацієнтів з хворобою Альцгеймера) або для покращення догляду за інвалідами та літніми людьми. Крім того, кіберфізичні системи застосовуються в нейробиологічних дослідженнях для вивчення функцій організму людини з використанням інтерфейсів між мозком та обладнанням та терапевтичною робототехнікою.

У відновлюваній енергетиці

Інтелектуальні енергомережі являють собою кіберфізичні системи, в яких датчики та інші пристрої забезпечують моніторинг мережі з метою контролю, підвищення надійності та енергоефективності. В інтелектуальних будівлях: спільна робота інтелектуальних пристроїв та кіберфізичних систем дозволяє скоротити енергоспоживання, підвищити безпеку та захищеність, а також створити комфортніші умови для мешканців. Наприклад, кіберфізичні системи можуть підтримувати моніторинг енергоспоживання та використання систем регулювання для реалізації концепції будинку з нульовим споживанням електроенергії. Крім того, їх можна використовувати для визначення ступеня шкоди для будівель у результаті непередбачених подій та запобігання руйнуванню конструкцій.

На транспорті

Транспортні засоби та інфраструктура можуть взаємодіяти між собою, обмінюючись в реальному часі інформацією про дорожній рух, місцезнаходження та проблеми, запобігаючи транспортним інцидентам і дорожнім пробкам, підвищуючи безпеку і зрештою заощаджуючи час і гроші.

В сільському господарстві

Кіберфізичні системи можуть використовуватися для створення більш сучасного та ефективного сільського господарства. Вони можуть збирати важливу інформацію про клімат, ґрунт та інші дані для більш точного управління сільськогосподарськими роботами. Датчики кіберфізичних систем можуть вести постійний моніторинг різних показників, таких як зрошення ґрунту, вологість повітря та здоров'я рослин для підтримки оптимальних навколишніх умов.

В обчислювальних середовищах

Кіберфізичні системи дозволяють краще розуміти поведінку систем та користувачів для підвищення продуктивності та більш ефективного управління ресурсами. Наприклад, можна оптимізувати роботу програм з урахуванням контексту та дій користувачів або відстежувати доступність ресурсів. Крім того, популярні соціальні мережі та сайти електронної комерції зберігають інформацію про дії користувачів та затребуваний контент, аналізують цю інформацію, щоб

передбачати, що може бути цікаво користувачам, та пропонувати рекомендації щодо друзів, публікацій, посилань, сторінок, подій чи продуктів.

Концепції Індустрії 4.0, що характеризується впровадженням «кіберфізичних систем» у заводські процеси. Четверта промислова революція пов'язана не тільки з розумними та взаємопов'язаними машинами та системами. Її спектр дії значно ширший. Одночасно виникають хвилі подальших проривів у різних областях: від розшифровки інформації, записаної в людських генах до нанотехнологій, від відновлюваних енергоресурсів до квантових обчислень. Саме синтез цих технологій та їх взаємодія у фізичних, цифрових та біологічних доменах становлять фундаментальну відмінність четвертої промислової революції від усіх попередніх революцій. Класичне визначення кіберфізичних виробничих систем – людська праця, «розумні» машини та транспорт, інтегровані в єдиному цифровому просторі за допомогою мереж, «розумних» пристроїв, сенсорних систем, аналітичних платформ та хмарних обчислень. Ключовими відмінностями кіберфізичних виробничих систем від традиційних виробничих систем є децентралізація, висока стійкість, абсолютна гнучкість та здатність до безперервної та нескінченної самооптимізації. Обов'язковою ознакою кіберфізичних виробничих систем є наявність у їх складі автономних «розумних» пристроїв, машин та розумного транспорту, розподіленої системи інтелектуальних сенсорів, з'єднаних між собою з платформами хмарних обчислень та аналітики. У новій виробничій реальності кіберфізичні системи будуть допомагати людині справлятися з дедалі більшою складністю виробничих завдань, що стоять перед нею.


Головною глобальною тенденцією визнано технологічний прогрес...



... в рамках якого розглядають 8 технологій, які мають найбільший вплив на бізнес



Рисунок 1.1 – Технологічний прогрес на найближчі п'ять років



Основні принципи концепції Індустрії 4.0: функціональної сумісності людини та машини можливості контактувати безпосередньо через інтернет; прозорості інформації та здатності систем створювати віртуальну копію фізичного світу.

1.2 Нові технології автоматизації. цикли розвитку інформаційних систем

Сучасні ІТ інновації, їх поява та тренди розвитку знаходяться під безперервною увагою аналітиків. Групові роботи аналітиків дозволяють ІТ компаніям найбільш відповідально вкладати кошти у розвиток та використання сучасної автоматизації.

Згідно з базовими принципами аналітики перспектив розвитку автоматизації (гіперавтоматизації) виділяються такі посилки:

- майбутнє можна створити залежно від докладених зусиль;
- майбутнє можна змінювати залежно від рішень заінтересованих людей;
- майбутнє неможливо передбачити достовірно, але можна підготуватися.


Розрізняють два підходи такої аналітики: аналітичні звіти та форсайт (погляд у майбутнє). Обидві технології спрямовані на оцінку довгострокових перспектив науки, технологій, економіки та суспільства та визначення стратегічних напрямів досліджень та нових технологій, здатних принести найбільші соціально-економічні блага людству.

У зарубіжній практиці бізнес технологій цифровізації використовує рекомендації провідних аналітичних компаній, зокрема: Gartner, International Data Corporation, Orange Business Services.

Gartner (Гартнер) – дослідницька та консалтингова компанія, що спеціалізується на ринках інформаційних технологій. Дослідженням Gartner регулярно присвячуються статті у таких виданнях, як Financial Times, The Wall Street Journal, The New York Times, Der Spiege, The Register, ZDNet. Компанія вважається ключовим дослідником ринків технологій цифровізації.

Для того, щоб спертися на найбільшу репрезентивність аналітичних звітів, звернемося до історичного розвитку консалтингових компаній. Починаючи з першої половини 1990-х років, Gartner поглинула більше 30 компаній, в основному - конкурентів, що діють на ринку досліджень, причому як працювали в окремих регіонах, так і глобальних. Серед найбільших поглинань:

- AMR Research (2009) – аналітик ринків корпоративних інформаційних технологій, що спеціалізується в основному на ERP-, SCM- та PLM-системах (сума угоди склала \$64 млн);
- Burton Group (2009) – глобальний аналітик ІТ-ринків, що спеціалізується на практичному досвіді впроваджень;
- IDEAS International (2012) - аналітична ІТ-компанія, що



спеціалізувалась на технологічних оцінках та порівняннях конкурентних серверних технологій та технологій зберігання даних;

- Software Advice (2014) - компанія, що надає дослідження та відгуки користувачів на програмні продукти в таких галузях як автоматизація маркетингу та Business Intelligence середнього та малого рівня бізнесу;

- Capterra (2015) – власник інтернет сервісу з інструментами для пошуку, підбору та порівняння програмного забезпечення, аналітичними статтями та оглядами за відомими постачальниками додатків для бізнесу.

Іншою міжнародною аналітичною компанією є International Data Corporation (IDC). IDC – провідний постачальник інформації та консультаційних послуг, організатор заходів на ринках інформаційних технологій, телекомунікацій та споживчої техніки. IDC допомагає професіоналам IT, керівникам бізнесу та інвесторам приймати обґрунтовані рішення про закупівлю та їх вибір. IDC є підрозділом видавничої компанії International Data Group. За власними даними на IDC працюють понад 1100 аналітиків у 110 країнах світу, які збирають та обробляють інформацію про місцеві ринки IT.

Експерти цієї компанії вважають, що у найближчі 5 років найвищі темпи зростання очікуються від ринку консалтингу з безпеки. Зростання складності загроз, цифрова трансформація бізнес сфери і динамічна нормативно-правова база, що часто оновлюється, сприяють швидкому розвитку сегментів ринку керованих послуг безпеки: керованих пристроїв UTM (Unified Threat Management) і управлінню безпекою та вразливістю. Попит на послуги корпоративної кібербезпеки в Росії найвищий у фінансах, промисловості та енергетиці.

Ще однією компанією аналітиків перспектив розвитку технологій цифровізації є Orange Business Services. Orange Business Services – підрозділ Orange Group, який працює на ринку B2B. У компанії працює 21 000 співробітників, які підтримують процеси цифрової трансформації міжнародних корпорацій на п'яти континентах. Orange Business Services не тільки телеком-оператор, але і інтегратор IT рішень і постачальник сервісів з доданою вартістю. Інтегровані технології Orange Business Services охоплюють цілий спектр рішень – від програмно-визначуваних мереж (SDN/NFV), Big Data та IoT до хмарних обчислень, уніфікованих комунікацій, засобів спільної роботи та кіберзахисту. Серед клієнтів Orange Business Services понад 3 000 відомих міжнародних корпорацій, що працюють на глобальному рівні, а також понад 2 мільйони професіоналів та компаній.

Форсайт – формат комунікації та соціальна технологія, що дозволяє учасникам визначити бажане майбутнє та домовитися про подальші дії.

У списку стратегічних напрямів в автоматизації виділяються три напрями розвитку технологій, пов'язаних із гіперавтоматизацією:



робототехніка, мобільні технології, комп'ютерна графіка та гейміфікація.

Робототехніка. У 2018 році обсяг світового ринку побутових роботів досяг 3,02 млрд дол.

Експерти прогнозують, що попит на побутові роботи збільшується завдяки їхній практичності та зручності, які досягаються за рахунок таких функцій, як візуалізація приміщень та визначення зон, у які не повинні потрапляти роботи. Інтеграція з «розумними» голосовими помічниками від Amazon та Google розширює функціональність такої техніки. У 2017 році у світі продано понад 381 тис. промислових роботів на \$16,7 млрд.

Мобільні, вбудовані та переносні пристрої, а також програмне забезпечення для них. До цього напряму відносять проекти, пов'язані зі створенням мобільних додатків і пристроїв, що носяться (wearables), проекти сфери мобільної охорони здоров'я тощо.

Нові розробки в комп'ютерній графіці та гейміфікації. Комп'ютерна графіка дуже потрібна для створення програмного забезпечення для сучасного бізнесу. Сучасні комп'ютерні ігри вимагають серйозної наукової бази – йдеться і про можливості побудови реалістичного 3D-зображення, і про серйозну графіку, і навіть про нові матеріали та пристрої

Провідними компаніями аналітики перспектив розвитку цифрових технологій виділяються 5 основних трендів (див. рис 1.2).

Тренд перший – демократизація штучного інтелекту. Як пишуть аналітики Gartner, вже найближчими роками технології штучного інтелекту (AI) будуть усюди. Деякі з них (наприклад, технології глибокого навчання та віртуальних помічників) стануть загальнодоступними у наступні 2-5 років. У всіх звітах консалтингових компаній дійсно багато технологій, пов'язаних із штучним інтелектом – автономні автомобілі, автономні літаючі транспортні засоби, віртуальні помічники, автономні роботи, розумні платформи для спілкування, глибоке навчання тощо

Тренд другий – цифрові екосистеми. У компанії Gartner впевнені, що перехід від роз'єднаних технічних інфраструктур до екосистемних платформ відкриють нові бізнес моделі, які допоможуть сформувати міст між людьми і технологіями. Що таке "цифрові екосистеми"? Аналітики Gartner під цим терміном розуміють різні технології: блокчейн та платформи для інтернету речей (IoT Platform), кіберфізичні системи. Також до цієї категорії потрапили блокчейн для безпеки даних, цифрові двійники, графи знань (Knowledge Graphs). Блокчейн та платформи для інтернету речей вже пройшли пік галасу, і досягнуть зрілості протягом наступних найближчих років.

Тренд третій – diy-біохакинг. У наступні десять років, як пишуть у Gartner, люди навчатимуться зламувати біологічні процеси та адаптувати їх під свій стиль життя та інтереси. Проте аналітики зазначають, що залишаються питання, наскільки суспільство готове прийняти такі зміни та які етичні проблеми виникають. До цього розділу аналітики віднесли

– біочіпи, штучні та вирощені тканини та органи, інтерфейс мозок-комп'ютер, доповнена реальність (Augmented Reality), змішана реальність (Mixed Reality), розумний одяг та матеріали. Цікаво, що доповнена реальність (Augmented Reality), як і розумна одяг, далі за інших просунувся у впровадженні. Проте аналітики, як і раніше, вважають, що до масовості використання пройде ще 5-10 років.



Рисунок 1.2 – Основні тренди перспектив розвитку цифрових технологій

Тренд четвертий – людиноцентричні технології. Під цим трендом у Gartner мають на увазі те, що технології продовжать ставати все більш людиноцентричними. Такі технології розширяють можливості просторів, де буває людина, і дозволять розумніше жити і працювати. До подібних технологій в нинішньому звіті віднесені 4D-принтинг, системи, що самовідновлюються, розумний пил, розумне робоче місце, батарейки з кремнієвим анодом (ємність яких набагато більше звичайних), стереодисплей.

Тренд п'ятий – повсюдна інфраструктура. Сенс цього тренду у цьому, що інфраструктура більше перестав бути стримуючим чинником у розвиток компаній. Масова популярність хмарних обчислень та численних варіацій цієї технології дають компаніям доступні та майже безмежні обчислювальні потужності. Цей тренд є такими технологіями, як 5G, карбонові нанотрубки, нейроморфні мікросхеми, квантові обчислення.

Згідно з прогнозом подальшого розвитку, у період з 2018 по 2022 р. включно інвестиції в обладнання, програмне забезпечення, послуги та зв'язок, залучені до створення рішень інтернету речей, зростатимуть у середньому на 18% щорічно.

Нуре сycle IT компанії Gartner Нуре сycle – графічне відображення проникнення, адаптації та соціального впливу нових технологій цифровізації (див. рис. 1.3).

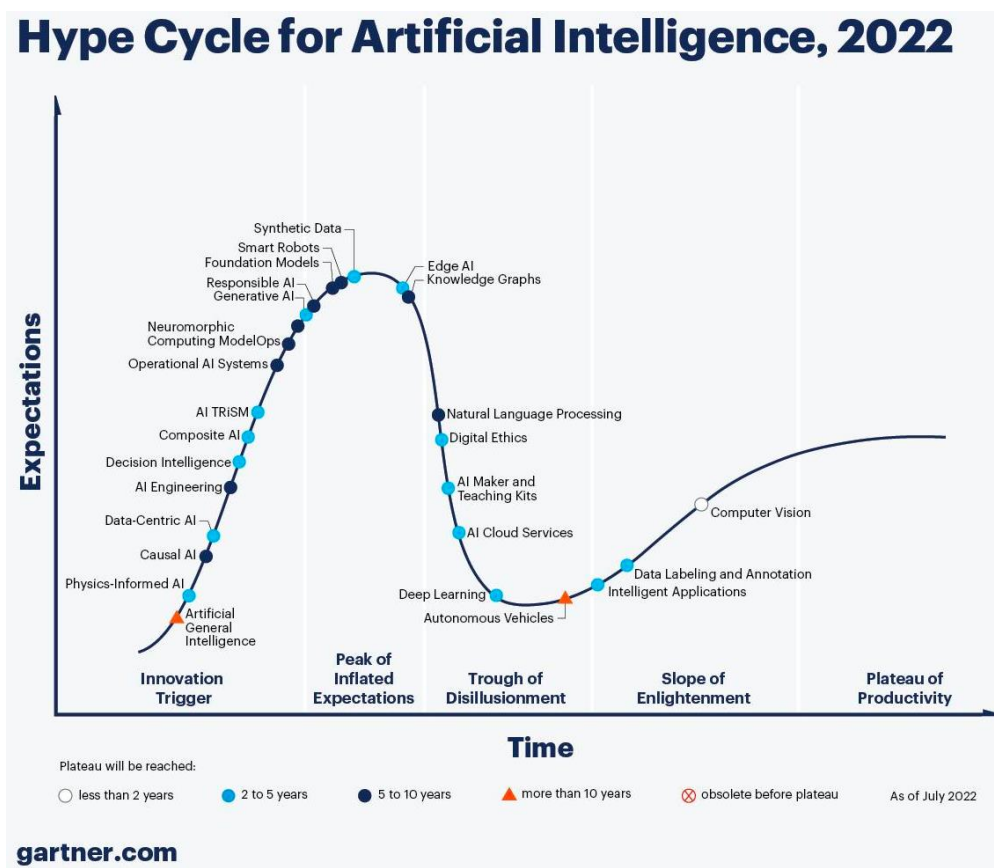



Рисунок 1.3 - Прогнози Gartner за роками (Нові технології)



С 1995 Gartner використовує цю методику для опису та оцінки ентузіазму, який викликає у користувачів появу нових технологічних рішень. Хайп-цикл розвитку сучасних ІТ компанії Гартнер графічно представляється S-подібною кривою із виділенням п'яти ділянок. На думку експертів, будь-яка сучасна інноваційна технологія проходить через ділянки хайп-циклу. Дослідники Gartner вважають, що реалізовані ними дослідження та супутня інфографіка допомагають професіоналам відокремити «мрії» ЗМІ від реальності. Зокрема, таким чином, ІТ-директори та генеральні директори компаній можуть приймати більш точні рішення про використання чи не використання новинок.

У кривій Нуре суцє перехідний процес коливального типу. Виділяють 5 ділянок, які проходить будь-яка інноваційна технологія.

«*Запуск технологій*» характеризується появою технологій та обговоренням перспектив розвитку спочатку розробниками, пізніше з рекламою в ентузіастів.

«*Завищені очікування*» характеризується застосуванням окремих компаній даної технології на своїх потужностях.

«*Ділянка розчарування*» характеризується виявленням недоробок та недоліків інновації, виникненням розчарування.

«*Ділянка освіти*» характеризується виправленням та доповненням розробниками інноваційного продукту, що стає якіснішим, а також появою інтересу меншого, ніж у пік очікувань.

«*Ділянка продуктивності*» характеризується завоюванням інновації ринку.

За прогнозами аналітиків, до 2025 року потенційний економічний ефект від впровадження технологій кіберфізичних систем складе близько \$14-33 трлн. Цей аналіз заснований на поглибленому аналізі ключових потенційних переваг, у тому числі якісніших продуктів і нижчих цін. До звіту увійшли такі технологічні напрями:

- мобільний інтернет;
- автоматизація;
- Інтернет речей;
- хмарні обчислення;
- удосконалена робототехніка;
- автономні транспортні засоби;
- геноміка наступного покоління;
- нові засоби накопичення енергії;
- ЕБ-друк;
- покращені матеріали та паливо;
- поновлювані джерела енергії.

2 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ. КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ

2.1 CALS, ERP, MES і АСУ ТП

Сучасні реалії такі, що підприємства різних галузей незалежно від виду діяльності дедалі частіше стикаються з необхідністю автоматизації діяльності загалом. Неможливо вручну обробляти величезні масиви неструктурованих даних, необхідні аналітичного аналізу та прийняття рішень. Для вирішення цієї проблеми були створені системи автоматизації: CALS, ERP, MES і АСУ ТП.


Автоматизована система (АС) – це програмно-технічний комплекс, який виконує як функції контролю за параметрами та характеристиками процесу, результатом чого є сигналізація оператору про вихід контрольованих параметрів (ключових показників ефективності) за межі встановленого контрольного інтервалу (інформаційна система управління), так і функції локального управління, надання безпосереднього на контрольовану частину процесу, у тому, що не порушувалися встановлені контрольні кордону.

В даний час поширеним рішенням АС є:

Автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) – система контролю, управління та захисту технологічного процесу, побудована на засобах вимірювання, обчислювальної техніки, виконавчих пристроїв та механізмів і призначена для забезпечення комплексної автоматизації технологічних операцій на виробництві.

Розподілена система управління (РСУ) – сукупність територіально та функціонально розподілених автоматизованих та автоматичних підсистем з єдиним інформаційним простором, у якій кожна підсистема може використовувати параметри та результати обчислень інших підсистем. У зарубіжних джерелах розподілена система управління носить назву DCS (англ. Distributed Control System) – це комплекс технічних та програмних рішень для побудови АСУ ТП, характерною рисою якої є децентралізована обробка вимірювань КВП та наявність розподілених систем введення та виведення інформації, підвищена відмовостійкість, стандартна система диспетчерського керування.

Автоматизована система управління виробничими процесами цеху (MES, manufacturing execution system) – це система менеджменту виробничої діяльності, яка ініціює, спрямовує, реагує та повідомляє людям, керуючим виробництвом, про роботу виробництва в режимі «on-line» та реальний масштаб часу. Ця система допомагає діяльності у сфері виконання промислових замовлень. Це система автоматизованого управління цеховим рівнем підприємства, призначена для виробництва необхідних виробів або надання інфраструктурних послуг, що включає контроль якості, управління



документообігом, внутрішньозаводське диспетчерське управління, відстеження незавершеного виробничого процесу, контроль за дотриманням операційної технологічної карти, протоколювання виробничого процесу, управління ресурсами та виправленням бракованих виробів, контрольно-вимірвальні процедури та збір даних.

Автоматизована система керування підприємством (ERP/MRP II). Це системи автоматизованого планування ресурсів підприємства (ERP) та планування виробничих ресурсів (MRP II), системи, які забезпечують фінансування, управління замовленнями, управління кадрами, планування продукції та матеріалів та надають відповідні функції. Сучасні системи цього призначення зосереджені на виконанні комплексного планування, ділових процесів та їх виконанні по всьому підприємству.

Автоматизована система керування життєвим циклом продукції CALS. Перша частина абревіатури CALS – Continuous Acquisition [Support] (безперервний збір даних) означає безперервність інформаційної взаємодії під час формалізації потреб клієнта, формування замовлення, процесу проектування та виготовлення.

Друга частина – Life Cycle Support (підтримка життєвого циклу виробу) – означає системність підходу до інформаційної підтримки всіх процесів життєвого циклу виробу, насамперед процесів експлуатації, обслуговування, ремонту та утилізації тощо.

Автоматизована система управління технологічним процесом (SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition), диспетчерське управління та збір даних – це програмний пакет або програмно керований комплекс, призначений для розробки та забезпечення роботи в реальному часі систем збирання, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

Крім того, для управління технологічними процесами та діяльністю підприємств використовуються окремі системи автоматизації: управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM); управління бізнес-процесами (BPM); технічне обслуговування та ремонт (ТОiP); управління виробничими активами (EAM); розширене планування та планування (APS); керування життєвим циклом продукції (PLM); система керування лабораторною інформацією (LIMS).

Спільне застосування подібних систем дозволяє вибудувати гнучку вертикаль управління діяльністю підприємства, починаючи від автоматичного збирання інформації та закінчуючи отриманням зведених аналітичних звітів.

Використання цих систем забезпечує управління інформацією у масштабах всього підприємства на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях.

Відповідно до назв рівнів (див. рис. 2.1), встановлюється область відповідальності рівня управління, що відрізняється в першу чергу частотою обробки даних та ієрархічною значимістю.

Оперативний рівень відрізняється високою частотою обробки ділової інформації, а стратегічний рівень – низькою. Це ускладнює узгодження часу спільної обробки даних. Однак, менеджмент воліє виконувати обробку інформації на всіх рівнях у реальному масштабі часу.

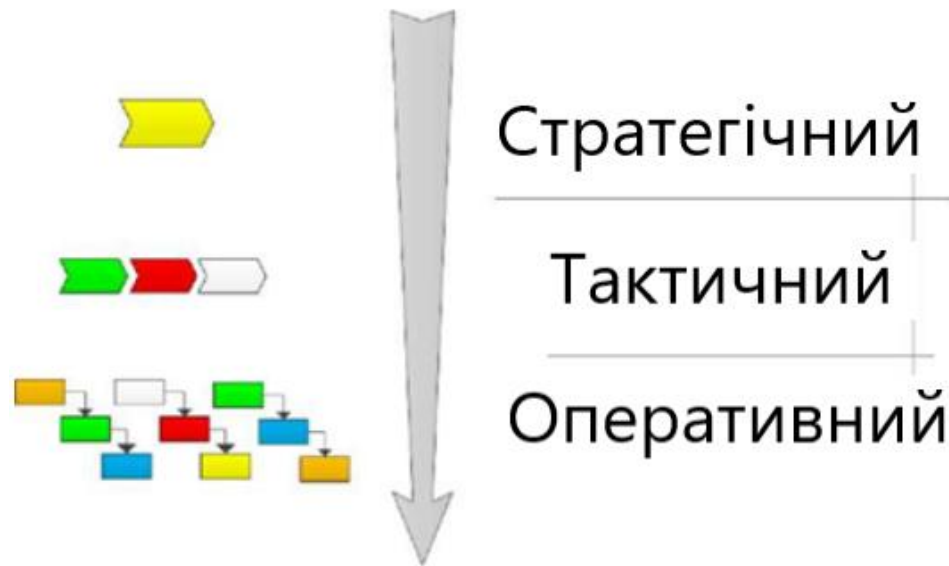


Рисунок 2.1 – Рівні управління

Користувачами цих систем є:

- директор, управління підприємством, ERP;
- начальник виробництва, управління виробництвом, MES;
- оператор, керування технологічним процесом, SCADA, DCS;
- бізнес-аналітик, моніторинг ключових показників ефективності (KPI) BI;
- менеджер, управління бізнес-процесом, BPM;
- механік, управління технічним обслуговуванням, TOiP, EAM;
- менеджер, управління виробничим плануванням, APS;
- конструктор, керування життєвим циклом виробу, PLM;
- технолог, лабораторний контроль якості, LIMS.

Завданнями учасників виробничих процесів є безперервне керування процесами виробництва:

- оператор/робочий реєструє виконання технологічних операцій, вказує причини простоїв обладнання, робить запити на переналагодження тощо, система дозволяє йому бачити своє вироблення;
- наладчик обробляє запити на переналагодження обладнання та реєструє факт його здійснення;
- майстер/начальник ділянки контролює виконання операцій на ділянці та підтверджує виконання завдань;
- контролер служби якості підтверджує проведення контрольних



операцій;

- диспетчер веде оперативне планування у ручному чи автоматичному режимі залежно від специфіки роботи ділянки;
- працівник інструментальної комори обробляє заявки від наладчиків та операторів на отримання та повернення ріжучого інструменту та оснащення.

Основні функції SCADA, MES, ERP:

1. Введення-виведення інформації: формування графічного інтерфейсу користувача;

- обмін даними з іншими інформаційними системами.

2. Обробка даних (бізнес-логіка).

3. Зберігання даних (база даних).

У системі ERP забезпечується управління фінансово-господарською діяльністю підприємства, планування та облік у виробництві на міжцеховому рівні. Основні завдання ERP:

- управління фінансами;
- керування персоналом;
- керування операціями (логістика, постачання, збут).

Основні завдання MES:

1. Оперативне керування виробництвом:

- виробничими замовленнями;
- запасами та незавершеним виробництвом;
- технологічними маршрутами;
- операціями;
- сертифікатами;
- специфікаціями;
- рецептами;
- трудовими ресурсами;
- документами;
- відстеження виробничих подій;
- відстеження життєвого циклу продукції.

2. Аналіз ефективності технологічного устаткування. 3. Управління якістю продукції.

Основними завданнями SCADA є:

1. Візуалізація технологічного процесу (HMI).

2. Оперативне керування технологічним процесом.


3. Управління аварійними повідомленнями та подіями.

4. Аналіз історичних даних (трендів).

5. Генерація звітів.

Система MES застосовується для внутрішньоцехового управління виробництвом: побудови виробничих розкладів та контролю їх виконання на кожній ділянці, одиниці обладнання:

- щоденне планування робіт з дільниць та окремих одиниць обладнання з урахуванням плану цеху на поточний період;
- оперативна зміна добового плану з урахуванням поточної



ситуації в цеху (проломка обладнання, нестача інструменту або матеріалу, відсутність співробітника тощо);

- диспетчеризація та облік виконання робіт, візуалізація виробничого процесу у реальному часі;

- отримання інформації про реальне завантаження обладнання у цехах;

- скорочення паперового документообігу за рахунок ведення внутрішньоцехових документів в електронному вигляді (змінно-добових завдань, маршрутних карток, різних виробничих журналів);

- ведення заявок на отримання інструменту та оснащення в інструментальних коморах.

Система SCADA – диспетчерське управління та збирання даних, призначена для збору, обробки та відображення інформації у виробничих цехах на технологічному рівні виробництва. З її допомогою можна відстежувати стан обладнання, а саме: яке обладнання зараз працює, яке вимкнено, яке простоє і чому це відбувається.

Для забезпечення інтеграції та синхронізації обміну даних розробники більшості ERP та MES-систем орієнтуються на міжнародний стандарт MEK 62264, що включає опис об'єктів, атрибутів і моделей інтеграції.


Асоціація MESA (www.mesa.org) пропонує таке визначення MES: це «...система, що складається з набору програмних та апаратних засобів, що забезпечують функції управління виробничою діяльністю – від замовлення виготовлення партії продукції і до завершення виробництва. Використовуючи своєчасні та точні дані, MES-система ініціює, веде, реагує на ситуацію, що змінюється, складає звіти про виробничі процеси в міру їх протікання. MES-система дозволяє обмінюватися MESA інформацією про виробничі процеси з іншими інженерними та бізнес-підрозділами підприємства та ланцюжками його поставок через двонаправлені канали зв'язку».

Асоціація визначила 11 основних функцій MES:

1. Контроль стану та розподіл ресурсів (RAS, Resource Allocation and Status) – управління ресурсами виробництва (машинами, інструментальними засобами, методиками робіт, матеріалами, обладнанням) та іншими об'єктами (наприклад, документами про порядок виконання кожної) виробничої операції). У рамках цієї функції описується детальна історія ресурсів та гарантується правильність налаштування обладнання у виробничому процесі, відстежується стан обладнання у режимі реального часу.

2. Оперативне/детальне планування (ODS, Operations/Detail Scheduling) – оперативне та детальне планування роботи, засноване на пріоритетах, атрибутах, характеристиках та властивостях конкретного виду продукції, детальний та оптимальний розрахунок завантаження обладнання під час роботи конкретної зміни.

3. Диспетчеризація виробництва (DPU, Dispatching Production



Units) – поточний моніторинг та диспетчеризація процесу виробництва, відстеження виконання операцій, зайнятості обладнання та людей, виконання замовлень, обсягів, партій, контроль у реальному часі виконання робіт відповідно до плану. У режимі реального часу відстежуються всі зміни, що відбуваються, і вносяться коригування в план цеху.

4. Управління документами (DOC, Document Control) – контроль змісту та проходження документів, які повинні супроводжувати виріб, включаючи інструкції та нормативи робіт, способи виконання, креслення, процедури стандартних операцій, програми обробки деталей, записи партій продукції, повідомлення про технічні зміни, передачу інформації від зміни до зміни, а також забезпечення можливості вести планову та звітну цехову документацію. Передбачається архівування інформації.

5. Збір та зберігання даних (DCA, Data Collection/Acquisition) – інформаційна взаємодія різних виробничих підсистем для отримання, накопичення та передачі технологічних та керуючих даних, що циркулюють у виробничому середовищі підприємства. Дані про хід виробництва можуть вводиться як вручну персоналом, так і автоматично із заданою періодичністю з АСУТП або безпосередньо з виробничих ліній.

6. Управління персоналом (LM, Labor Management) – надання інформації про персонал із заданою періодичністю, включаючи звіти про час та присутність на робочому місці, стеження за відповідністю сертифікації, а також можливість враховувати та контролювати основні, додаткові та сумісні обов'язки персоналу, такі як виконання підготовчих операцій; розширення зони роботи.

7. Управління якістю продукції (QM, Quality Management) – надання даних вимірювань про якість продукції, у тому числі виробничого рівня, забезпечення належного контролю якості та особливий контроль «критичних точок». Може запропонувати дії щодо виправлення ситуації в даній точці на основі аналізу кореляційних залежностей та статистичних даних причинно-наслідкових зв'язків контрольованих подій.

8. Управління виробничими процесами (PM, Process Management) – відстеження заданого виробничого процесу, автоматичне внесення коректив чи пропозицію відповідного рішення оператору для виправлення чи підвищення якості поточних робіт.

9. Управління виробничими фондами (техобслуговування) (MM, Maintenance Management) – підтримка процесу технічного обслуговування, планового та оперативного ремонту виробничого та технологічного обладнання та інструментів протягом усього виробничого процесу.

10. Відстеження історії товару (PTG, Product Tracking and Genealogy) – надання інформації у тому, де й у порядку велася робота

з цією продукцією. Інформація про стан може включати звіт про персонал, що працює із цим видом продукції, компоненти продукції, матеріали від постачальника, партію, серійний номер, поточні умови виробництва, невідповідність встановленим нормам, індивідуальний технологічний паспорт виробу.

11. Аналіз продуктивності (PA, Performance Analysis) – звіти про реальні результати виробничих операцій, порівняння їх з попередніми та очікуваними результатами. Подані звіти можуть включати такі вимірювання, як використання ресурсів, наявність ресурсів, час циклу виробничого ресурсу, відповідність плану, стандартам та ін. насамперед за умов обмежених фінансових коштів (інвестицій).

Системи автоматизації (BI, ERP, MES, АСУ ТП) і рівні управління можна співвіднести у вигляді піраміди (див. рис. 2.2), в якій основи кожної її частин відображають обсяги інформації для прийняття рішень. Системи виду BI та ERP визначають стратегічний рівень управління, MES-системи задають тактичний рівень, а АСУ ТП – оперативний. Аналіз проблем, що виникають при інтеграції подібних систем, вимагатиме детального опису кожного рівня.

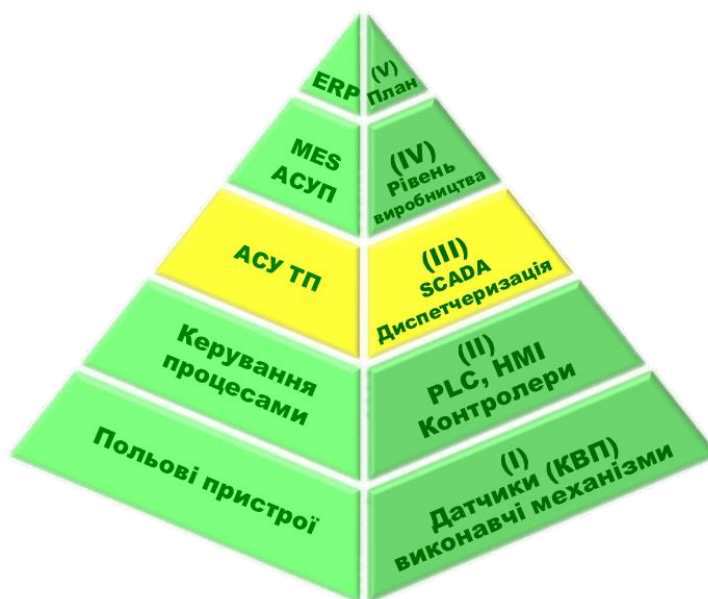



Рисунок 2.2 – Рівні автоматизації діяльності підприємства

Контур управління рівня АСУТП (технологічний) є найінтенсивнішим за обсягом інформації та найжорсткішим за часом реакції, що може становити хвилини, секунди і навіть мілісекунди. У верхньому рівні шару АСУТП - у SCADA-системах відбувається накопичення та обробка великої кількості технологічних параметрів та створюється інформаційна база вихідних даних для MES-рівня.

Контур управління рівня MES (оперативно-виробничий) спирається на відфільтровану та оброблену інформацію, що надходить




як від АСУТП, так і інших служб виробництва (постачання, технічної підтримки, технологічних, планово-виробничих і т.д.). Інтенсивність інформаційних потоків тут суттєво нижча та пов'язана із завданнями оптимізації заданих виробничих показників (якість продукції, продуктивність, енергозбереження, собівартість тощо). Типові часи циклів управління складають годинник, зміни, тижні. Оперативне управління виробництвом у цьому контурі управління здійснюється фахівцями, які детальніше, ніж вищий менеджмент, володіють виробничою ситуацією (керівники виробничих цехів, ділянок, основні технології, енергетики, механіки та інших.). Завдяки ефективним контурам управління MES забезпечується підвищення якості виробництва та ефективність прийнятих рішень у межах делегованих менеджменту цеху повноважень.

Контур управління рівня ERP (стратегічний) завдяки MES та АСУ ТП звільняється від вирішення оперативних завдань виробництва та забезпечує підтримку бізнес-процесів підприємства загалом. Потік інформації від виробничого блоку стає мінімальним і включає агреговану керуючу та звітну інформацію за стандартами ERP з типовими часами контролю тиждень, декада, місяць, квартал, а також «аварійні» події сигнали, що вимагають негайного втручання вищого менеджменту підприємства.

Спільне застосування BI, ERP, MES та АСУ ТП систем дозволяє вибудувувати єдину систему управління підприємством, у якій кожен рівень інтеграції виконує строго задану функцію: формування аналітичної звітності, ведення об'ємно-календарного планування, розрахунок оптимального виробничого розкладу та контроль технологічних процесів. ERP системи постійно розвиваються і внаслідок цього з'являються нові автоматизовані системи підприємства, що забезпечують управління взаємовідносинами з постачальниками та клієнтами, життєвим циклом продукції та ланцюжками постачання.

На сучасному ринку засобів автоматизації, незважаючи на безліч виробників обладнання, програмного забезпечення та великих інтеграторів, галузі відповідальності АСУТП та систем управління виробництвом (MES, ERP) досить усунуті один від одного, хоч і мають явні точки перетину. Понад те, елементи інформаційних систем виробничо-господарську діяльність найчастіше реалізуються у різні періоди часу (від введення об'єкта в експлуатацію до їх застосування може пройти досить тривалий час).


На початковому етапі АСУ ПП (ERP, MRP) та АСУ ТП розвивалися відокремлено та незалежно один від одного. Спочатку вони були підпорядковані єдиним цілям і завданням, залишалися слабо пов'язаними фізично й інформаційно, а частіше не пов'язані зовсім. Програмне забезпечення АСУ ПП та АСУ ТП досить довго розвивалося автономно та не передбачалася стандартизація каналів для обміну інформацією між ними. Технології, на яких вони проектувалися, не



MES-рівень визначає автоматизацію виробничої діяльності підприємства, що дозволяє в режимі реального часу планувати, оптимізувати, контролювати і документувати виробничі процеси від формування замовлення до випуску готової продукції. Виділяють такі функції HMI MES-систем, як автоматизований контроль стану та розподілу ресурсів, оперативне/детальне планування, диспетчеризація виробництва, управління якістю продукції, виробничими процесами, техобслуговуванням та ремонтом обладнання, а також аналіз продуктивності.

Рівень ERP-систем дозволяє реалізувати стратегію інтеграції логістичних (закупівлі, виробництво, збут), фінансових (дебітори, кредитори, банки) та кадрових функцій компанії, орієнтовану на оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. ERP-системи здебільшого ведуть обробку транзакційних даних і відносяться до класу систем OLTP (OnLine Transactional Processing). Аналітична обробка транзакційних даних, зібраних засобами ERP-систем, ведеться лише на рівні OLAP (OnLine Analytical Processing), з допомогою автоматизованих BI-систем (Business Intelligence).

Спільне використання зазначених рівнів автоматизації формує єдине інформаційне середовище підприємства. Так, рівень АСУ ТП, заданий програмованими логічними контролерами, SCADA-системами та базами даних, дозволяє вести збір та обробку технологічних даних у режимі реального часу. Оброблена інформація передається на рівень MES-систем і використовується для оперативного управління виробництвом з урахуванням взаємозамінності та переналагодження обладнання. Оперативний план виробництва цього рівня співвідноситься з результатами роботи ERP-систем зі стратегічного планування та управління адміністративно-господарськими операціями компанії. Зведена аналітична звітність, отримана на основі транзакційних даних ERP-рівня, визначатиме фінальний крок автоматизації засобами BI-систем (рис.3.9). Описаний процес взаємодії рівнів інтеграції підприємства дозволяє сформулювати завдання, вирішення яких необхідне побудови виробничої інформаційного середовища. Якщо розглянути роботу інтегрованого середовища ERP, MES та АСУ ТП зверху-вниз, то ERP-системи формують календарний план виробництва на основі стандарту MRP II (Material Requirement Planning). Створений план, переданий на рівень MES, є основою для формування та подальшої оптимізації виробничого розкладу. Виробничий розклад визначає технологічні процеси, що проводяться та контролювані на АСУ ТП рівні. Слід зазначити, що можливі різні сценарії інтеграції систем, включаючи повну її відсутність. В останньому випадку кожна система працюватиме незалежно: так, ERP-система використовуватиметься для об'ємного планування та фіксації результатів виробництва, MES – об'ємного/детального планування та



управління виробництвом, а АСУ ТП – для управління технологічними установками.

2.2 Об'єкт і суб'єкт цехового керування

Для того щоб ефективно управляти процесом виробництва або потоком робіт у виробництві, потрібне чітке визначення самого об'єкта керування. Таким об'єктом можна вважати деталь, з її різними, але в якійсь мірі формалізованими властивостями (креслення, технологічні маршрути, матеріали й т.п.). Суб'єктом же керування у виробництві очевидно можна вважати людину з його різними властивостями. Об'єкти й суб'єкти завжди створюють у виробництві системні взаємодії.

І якщо уважно придивитися до будь-якого заводу, то можна виявити якусь сформовану не випадковим чином «правильну систему керування цехом», сутність якої визначає суб'єктивність. Як правило, суб'єкт сміло й наївно вважає, що управляє процесом виробництва деталей (об'єктів) і робить це ефективно, однак, можна ще сміливіше припустити, що не люди управляють виробництвом, а деталі, що перебувають у виробництві, управляють діями людей.

Слід прийняти до уваги, що всі дії керуючого процесом суб'єкта при виготовленні виробів можна досить просто підрозділити на: дії, що додають цінність кінцевому продукту, дії, що не створюють цінності, але неминучі за якимись причинами, і дії, що не додають цінності взагалі (повністю даремні дії). Виникає питання: як побачити пошуки дії або бездіяльності? Що насправді може бачити керівник підприємства, вдивляючись в «звітні цифри», що надходять із виробництва? Як можна забезпечити належну прозорість виробництва, оцінити його ефективність?

Основним критерієм ефективності організації виробничої системи цехового керування з дискретним, позаказним типом виробництва, є відношення часу дії, протягом якого створюється цінність при обробці деталі на верстаті ($T_{обр.}$), до часу втрат, тобто бездіям, коли цінність не створюється. До втрат часу слід віднести очікування деталлю наступної обробки, час переміщення від одного робочого місця до іншого, часу для здійснення контролю, втрат часу, викликаних несинхронністю потоків робіт, часу на виправлення браку деталей й т.п. ($T_{сум. втрат}$). Це відношення можна визначити відповідним коефіцієнтом ефективності:

$$K_{ef} = (T_{обр.} / T_{сум. втрат}) * 100 \%$$

Наприклад, якщо сумарний час обробки однієї деталі на всьому технологічному маршруті становить 19,2 хвилин, а сумарний час знаходження деталі у виробництві від запуску в роботу до передачі на склад становить 4 робочих зміни по 8 годин (1920 хв), то:

$$K_{\text{эф}} = (19,2 \text{ хв} / 1920 \text{ хв}) * 100 \% = 1\%.$$

Цей простий показник насправді говорить багато про що. І про те, як організована міжопераційна взаємодія в організації виробничого потоку, і про те, яка фондovіддача технологічного встаткування, він також пов'язаний з обсягом незавершеного виробництва й т.п. Ну й найголовніше – як ефективно й наскільки корисно використовується час у виробництві.

Метод тривіальний і простий. Його ще називають: «картування потоку створення цінності».

Якщо $K_{\text{эф}}$ буде рівний 50%, то можна вважати, що ефективність організації виробничого потоку перебуває на світовому рівні. Але, якщо $K_{\text{эф}}=1\%$, те це означає, що для досягнення світового рівня організованості, цикл виробництва однієї деталі потрібно скоротити за часом в 50 раз.

Якщо вироблений виріб складається з 10 деталей, а цикл виробництва цих деталей удалося скоротити в загальному потоці робіт в 50 раз, то сам виріб буде проводитися в 5 раз швидше, а нова виробнича система буде в 5 раз продуктивніше колишньої при тому ж устаткуванні й тих же його властивостях. І відбудеться це тільки за рахунок більш ефективної організації виробничого процесу.

Таким чином, аналіз співвідношення часу обробки деталі відносно часу втрат дозволяє виявити величезні резерви для росту продуктивності верстатної системи.

Повернемося до об'єкта керування – деталі. Деталь – це результат перетворення властивостей вихідного матеріалу, яке відбувається з ним у ході проходження по певному технологічному маршруту через робочі місця (РМ), їх ще називають робочими центрами.

Суть маршрутизації руху деталі така: добитися того, щоб технологічний процес (маршрут) був би поновлюваним, і повторювався б з тими самими тимчасовими параметрами обробки на кожному РМ маршруту. І тут виникають три непрості проблеми: варіабельність тимчасових параметрів обробок в умовах позаказного виробництва, точна поновлюваність процесу й те, що деталь попадає у виробництво, у якому уже обробляються інші деталі.

Нехай кожна деталь (або ж її партія), потрапляючи на різні РМ, обробляється з однаковим нормованим часом. Потік робіт на РМ можна представити у вигляді послідовності тимчасових відрізків (рис 2.4), величини яких будуть визначатися нормою часу обробки деталей.

Кольорові прямокутники, на рисунку 1.1 відповідають послідовно оброблюваним деталям 1, 2, 3 і т.д. і лежать на осі часу (абсцисі). Покроковий технологічний маршрут розташовується по осі ординат. Таким чином, ми одержуємо найпростішу графічну виставу про потік виробництва деталей в одному й тому ж технологічному ланцюжку

подій. Така вистава називається діаграмою Гантта.

Деталі 1, 2, 3, 4, 5 і 6 мають рівні відрізки часу обробки на всіх РМ того самого технологічного маршруту. Деталь 1, пройшовши обробку на РМ 1 - відразу переходить на РМ 2 і так далі. Наступна за нею деталь 2 без тимчасових втрат так само переходить від одного РМ до іншого й коли деталь 5 зайде в процес обробки, завантаження всіх верстатів стане повним.

Представлена на рисунку 2.4 діаграма є моделлю організації виробництва деяких абстрактних деталей. Дану модель можна легко перетворити в конкретні завдання (виробничі розклади), які можна видати на кожне РМ ще до того, як процес виробництва настав. А вже потім, після старту завдань організувати різними способами зворотний зв'язок із РМ і вже в реальному часі відслідковувати хід виконання виробничих розкладів. Саме по такому принципу й улаштована MES-система.




Рисунок 2.4 – Ідеальний варіант розподілу деталей

З викладеного стає ясно, що в ідеальному варіанті виробничий розклад створюється дуже просто. Однак у реальності процес розподілу по робочих місцях викликає значні складності. Реальний варіант ілюструється рисунком 2.5.



Рисунок 2.5 – Реальний розподіл деталей

Отут деталі мають уже різну трудомісткість і, відповідно, різні відрізки часу, відведені на їхню обробку, що викликає в технологічному



ланцюжку тимчасові втрати (порожнечі на діаграмі рис. 2.5) і множинні дисбаланси в завантаженні робочих місць. Так утворюються «блукаючі вузькі місця» (пробки в потоках), викликані очікуванням обробки, а також інші труднощі, що викликає втрати часу. Ці ситуації візуально проявляються по скупченню заготовок біля деяких верстатів.

Із виникаючими у різних місцях і в різний час виробництва труднощами й борються майстри, які управляють виробництвом в основному візуально. І ніхто з них не скаже точно, коли ж деталі пройдуть усі стадії обробки. Але ж деталі постійно надходять у виробництво й при позаказному виробництві міняються не тільки самі деталі, але й розмірність партій однакових деталей. Їх може бути тисячі, технологічних маршрутів – десятки, і багато з маршрутів у силу універсальності робочих місць перетинаються один з одним.

Таким чином, виробничий процес завжди представляє собою хаос, з яким намагаються управлятися в рамках суб'єктивних і візуальних уявлень.

Як же діють у такій ситуації виробничники? Дуже просто: вони працюють зі збільшеним міжопераційним запасом (заділом). Цей організаційний розв'язок застосовується повсюдно. Така організація виробництва зручна в умовах масового виробництва, але зовсім не ефективна в позаказному (дрібносерійному). Вона погіршує економічні показники підприємства в цілому, тому що приводить до значного зв'язування обігового капіталу. До того ж робота про запас може взагалі бути марною в умовах ринкових капризів.

Ще одним важливим організаційним недоліком виробництва є значне збільшення виробничого циклу, яким намагаються нівелювати диспропорції потоків робіт. А все це в комплексі збільшує строки виконання замовлення. І якщо конкурент робить ту ж продукцію й поставляє її на ринок швидше – ринок, природно, прийде до нього. На сучасному ринку клієнт віддає перевагу коротким строкам виконання своїх замовлень і вимогливий до ціни.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в умовах агресивного ринкового середовища саме способи ефективної організації виробництва стають одним з основних конкурентних переваг промислових підприємств. Організація масового й крупносерійного виробництва ефективна лише в дуже окремих випадках. Основна ж маса виробництв повинна вміти підтримувати дрібносерійну або одиничну організаційні форми керування. Виходячи із цього, цілком логічного твердження розглянемо можливості систем керування виробництвом на базі логістичної теорії й теорії розкладів, які використовуються при створенні MES-систем.

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНИХ АГЕНТІВ

Розробка технології штучних агентів, створення багатоагентних систем (МАС) у віртуальних середовищах представляє найбільш важливу та багатообіцяючу галузь розвитку нових інформаційних та комунікаційних технологій (НІКТ), де сьогодні формуються кіберфізичні системи, відбувається інтеграція сучасних мережевих WWW-технологій, методів та засобів штучного інтелекту (ШІ), включаючи великі бази даних/знань, багатокомпонентні вирішувачі.

Агентом є все, що може розглядатися як розумна сутність, що сприймає навколишнє середовище за допомогою сенсорів і впливає на нього за допомогою виконавчих механізмів. Найпростішим видом агента є простий рефлексний агент. Такі агенти вибирають дії з урахуванням поточного сприйняття середовища, ігноруючи історію попередніх актів сприйняття. Наприклад, агент-пилосос, являє собою простий рефлексний агент, оскільки його рішення засновані тільки на інформації про поточне місцезнаходження та про те, чи воно містить сміття.

Такий вид агентів використовує зв'язок типу умова-дія. Тобто, якщо виконується якась умова, то у відповідь на нього агент використовує цю дію. Такий зв'язок дуже часто використовують люди, наприклад, водії автомобілів: якщо водій бачить, що попереду машина гальмує, то він теж починає гальмувати. Це найпростіший тип зв'язку «умова-дія».

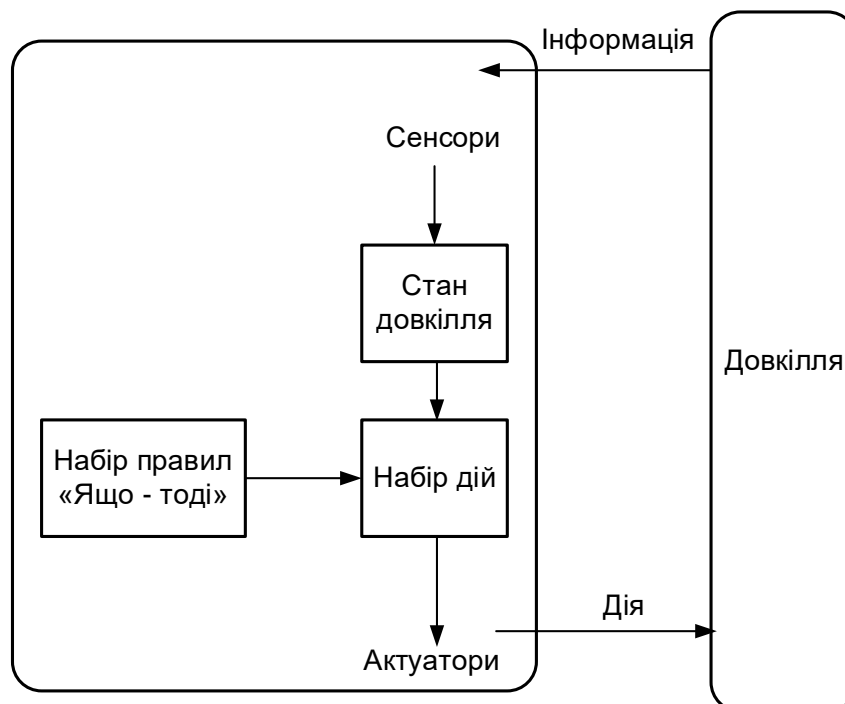



Рисунок 3.1 - Функціональна схема простого інтелектуального агента



Суть агентно-орієнтованого підходу дуже проста. Замість того, щоб намагатися формалізувати такі складні поняття, як «розум» та «інтелект», треба зробити щось простіше і корисніше. Цим простим та корисним виявилось поняття «раціональність» або «раціональна поведінка».

реінжинірингу бізнесу та побудови віртуальних підприємств, імітаційного моделювання інтегрованих виробничих систем та електронної торгівлі, організації роботи колективів роботів та розподіленої (сумісної) розробки комп'ютерних програм.

Існує кілька міжнародних підходів до створення мультиагентних систем:

- OMG MASIF, створений Object Management Group, основу якого поняття мобільний агент;
- специфікації FIPA (Foundations for Intelligent Physical Agents), що ґрунтуються на припущенні про інтелектуальність агента;
- DARPA стандарти, розроблені дослідницьким підрозділом Пентагону – Агентством Передових Оборонних Наукових Досліджень (Defense Advanced Research Projects Agency).

Прості рефлексні агенти характеризуються чудовою особливістю, що вони надзвичайно прості. Робот-пилосос працює тільки якщо правильне рішення може бути прийняте на основі виключно поточного сприйняття, інакше кажучи, тільки якщо середовище є повністю спостерігається.

Внесення навіть невеликої частки не спостерігальності може спричинити серйозне порушення його роботи. Прості рефлексні агенти є надзвичайно примітивними, вони обмежені у функціоналі. Для простих рефлексних агентів, які діють у не повністю спостерігається середовищі, характерні попадання в нескінченні цикли.

У повсякденному житті до ухвалення рішення який завжди достатньо інформації з довкілля. Нехай людина підходить до перехрестя, вона має на вибір три напрямки руху. Що вибрати? І в цьому випадку він звертається до своєї мети. В аналогічній ситуації агенту також може знадобитися не тільки інформація про світ, внутрішній стан, а й інформація про мету. Тоді програма агента комбінуватиме всі види інформації для вибору дій, які дозволять досягти мети.

Завдання вибору дій на основі мети вирішується досить просто, коли досягнення мети стає результатом єдиної дії, але коли досягнення мети ускладнюється, агенту потрібно розглянути послідовності дій, щоб знайти потрібний спосіб досягнення мети.

Ухвалення рішень на основі мети повністю відрізняється від правила «умова-дія». Головною відмінністю від стандартного правила «умова-дія» є те, що агент на основі мети повинен відповідати на запитання: «Ця дія дозволить досягти мети?» або "Що буде, якщо я зроблю так?".

Приклад поведінки такої моделі агента наведено на рисунку 3.2.

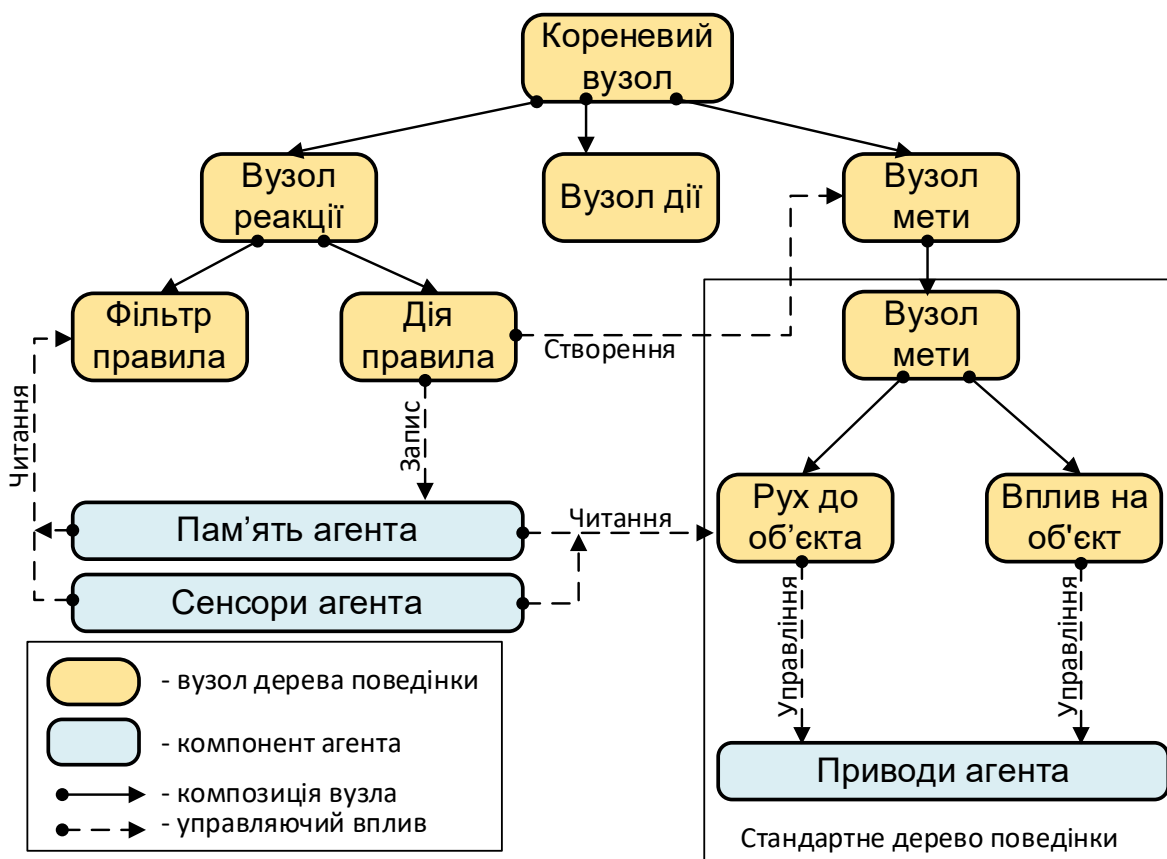


Рисунок 3.2 - Модель поведінки агента на основі досягнення мети

Агент, який використовує ситуаційний аналіз та планування дій для досягнення мети, стає більш гнучким у своїх діях, оскільки він використовує знання. Знання дозволяють реалізовувати алгоритми виконання дій, які можуть змінюватися, якщо змінюється довкілля. Агент перебудовує пріоритети, змінює правила «умова-дія» і, таким чином, може вибирати найкращу дію і цим значно відрізняється від агентів рефлексивного типу.

Однак ці види агентів мають одну загальну ваду - відсутність можливості навчатися. Навчання є первинною якістю інтелектуального агента. Шляхом навчання, агент може функціонувати в спочатку невідомих йому варіантах середовища і ставати більш корисним і значущим, ніж він був спроектований спочатку. Таким чином, агент набуває особливостей штучного інтелекту (ШІ). На рисунку 3.3 показана структура такого агента навчання.

Агент, що навчається, має чотири концептуальних компоненти: блок дій, навчальний компонент, блок критики (оцінки ситуації) і генератор потоку завдань.

Сенсори безперервно вимірюють особливості навколишнього середовища. Блок дій впливає середу з допомогою виконавчих механізмів.

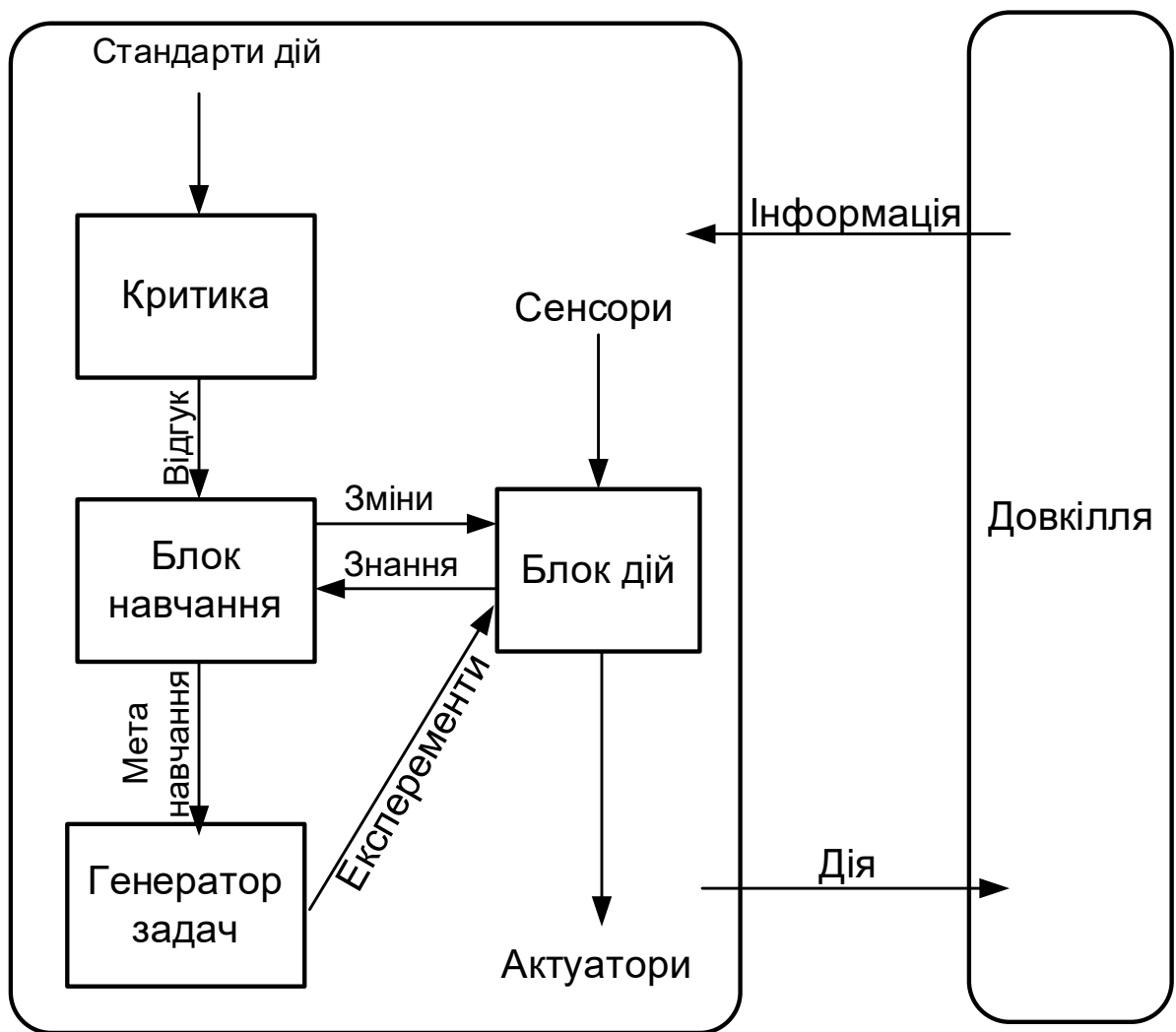


Рисунок 3.3 – Блок схема агента навчання


Критик-блок виконує функції оцінювача дій агента з урахуванням встановлених розробником стандартів дій. Цей блок необхідний у цій структурі, оскільки агенту необхідно оцінювати успішність його дій.

Блок навчання відповідає за внесення удосконалень та вибір своїх дій. Навчальний компонент використовує інформацію від критик-блоку з оцінкою успішності (ефективності) дій агента і містить продуктивну частину для завдання необхідних дій.

Генератор завдань служить для вибору дій, які мають призвести до отримання нового інформаційного досвіду. Оскільки

продуктивний компонент вибирає тільки найбільш ефективні дії, це може звести всю інтелектуальність агента до одних і тих же дій, вважаючи, що вони є найкращими. Тому генератор проблем дозволяє виконувати експерименти на вибір інших дій, які можуть бути неоптимальними на початку, але можливо будуть найкращими в кінцевому результаті.

Модуль прийняття рішень є найважливішим компонентом агента. Для його реалізації застосовують модель дерева поведінки. Дерево



поведінка відповідає за миттєві реакції агента на події, що відбуваються, послідовне виконання спланованих дій і контролює досягнення цілей.

Одним з найбільш ефективних способів організації роботи в умовах часткової спостерігальності середовища є відстежуваність агентом частини світу, яка сприймається ним в даний момент часу.

На апаратному рівні інтелектуальний агент складається з: сенсорів, електричних приводів виконавчих пристроїв, пам'яті та моделі поведінки (програми агента). Сенсори та електричні приводи є інтерфейсом для взаємодії між агентом та навколишнім середовищем. У пам'яті зберігаються результати сприйняття довкілля сенсорами. Програма агента реалізує його модель поведінки та є найскладнішим компонентом. Внутрішнє уявлення програми агента насамперед залежить від його завдання.

Агенти можуть формувати спільноти (мережі). Такі мультиагентні об'єднання є особливо корисними при побудові віртуального шару кіберфізичних систем. Особливість такого підходу до побудови КФС у тому, що у нижньому рівні її піраміди будуються агентноорієнтовані моделі поведінки окремих сутностей у конкретному технологічному процесі. Причому кожен із агентів слідує своїм власним правилам, живе у технологічному середовищі виробництва та взаємодіє з середовищем та іншими агентами з урахуванням індивідуальної логіки поведінки агентів.

Передбачається, що реалізується здатність взаємодії між агентами, коли один агент може виробити запит іншому агенту на передачу деяких даних або виконання певних дій. При цьому завдання може бути розбите на кілька підзадач, які розподіляються між іншими агентами.

Мультиагентні системи виконують дії реальному часі є ефективним інструментом керувати складними процесами, у яких бере участь багато активів виробничих процесів. До таких процесів належать потоки виробництва виробів машинобудування, інфраструктурні потоки міського руху, логістичні системи та ін.

Методи мультиагентного підходу використовуються також для пошуку та опрацювання інформації в інформаційних мережах, системах управління автономними роботами. Перспективним напрямком розвитку мультиагентних систем є розробка безпілотних автомобілів та літальних апаратів.

Схема колективної взаємодії інтелектуальних агентів представлена на рисунку 3.4. Користувач може бути як людина, так і фізичний об'єкт.

Використання ідеї колективної поведінки агентів призводить до безлічі рішень. Серед них, зокрема, у CPS слід виділити такі рішення, як формування спільних планів дій, можливість урахування спільних інтересів агентів, синхронізація спільних дій. У процесі виконання

колективних процесів. Можлива поява конфліктуючих цілей агентів, виникнення конкуренції за спільні ресурси. Ці проблеми можуть вирішуватися за допомогою організації переговорів про спільні дії, розпізнавання необхідності кооперації, вибір відповідного партнера, навчання поведінки у колективі, декомпозиція завдань і поділ обов'язків, правила поведінки у колективі, спільні зобов'язання тощо.

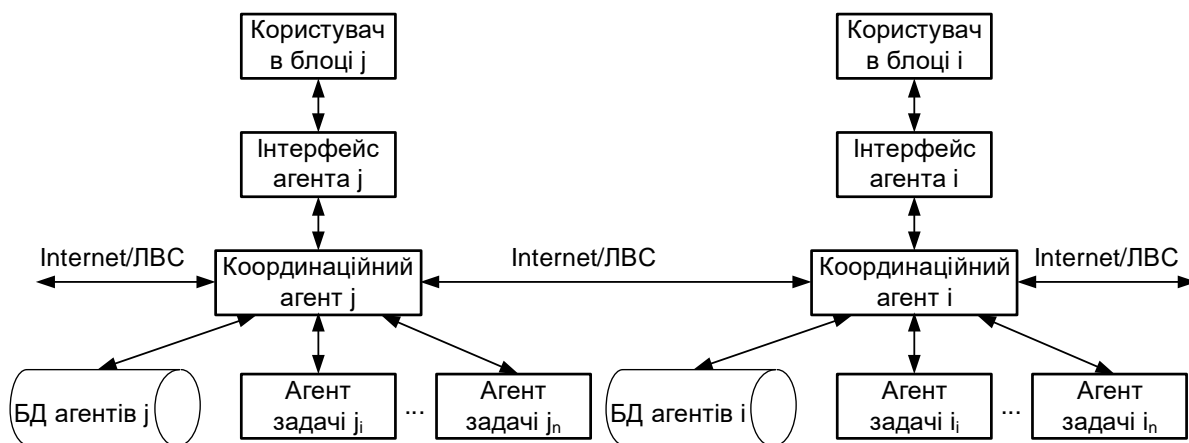


Рисунок 3.4 – Схема колективної взаємодії інтелектуальних агентів

У процесі формування кооперативного рішення спільноту агентів у CPS-середовищі виділяють чотири етапи:


1. *Розпізнавання ситуації.* Процес вибору рішення у мультиагентному середовищі починається тоді, коли агент розпізнає доцільність кооперативної дії. Наприклад, агент із встановленим сервісним набором встановлює мету, досягти якої через свою обмеженість він не здатний, або для її досягнення вибирає кооперацію.

2. *Формування мультиагентного співтовариства.* На цій стадії агент, який встановив можливість спільної дії, шукає партнерів. При успішному завершенні цієї стадії утворюється група агентів, мають спільні послуги для колективних процесів.

3. *Формування спільного плану.* Цей етап, на якому агенти домовляються, виробляють спільний план, який на їхнє переконання приведе до бажаної мети.

4. *Спільні дії.* На цьому етапі агенти діють згідно з виробленим планом, підтримуючи взаємодію один з одним, згідно з прийнятими на себе зобов'язаннями.

Формування спільного плану починається за умови, якщо розпізнано ситуацію та сформовано мультиагентну команду для виконання встановленої мети. Однак колективні дії не можуть початися доти, доки в групі не буде досягнуто згоди, що конкретно робитиме кожен агент. Для вироблення такої угоди є стадія формування спільного плану. Мультиагентні переговори є механізмом вироблення такої угоди. На стадії формування спільного плану агенти групи здійснюють спільні спроби досягти такого стану групи, в якому всі агенти узгодили б



спільний план. Процедура узгодження реалізується спеціальним алгоритмом пошуку угоди.

Під час переговорів агенти пропонують плани, уточнюють їх з іншими агентами, модифікують запропоновані плани, доки всі агенти не погодяться з єдиним планом.

При успішному завершенні стадії планування починається стадія спільних дій. При нормальному ході цього процесу дії виконуються згідно з прийнятим планом аж до його завершення.

В даний час багатоагентна модель широко застосовується при проектуванні систем автоматизації виробництва на різних рівнях. Зручність такого підходу та широта його використання обумовлені схожістю багатоагентної моделі з реальними процесами, що відбуваються в людському середовищі. Дійсно, в класичній багатоагентній системі під агентом розуміється певна розумна сутність, як правило, активна і здатна взаємодіяти з навколишнім середовищем. Інтелектуальна поведінка цих сутностей підтримується спільною роботою таких компонентів, як блок вирішальних правил для обчислення плану, блок правил для управління завданнями, їх декомпозицією та розміщенням, а також блок правил для підтримки угод з іншими агентами під час кооперативного вирішення завдань.

Реактивна поведінка реалізується за допомогою багаторівневої системи управління (див. рис. 3.5), яка реагує на зміну стану робочої пам'яті (при надходженні нових результатів розв'язання задачі, встановленні цілей або повідомлень, а також зміні наявних даних, міжагентських угод або станів завдань).

У такій багаторівневій структурі виділяються такі рівні управління мультиагентної команди:

1. Рівень специфічних предметних знань, у якому містяться предметні знання.

2. Рівень знань про процедури виведення. Цей рівень містить декларативні правила висновку, які мають застосовуватися до предметних знань щодо конкретного об'єкта, щоб вивести нові дані. Цей рівень є основою управління мультиагентної команди.

3. Менеджер завдань відповідальний за декомпозицію завдань на підзавдання та його розподіл за відповідними агентами, і навіть за управління переходами станів завдань. Управління кооперацією агентів використовує механізм, «...заснований на взаємних зобов'язаннях агентів (будь-який агент згоден робити схему дій, яка має на меті виконати завдання за відповідний час), та угоди про те, за яких умов агент може відмовитися від своїх зобов'язань і як він повинен поводитися по відношенню до інших агентів, коли такі обставини виникнуть».

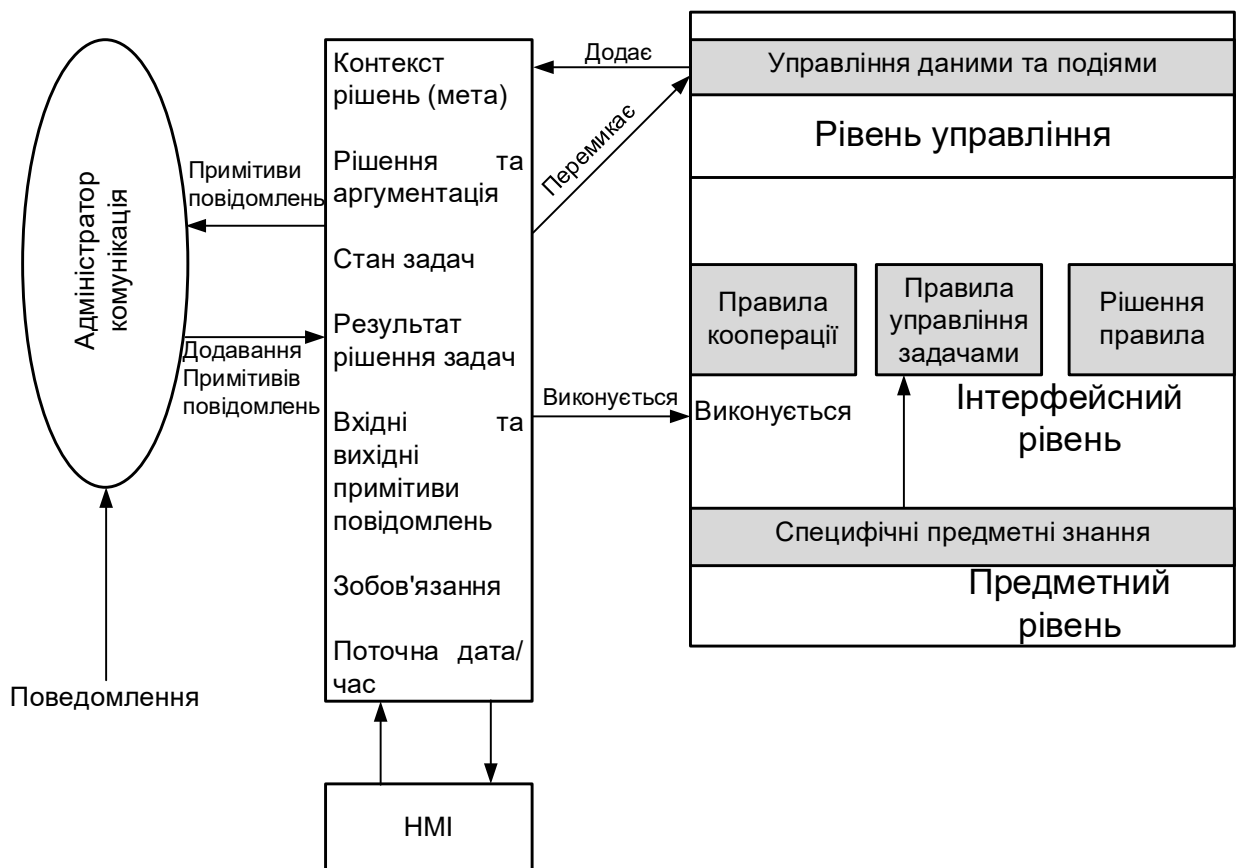


Рисунок 3.5 – Система управління мультиагентною командою

4. Рівень знань, що керують, який використовує онтологію предметних знань, щоб генерувати схему виведення. На цьому рівні додаються нові знання.

Такий функціональний поділ знань на предметні знання, знання про процедури виведення та керуючі знання структурує належним чином їх подання, повторне використання та їх використання для досягнення цілей.

Будучи об'єднаними у колективи, такі агенти здатні вирішувати завдання набагато складніші, ніж міг би вирішити один агент.

Інтелектуальні агенти можуть отримувати дані від фізичних пристроїв технологічних процесів фізичного світу, а й інших віртуальних агентів, і навіть від сервісних запитів інформаційних систем управління виробництвом.

Перспективною віхою розвитку автоматизації підприємства в даний час є впровадження технологічних процесів, що самоорганізуються. Така технічна самоорганізація в автоматизації відноситься до ультрасучасних методів побудови автоматизації технології та виробництва.

Агентно-орієнтований підхід, заснований на використанні інтелектуальних (раціональних) агентів, це розуміння обчислювальної частини КФБ як ШІ, планування здатності досягати поставленої мети.

Організація архітектури агентів на принципах штучного інтелекту

(ШІ) має переваги з погляду зручності використання методів та засобів символічного представлення знань, розроблених у рамках штучного інтелекту.

Штучний інтелект - область інформатики, що займається розробкою інтелектуальних комп'ютерних систем, що мають можливості людського розуму (розуміння мови, навчання, здатність розмірковувати та вирішувати проблеми).

Термін «штучний інтелект» стосується конкретної галузі обчислювальної техніки, яка фокусується на створенні систем, здатних збирати дані та приймати рішення та/або вирішувати проблеми.

Приклад базового ШІ є комп'ютер, який може приймати 1000 фотографій кішок для введення, визначати, що робить їх схожими, а потім знаходити фотографії кішок в інтернеті. Комп'ютер навчився, наскільки це можливо, як виглядає фотографія кішки та використовує цей новий інтелект, щоб знайти речі, які схожі. Структура базового рівня області штучного інтелекту показано рисунку 3.6.

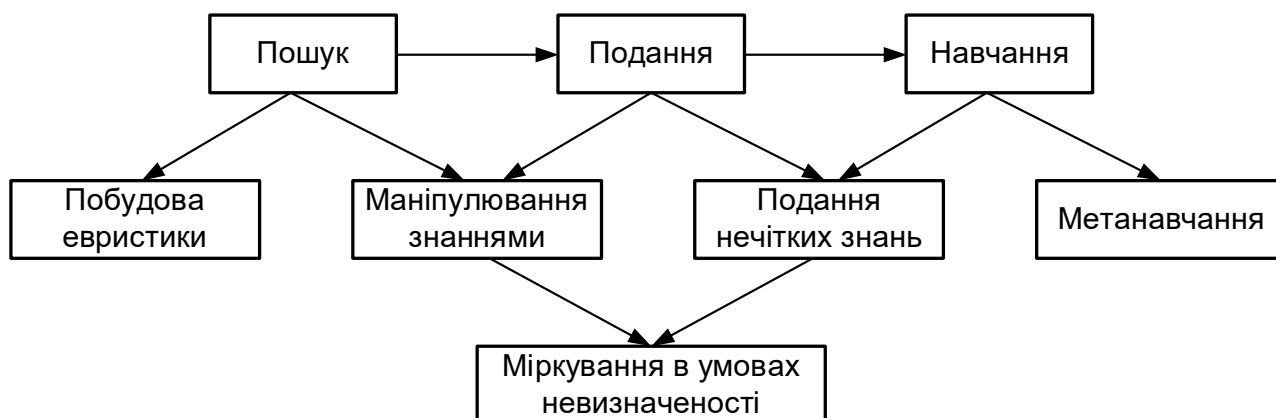


Рисунок 3.6 – Структура базового рівня галузі штучного інтелекту

ШІ має властивість автономності. Автономність означає, що конструкція ШІ не потребує допомоги людей. Безпілотні автомобілі ілюструють термін «автономний» різною мірою. Автономія четвертого Рівень являє собою транспортний засіб, який не потребує кермового колеса або педалей: йому не потрібна людина всередині нього, щоб працювати на повну потужність. Автомобіль, який працює без водія і не потребує підключення до будь-якої мережі, сервера, GPS або іншого зовнішнього джерела для функціонування - рівень автономії п'ять.

Все, що виходить за межі цього, можна було б назвати розумним, і, незважаючи на стрибки, які були зроблені нещодавно в області ШІ, сингулярність (подія, що представляє ШІ, яка стає самосвідомою) на даний момент є суто теоретичною.

Основними властивостями ШІ є: розуміння мови, навчання та здатність мислити та діяти. ШІ - комплекс споріднених технологій і процесів, що розвиваються якісно та стрімко. Прикладами ШІ є (див.

рис. 3.7):

- обробка тексту природною мовою;
- машинне навчання;
- експертні системи;
- віртуальні агенти (чат боти та віртуальні помічники);
- системи рекомендацій.

Фахівці можуть створити занадто потужний штучний інтелект, який спрямований на досягнення своїх цілей. І якщо ці цілі не збігатимуться з людськими, то люди будуть мати проблеми. Ось чому перейнялися міжнародні комісії з ШІ.




Рисунок 3.7 - Технології штучного інтелекту широко потрібні в різних галузях.

Перспективи розвитку ШІ несуть як надії людства, а й потенційні небезпеки.

25 квітня 2018 року Європейська комісія представила звернення «Штучний інтелект для Європи», адресоване Європарламенту, Раді Європи, європейським економічним та соціальним комітетам та комітетам регіонів. У документі порушуються питання майбутньої політики ЄС щодо ШІ, розвитку технологічної та індустріальної бази, встановлення етичних норм та норм відповідальності щодо ШІ. До Звернення додається проект документа «Відповідальність щодо нових цифрових технологій», в якому подано аналіз існуючих правил і принципів чинного законодавства, аналіз виробленої практики та ін.

Відповідно до цих рекомендацій Інститут інженерів електротехніки та електроніки (IEEE) розробив три нові стандарти етики для штучного інтелекту:

1. Стандарт для етичного впливу роботизованих та інтелектуальних систем. У цьому стандарті розглядаються дії ШІ, які приховано або явно впливають на поведінку та емоції людини. Щоб роботи дотримувалися у цьому питанні загальноприйнятої етики та принципів моралі, інженери та філософи повинні разом займатися розробкою таких систем.



2. Стандарт відмовостійкості. Роботизовані системи в процесі роботи потенційно можуть завдати шкоди людям та навколишньому середовищу, тому стандарт для створення ефективних заходів безпеки, які знижують ризик помилок, та безпечного припинення експлуатації скомпрометованих систем встановлює чіткі процедури оцінки, тестування та сертифікації відмовостійкості роботизованих систем.

3. Стандарт для впливу ШІ на добробут суспільства. Творці ШІ – програмісти, інженери, технологи – повинні враховувати, як вироблені ними пристрої змінять добробут людей з погляду продуктивності праці та економічного зростання. У цьому стандарті визначається, які показники людського добробуту необхідно брати до уваги при впровадженні тих чи інших інтелектуальних систем. Це забезпечить підґрунтя для узгодження даних між різними фахівцями. Ще одним прикладом етичних норм для ШІ є корейський статут для

роботів (Korean Robot Ethics Charter). Документ включає 7 статей, які закріплюють наступні етичні стандарти для роботів (приблизний текст):

- стаття 1 (мета): основою етики робота є прагнення спільного процвітання людини і машини;
- стаття 2 (загальний принцип людського буття та роботів): людина та робот повинні підтримувати гідність один одного;
- стаття 3 (людська етика): при виробництві робота людина повинна шукати натхнення в найкращих можливих образах;
- стаття 4 (роботизована етика): робот має бути людині другом, помічником та партнером; робот не повинен завдавати шкоди людям;
- стаття 5 (етика виробника): виробництво роботів має бути спрямоване на захист людей та підвищення їхньої гідності;
- стаття 6 (етика користувачів): споживач повинен добре ставитися до роботи, не допускати незаконного обігу роботів;
- стаття 7 (обіцянка виконання): уряд і місцеві органи влади, щоб втілити дух статуту, повинні забезпечити контроль за дотриманням правил етики стосовно роботів.

Найбільш важливою частиною ШІ є алгоритм. Це математичні формули та/або команди програмування, які інформують звичайний неінтелектуальний комп'ютер про те, як вирішити проблеми зі штучним інтелектом.

Алгоритм – правила, які вчать комп'ютери. Штучний інтелект – система, яка може навчитися вчитися. Люди пишуть вихідні алгоритми системи, яка дозволяє комп'ютеру згодом писати власні алгоритми без додаткового контролю чи взаємодії з людиною. Цей процес дозволяє ШІ постійно вчитися і вирішувати нові проблеми всередині середовища, що постійно змінюється, ґрунтуючись на зборі даних, що триває. Виділяють два основні підходи до розробки штучного інтелекту:

- низхідний – створення експертних систем, баз знань та систем логічного висновку, що імітують високорівневі інтелектуальні процеси:



мислення, міркування, мовлення, емоції, творчість тощо;

- висхідний – вивчення нейронних мереж та еволюційних обчислень, що моделюють інтелектуальну поведінку, а також створення відповідних обчислювальних систем, таких як нейрокомп'ютер чи біокомп'ютер.

Складно назвати час, коли плоди уяви розробників ШІ знайдуть фізичне втілення. Прогресувати потрібно не лише технологіям, а й людині. Соціум має бути готовим прийняти «залізний» світ та інтелектуальну націю пристроїв. На період адаптації потрібен час. Щоб люди почали довіряти роботизованим поліцейським, лікарям та водіям, їх штучний інтелект має дорівнювати людському. У той же час, чи зможе недосконала людина створити досконалу систему? Чи зможе відстежити ту межу, де штучний інтелект – друг, а не небезпека? І чи зможе уникнути технічної залежності?

4 ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (INTERNET OF THINGS)

4.1 Історія Інтернету Речей

Термін «Інтернет речей», зобов'язаний своєю появою Кевіну Ештону, який в 1997 р, працюючи на компанію Proctor and Gamble, застосував технологію радіочастотної ідентифікації (RFID) для керування системою поставок. Завдяки цій роботі в 1999 році його запросили в Масачусетський технологічний інститут, де він з групою однодумців організував дослідний консорціум Auto-ID Center. З тих пір Інтернет речей звершив перехід від простих радіочастотних міток до екосистеми і індустрії. Аж до 2012 р ідея підключення речей до Інтернету переважно відносилася до смартфонів, планшетів, ПК і ноутбуків. По суті, до тих пристроїв, які в усіх відношеннях виступають в якості комп'ютера. До цього, з моменту появи перших боязких зачатків Інтернету (таких як створена в 1969 р мережу ARPANET), більшості технологій, на яких будується Інтернет речей, просто не існувало. До 2000 року більшість пристроїв, які можна було підключити до Інтернету, представляло собою комп'ютери різних розмірів. Нижче показаний поступове підключення речей до Інтернету.

1973 - Маріо У. Кардулло отримує патент на першу радіо-частотну мітку

1982 - Підключений до Інтернету автомат з газованою водою в університеті Карнегі-Меллон

1989 - Підключений до Інтернету тостер на конференції Interop '89

1991 - Компанія HP представила HP LaserJet III Si: перший підключений до мережі Ethernet мережевий принтер

1993 - Підключена до Інтернету кавоварка в Кембриджському університеті (перша підключена до Інтернету камера)

1996 - Підрозділ General Motors OnStar (дистанційна діагностика 2001)

1998 - Поява організації Bluetooth SIG

1999 - Холодильник LG Internet Digital DIOS

2000 - Перші прояви розробленої компанією HP концепції всепроникної комп'ютеризації (Cooltown): HP Labs, система обчислювальних і комунікаційних технологій, які в поєднанні один з одним створюють підключення до Інтернету для людей, місць і об'єктів

2001 - Випуск першого пристрою, що використовує технологію Bluetooth: мобільний телефон KDDI з підтримкою Bluetooth

2005 - Міжнародний союз електрозв'язку, спеціалізована установа ООН, випустив звіт, в якому вперше були сформульовані прогнози розвитку Інтернету речей

2008 - Поява першого IoT-спільноти IPSO Alliance, метою якого було сприяння підключенню речей до Інтернету

2010 - Успішна розробка напівпровідникових світлодіодних ламп

привела до розвитку концепції розумного освітлення
2014 - Компанія Apple створила протокол iBeacon для маячків

4.2 Огляд архітектури Інтернет речей

Інтернет речей (IP, англ. Internet of Things, IoT) — концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані датчики, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі, за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. Окрім датчиків, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і пов'язані між собою через дротові чи бездротові мережі. Ці взаємопов'язані пристрої мають можливість зчитування та приведення в дію, функцію програмування та ідентифікації, а також дозволяють виключити необхідність участі людини, за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів.

За даними Gartner, до 2025 року до Інтернету буде підключено більш 50 мільярдів пристроїв, і ці з'єднання полегшать використання даних для автономного аналізу, попереднього планування, управління та прийняття інтелектуальних рішень. Національна рада з розвідки США (NIC) включила IoT до шести «проривних цивільних технологій» (National Intelligence Council).

У контексті Інтернету речей на даний момент обслуговують декілька секторів, таких як (див. рис 4.1.):



Рисунок 4.1 - Інтернету речей в сферах діяльності людини

- транспорт, розумне місто,
- розумна побутова техніка,
- розумне здоров'я, електронне управління,
- допомога у проживанні, електронна освіта,
- роздрібна торгівля, логістика,
- сільське господарство,
- автоматизація, промислове виробництво
- бізнес процеси. керування.

Архітектуру IoT можна розглядати як систему, яка може бути

- фізичною,
- віртуальною
- гібридною,

що складається з безлічі активних фізичних об'єктів, датчиків, приводів, хмарних сервісів, конкретних протоколів IoT, рівнів зв'язку, користувачів, розробників та рівень підприємства.

Архітектура Інтернету речей відрізняється в залежності від реалізації. Тим не менше вона дещо схожа на архітектуру класичних систем АСУТП. Один із прикладів архітектури показаний на рис. 4.2.

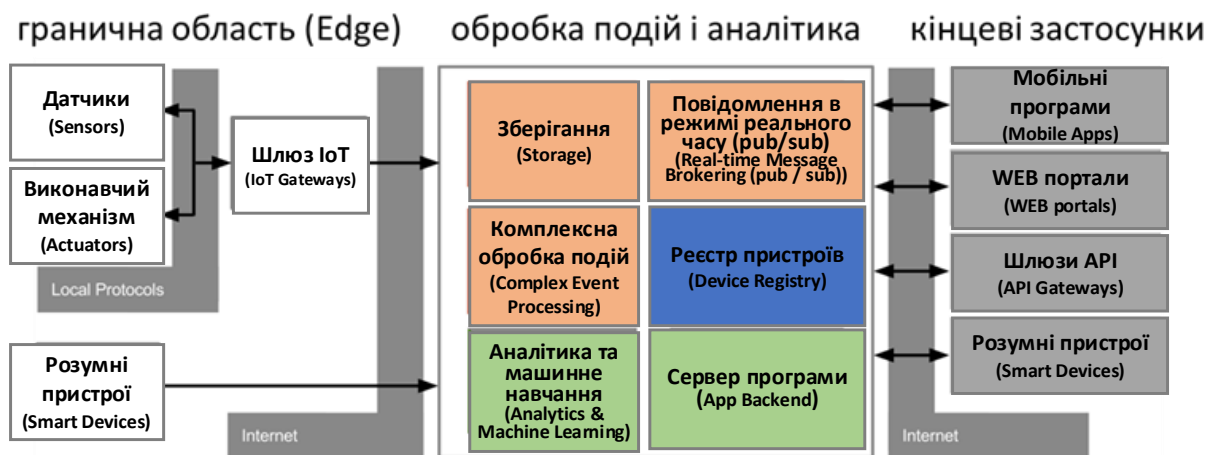


Рисунок 4.2 - Архітектура Інтернету Речей

Конкретні архітектури виступають як основний компонент інфраструктури IoT, сприяючи систематичному підходу до різноманітних компонентів, що призводить до вирішення пов'язаних проблем. Чітко визначена форма архітектури IoT в даний час доступна для інформаційних цілей: «динамічна глобальна мережева інфраструктура з можливостями самоконфігурації на основі стандартних та інтероперабельних протоколів зв'язку, де фізичні та віртуальні «речі» мають ідентифікатори, фізичні атрибути та віртуальні особистості, використовують інтегруються до інформаційної мережі».

Взаємодія з «речами» відбувається через датчики (sensors) та виконавчі механізми (Actuators), аналогічно як це робиться в АСУТП для

будь якого об'єкту керування. Ці датчики разом з усією інфраструктурою для інтеграції з рівнем обробки подій через мережу Internet формують так звану граничну область (Edge).

Події (дані) що поступають з граничної області зберігаються і обробляються відповідно до задачі (рівень обробки подій і аналітики, event processing, Platform). На цьому рівні події(дані) зберігаються (storage), обробляються (Event Processing), перенаправляються потрібним додаткам (Real-Time Message Brokering, Stream Processing). Додатково на цьому рівні відбувається адміністрування та керування пристроями з граничної області (Device Registry, Edge Device Management). Події (дані) обробляються з використанням аналітичних сервісів (Analytics) на основі них проводиться машинне навчання (Machine Learning), що дозволяє зробити певні висновки про об'єкт. Цей рівень як правило реалізований з використанням хмарних (Cloud) або туманних (Fog) обчислень. Якщо провести аналогію с АСУТП, то це рівень контролерів та SCADA (за виключенням функцій HMI). Отримання результатів, контроль, віддалене керування та адміністрування системи проводиться через кінцеві застосунки з використанням Internet. Цей рівень можна умовно порівняти з HMI в АСУТП.

На рис. 4.3. показана подібна наведеній вище архітектура, однак у вигляді сервісів.

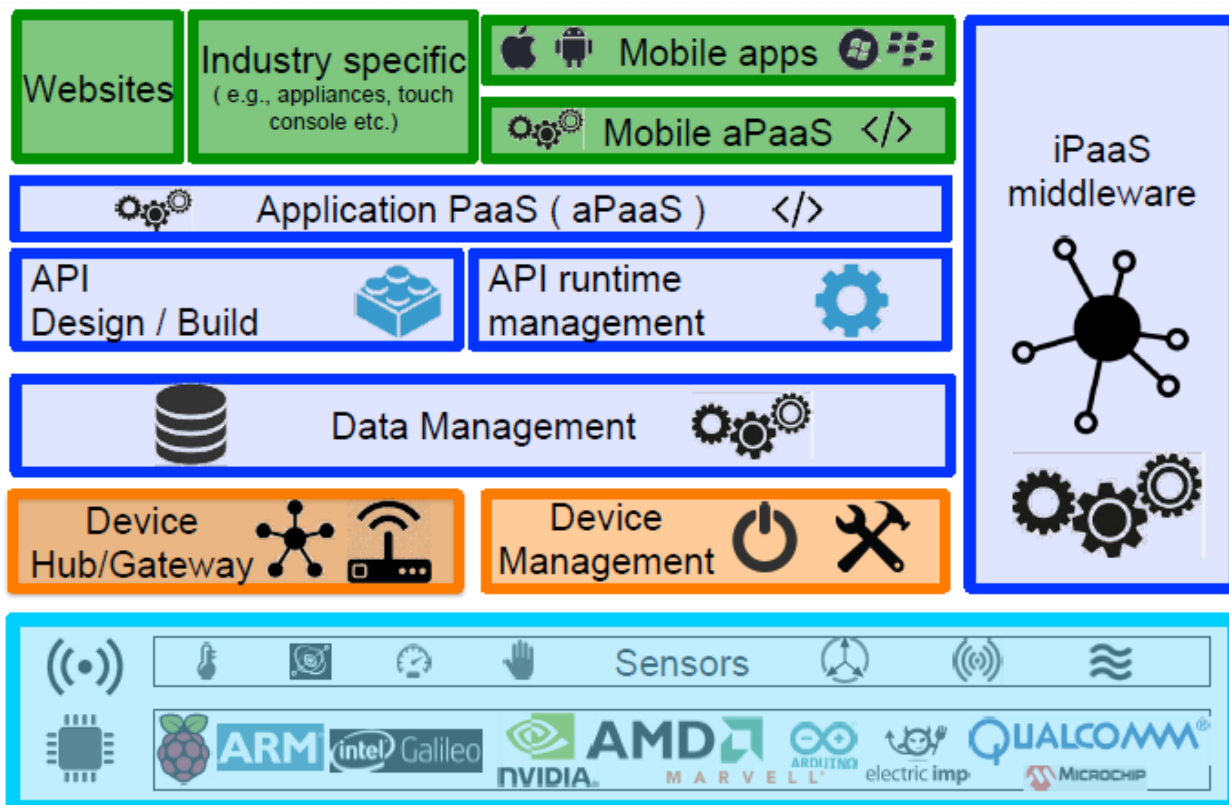



Рисунок 4.3 – Архітектура Інтернет речей у вигляді сервісів



Область Edge представлена у вигляді датчиків (Sensors), Device Hub/Gateway (збір та маршрутизація даних) та Device Management (керування пристроями). Останні частково виконуються як хмарні обчислення так і на граничних пристроях. Усі функції збереження та первинної обробки подій (даних) зведені до Data Management. Усі інші функції обробки, в тому числі аналітичні показані як додатки PaaS, що взаємодіють з сервісами керування даних через API (Application Program Interface).

В Інтернеті речей все можна поділити на три категорії:

- Датчики, які збирають інформацію, а потім надсилають її.
- Комп'ютери, які отримують інформацію, а потім діють відповідно до неї.
- Речі, які роблять і те, й інше.

Приклади Інтернет речей або IoT

Будь-який фізичний об'єкт можна перетворити на пристрій IoT, якщо його можна підключити до Інтернету та керувати ним через Інтернет.

- світильник, який можна увімкнути за допомогою програми для смартфона, є пристроєм IoT
 - датчик руху
 - інтелектуальний термостат в офісі
 - підключений вуличний ліхтар.
 - системи розумного будинку (охоронні пристрої, інтелектуальне освітлення, кондиціонування, опалення, підключена побутова техніка)
 - медичні пристрої, що носяться як для самостійного відстеження стану здоров'я (пульсоксиметри, глюкометри), так і для моніторингу показників життєдіяльності в клініках
 - системи стеження за логістикою (GPS-трекери, датчики рівня, витати палива, системи оповіщення для відстеження поведінки водія)
 - автономний транспорт (сільгосптехніка, складські автономні роботи, пасажирські автобуси)
 - розумне виробниче обладнання (робототехніка, рішення для профілактичного обслуговування)

Термін "Інтернет речей" в основному використовується для позначення пристроїв, які зазвичай не передбачають підключення до Інтернету, які можуть зв'язуватися з мережею незалежно від дій людини. З цієї причини ПК зазвичай не вважається пристроєм IoT, так само як і смартфон, хоча останній забитий датчиками. Однак, смарт-годинник або фітнес-браслет можуть вважатися пристроєм IoT.

4.3 Типи платформ Інтернету речей

Продукти Інтернету речей складаються з безлічі компонентів:

- Апаратне забезпечення

- Програмне забезпечення
- Комунікаційні технології
- Центральний репозиторій (хмарний чи локальний)
- Програми для кінцевих користувачів

Типи платформ IoT:

- Платформи підключення надають комунікаційні технології для з'єднання фізичних об'єктів із центром обробки даних (локального чи хмарного) та передачі інформації між ними. Серед популярних протоколів підключення та стандартів для Інтернету речей – MQTT, DDS, AMQP, Bluetooth, ZigBee, WiFi, Cellular, LoRaWAN та інші.

Тобто ця платформа виконує маршрутизацію для передачі даних від датчиків в Інтернет-простір. Для цього необхідні дві технології: *маршрутизатор-шлюз і опорні інтернет-протоколи*, що забезпечують ефективність обміну даними. Маршрутизатор особливо важливий в таких аспектах, як безпека, управління і напрям даних. Граничні маршрутизатори (Edge routers) керують і стежать за станом відповідних mesh-мереж, а також вирівнюють і підтримують якість даних. Також велике значення належить конфіденційності та безпеки даних. Маршрутизатор відіграє важливу роль в створенні віртуальних приватних мереж, віртуальних локальних мереж і програмно-визначених глобальних мереж. Вони в буквальному сенсі можуть містити тисячі вузлів, що обслуговуються єдиним граничним маршрутизатором, і в якійсь мірі маршрутизатор служить розширенням для хмари (edge device).



Рисунок 4.4 - Популярні протоколи підключення та стандартів для Інтернету речей

На цьому рівні використовується ряд протоколів, необхідних для обміну даними між вузлами, маршрутизаторами і хмарними сервісами в межах IoT-системи. Інтернет речей відкрив дорогу новим IoT-протоколам, які виходять на один рівень з традиційними протоколами HTTP і SNMP, які застосовуються вже кілька десятиків років. Для передачі IoT-даних потрібні ефективні, енергозберігаючі протоколи з малою затримкою, здатні легко і безпечно відправляти дані в хмару і з нього. Зокрема тут використовуються такі протоколи, як усюдисущий MQTT, AMPQ і CoAP.

- Платформи аналітики використовують інтелектуальні алгоритми для аналізу зібраної інформації та перетворення її на корисні ідеї для клієнтів.

- Наскрізні платформи Інтернету речей охоплюють всі аспекти продуктів Інтернету речей, від розробки та підключення до управління даними та візуалізації.

- Платформи розробки устаткування надають фізичні плати розробки створення пристроїв IoT, включаючи мікроконтролери, мікропроцесори, системи на кристалі (SoC), системи на модулі (SoM).

- Платформи розробки додатків служать як інтегроване середовище розробки (IDE) з інструментами та функціями для програмування додатків.

Архітектура Інтернету речей складається з 5 рівнів (см. рис. 4.5):




Рисунок 4.5 – Архітектура рівнів IoT

Перший елемент системи: датчики, детектори, приводи.

Датчики: пристрої або системи, створені для розуміння та виявлення змін у їхньому середовищі, а також для подальшої оптимізації інформації у своїй системі. Датчики мають унікальну здатність визначати фізичні параметри, такі як вологість або температура, а потім перетворювати їх на електронні сигнали.

Приводи: вони є частиною машини, яка дозволяє перетворювати



електричний сигнал на фізичні дії. Ці актуатори грають вирішальну роль компонентів мереж IoT.

Другий елемент системи IoT: інтернет-шлюзи та системи збору даних. Система збору даних (DAS) збирає необроблені дані з датчиків і перетворює їх з аналогового на цифровий формат. Потім DAS збирає та форматує дані перед їх відправкою через шлюз Інтернету бездротовими глобальними мережами (Wi-Fi, стільниковий зв'язок) або провідними глобальними мережами для наступного етапу обробки.

1) Wi-Fi - найпопулярніший і універсальний метод, який використовується в технологіях, керованих даними.

2) Ethernet є обладнанням, яке підтримує фіксовані або постійні пристрої, такі як відеокамери, ігрові консолі та системи безпеки.

3) Bluetooth - технологія, що широко використовується, що підходить в основному для зв'язку між пристроями на невеликій відстані.

4) NFC (Near Field Communications) забезпечує зв'язок на дуже короткій відстані 50 см або менше.

5) LPWAN (глобальна мережа з низьким енергоспоживанням), спроектована та побудована з урахуванням використання Інтернету на великих відстанях. Ці малопотужні пристрої WAN можуть прослужити до 10 років, споживаючи при цьому низьке енергоспоживання.

6) ZigBee – це ще одна передова технологія бездротової мережі, яка споживає невелику кількість енергії та може запропонувати невелику можливість спільного використання даних.

7) *Стільникові мережі* ідеально підходять для зв'язку у глобальному масштабі з великою довірою та надійністю. Для IoT існує два широкі рівні IoT в стільниковій мережі:

- LTE-M - це довгостроковий розвиток машин, що забезпечує дуже високошвидкісний обмін даними та безперебійний прямий хмарний зв'язок.

- NB-IoT як вузькосмуговий, який пропонує невеликий обмін даними з використанням низькочастотних каналів.

Також на цьому рівні є певні протоколи передачі даних:

- Служба розподілу даних (DDS) є платформою обміну повідомленнями між машинами в реальному часі в системах Інтернету речей.

- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) надає серверні протоколи для серверів через одноранговий обмін даними.

- Протокол обмеженої програми (CoAP) визначає протоколи для обмежених пристроїв, які використовують мале енергоспоживання та мало пам'яті, наприклад, бездротові датчики.

- Транспортна телеметрія черги повідомлень (MQTT) є стандартами протоколу обміну повідомленнями для пристроїв з низьким енергоспоживанням, що використовують TCP/IP для безперешкодної передачі даних.



Третій елемент системи IoT: попередня обробка та аналітика, після того, як дані Інтернету речей будуть оцифровані та агреговані, їх потрібно обробити, щоб ще більше зменшити обсяг даних, перш ніж вони потраплять до центру обробки даних або в хмару. Прикордонний пристрій може виконувати певну аналітику в рамках попередньої обробки. Машинне навчання може бути дуже корисним на цьому етапі для забезпечення зворотного зв'язку із системою та постійного покращення процесу, не чекаючи отримання інструкцій з корпоративного центру обробки даних чи хмари. Обробка цього типу зазвичай відбувається на пристрої в місці, близькому до того, де знаходяться датчики, наприклад, у комутаційній шафі на місці.

- Накопичення даних

Кожен пристрій надсилає мільйони потоків даних через мережу IoT. Тут дані бувають різних форм, швидкостей та розмірів. Відділення важливих даних від цих великих потоків — першочергове завдання, яке професіонали мають розставити за пріоритетами на цьому рівні.

- Абстракція даних

Після завершення етапу збору даних вибрані дані витягуються з великих даних для програми, щоб оптимізувати свої бізнес-процедури. Тут абстракція даних слідує наступним шляхом:

- Збір усіх даних із усіх систем IoT та не-IoT (CRM, ERP та ERM)

- Використання віртуалізації даних для доступу до даних з одного місця

- Управління необробленими даними у кількох формах

Взаємодія між пристроями та архітектурою відіграє вирішальну роль на рівні обробки.

Четвертий елемент системи IoT: аналіз у хмарі чи центрі обробки даних. На цьому етапі обробку даних починають потужні ІТ-системи для аналізу, управління та безпечного зберігання даних. Зазвичай це відбувається в корпоративному центрі обробки даних або у хмарі. Компанія може працювати у різних регіонах, і дані IoT можна аналізувати виявлення ключових тенденцій і закономірностей чи виявлення аномалій.

П'ятий елемент системи IoT: на цьому етапі оброблені дані надходять менеджерам системи (користувачам). З цих даних можна дізнатися тенденції, закономірності та аномалії.

Найпопулярніші платформи Інтернету речей у 2021 році:

Google Cloud IoT

Cisco IoT Cloud Connect

Salesforce IoT Cloud

В даний час у всьому світі існує понад 600 публічно відомих платформ Інтернету речей. Лідери - Amazon AWS IoT Core, Microsoft Azure IoT Hub та IBM Watson.

5 СЕНСОРНІ МЕРЕЖИ

5.1 Основні поняття і принципи сенсорних мереж

Визначимо основні поняття сенсорних мереж.

Сенсор (англ., Sensor) - пристрій, який сприймає контрольований вплив (світло, тиск, температуру і т. п.), вимірює його кількісні та якісні характеристики і перетворює дані вимірювання в сигнал. Сигнал може бути електричний, хімічний або іншого типу.

Датчик (англ., Transducer) - пристрій, який використовується для перетворення одного виду енергії в інший. Отже, сенсор також є датчиком, який перетворює фізичну інформацію в електричну, яка може бути передана обчислювальній системі чи контролеру для обробки.

Актuator (англ., Actuator) - виконавчий пристрій, що реагує на сигнал, який надійшов, для зміни стану керованого об'єкта. В актуаторі відбувається перетворення типів енергії, наприклад, електрична енергія, або енергія стисненого (розрідженого) повітря (рідини, твердого тіла) перетворюється в механічну.

Сенсорний вузол (англ., Sensor node) - це пристрій, який складається, принаймні, з одного сенсора (може також включати один або декількох актуаторів), і має обчислювальні та дротові або бездротові мережеві можливості.

Сенсорна мережа - система розподілених сенсорних вузлів, взаємодіючих між собою, а також з іншими мережами для запитів, обробки, передачі та надання інформації, отриманої від об'єктів реального фізичного світу з метою вироблення відповідної реакції на цю інформацію. Таким чином, сенсорна мережа включає в себе як мінімум сенсори, актуатори і комунікаційні вузли. Основною областю застосування сенсорної мережі є контроль і моніторинг реальних показників фізичних середовищ і об'єктів та в деяких випадках - управління цими об'єктами (активація в них певних процесів). Приклади сенсорних мереж: всепроникні сенсорні мережі (USN - Ubiquitous Sensor Network), мережі для транспортних засобів (VANET - Vehicular Ad Hoc Network), муніципальні мережі (HANET - Home Ad hoc Network), медичні мережі (MBAN (S) - Medicine Body Area Network (services)) і ін. Основні дії, що виконуються при роботі сенсорних мереж, представлені на рис. 5.1 (пунктиром показані необов'язкові процеси).

Область покриття сенсорної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента мережі до іншого. Сенсорна мережа має здатність до ретрансляції повідомлень по ланцюжку від одного вузла до іншого, що дозволяє в разі виходу з ладу одного з вузлів організувати передачу інформації через сусідні вузли без втрати якості.

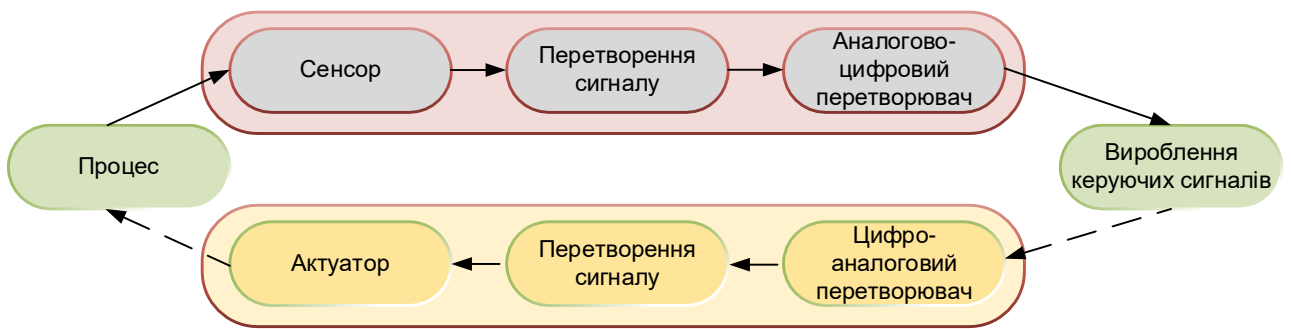


Рисунок 5.1 - Збір даних і управління в сенсорних мережах

Сама мережа визначає оптимальний маршрут руху інформаційних потоків (рис. 5.2).

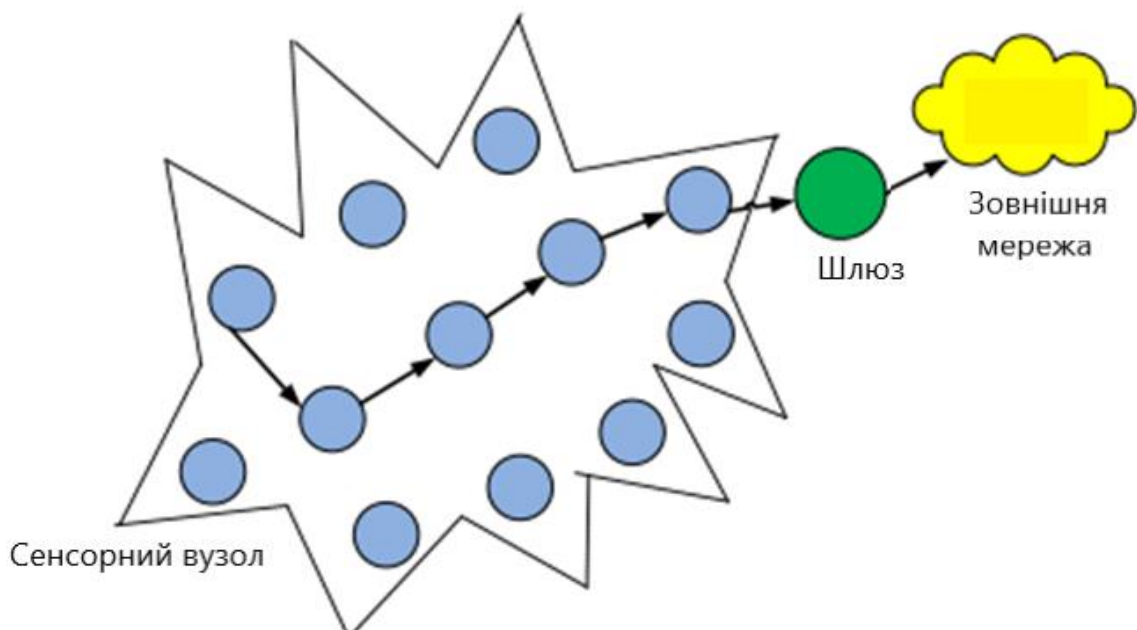



Рисунок 5.2 - Маршрутизація інформації в сенсорній мережі

Самоорганізована (лат. Ad hoc - «за місцем») мережа зв'язку - мережа, в якій число вузлів є випадковою величиною в часі і може змінюватися від 0 до деякого максимального значення. Взаємозв'язки між вузлами в такій мережі також випадкові у часі і утворюються для передачі інформації між подібними вузлами і в зовнішню мережу зв'язку.

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) (англ. WSN - Wireless Sensor Network) – розподілена сенсорна мережа множини сенсорів і виконавчих пристроїв, що самоорганізується, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалів.

Переваги бездротових сенсорних мереж:

- здатність до самовідновлення та самоорганізації;
- здатність передавати інформацію на значні відстані при малій потужності передавачів (шляхом ретрансляції);



низька вартість вузлів і їх малий розмір;
низьке енергоспоживання і можливість електроживлення від автономних джерел;
простота установки, відсутність необхідності в прокладанні кабелів (завдяки бездротовій технології і живленню від батарей);
можливість установки таких мереж на вже існуючий і експлуатується об'єкт без проведення додаткових робіт;
низька вартість технічного обслуговування.

Так як на практиці в найбільшою мірою поширені бездротові сенсорні мережі, тому основна частина матеріалу глави присвячена саме таким мережам.

5.2 Класифікація технологій передачі даних у IoT

Одним із головних питань організації Інтернету речей є реалізація взаємодії між:

- a) інтернет-мовами;
- b) користувачами та інтернет-мовленнями;
- c) віддаленим сервером та інтернет-мовами.

IoT використовує велику кількість варіантів мереж зв'язку для передачі даних, починаючи від мережі на тілі людини BAN (Body Area Network), яка працює на відстані кілька десятків сантиметрів, аж до всесвітньої мережі інтернет. Комунікації малої дальності використовують такі технології, як RFID, NFC, Bluetooth, Wi-Fi та ін. ін.

По території охоплення телекомунікаційні мережі, що використовуються в Інтернеті речей, можна поділити на 4 основні типи (див. рис. 5.3):

a) персональна мережа PAN (Personal Area Network) – це мережа, побудована «навколо» людини. Дані мережі мають об'єднувати всі персональні пристрої користувача (телефони, смартфони, кишенькові персональні комп'ютери, ноутбуки, гарнітури та ін.). Стосовно IoT така мережа будується «навколо» пристрою («речі»);

b) локальна мережа LAN (Local Area Network) - мережа, що зазвичай покриває відносно невелику територію або невелику групу будівель (будинок, офіс, фірму). До локальних мереж можна віднести і мережу контролерів CAN (Controller Area Network) - промислову мережу, орієнтовану насамперед на об'єднання в єдину мережу різних виконавчих пристроїв і датчиків у рамках окремого підприємства;

в) міська мережа MAN (Metropolitan Area Network) - об'єднує окремих користувачів та локальні мережі в межах міста, являє собою мережу за розмірами більшу, ніж LAN, але меншу, ніж WAN;

г) глобальна мережа WAN (Wide Area Network) - пов'язує користувачів та мережі, розосереджені з відривом сотень і тисяч кілометрів.

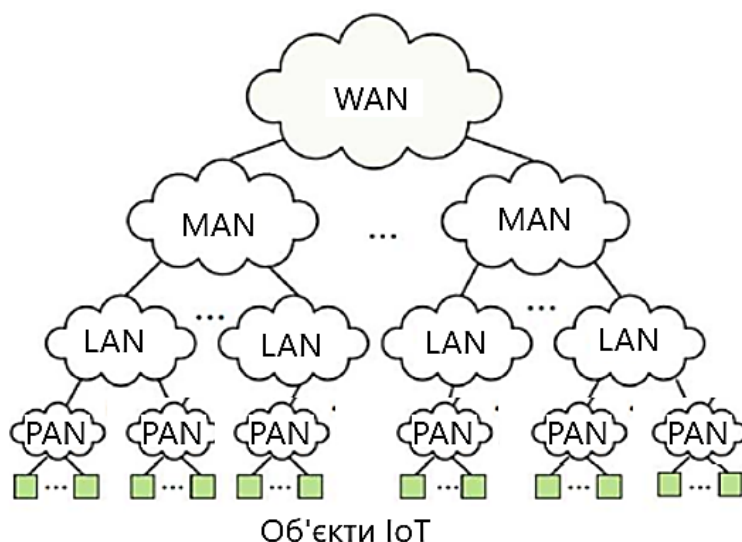


Рисунок 5.3 - Ієрархія мережевих технологій, що використовуються в IoT

Інтернет речей практично не висуває особливих вимог до технологій LAN, MAN і WAN, крім того, вони досить добре освітлені в технічній літературі. Тому в цьому розділі розглянуті лише стандарти та протоколи мереж малого та середнього радіусу дії, які широко використовуються в IoT.

Всі технології передачі даних в Інтернеті речей залежно від використовуваного середовища передачі можна розділити на два великі класи: дротові та бездротові.

Дротові технології передачі даних в IoT можуть використовувати металевий (мідний) кабель зв'язку, електропроводку (технологія PLC - Power Line Communication) або волоконно-оптичний кабель. Однак через складності фізичної реалізації ліній зв'язку провідні технології комунікацій інтернет-речей застосовуються меншою мірою, ніж бездротові.

Бездротові мережі малого радіусу дії, що використовуються в IoT, можна розділити на три види:

а) бездротові персональні мережі WPAN (Wireless Personal Area Network). Застосовуються для зв'язку різних пристроїв, включаючи комп'ютерну, побутову та оргтехніку, засоби зв'язку тощо. Фізичний та канальний рівні регламентуються стандартом IEEE 802.15.4. Радіус дії WPAN становить від кількох метрів до кількох десятків сантиметрів. Такі мережі використовуються як для об'єднання окремих пристроїв між собою, так і для зв'язку з мережами вищого рівня, наприклад, глобальною мережею інтернет. WPAN може бути розгорнута з використанням різноманітних мережевих технологій;

б) бездротові сенсорні мережі WSN (Wireless Sensor Network). Розподілені мережі, що самоорганізуються, безлічі датчиків (сенсорів) виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу.

Область покриття подібних мереж може становити від кількох метрів до кількох кілометрів за рахунок можливості ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого;

с) малі локальні мережі TAN (Tiny Area Network). Обчислювальні мережі, що розгортаються в межах невеликого офісу чи окремого житла. Їх часто називають домашніми мережами, оскільки вони об'єднують комп'ютери, побутову електроніку та сигналізаційні прилади, що належать одній родині. Найчастіше такі мережі будуються з урахуванням технології Wi-Fi.

Для взаємодії безлічі різноманітних пристроїв в IoT потрібні стандартизовані інтерфейси, формати даних та комунікаційні протоколи. У таблиці 5.1 наведено перелік деяких стандартів та протоколів IoT із зазначенням робочої частоти, швидкості передачі даних, підтримки рівнів OSI (фізичного PHY, доступу до середовища MAC, мережевого NWK, транспортного TRP), а також реалізації підрівня підтримки додатків APS (Application Support Sublayer), підтримки списків управління доступом АСЬ (Access Control List) та 128-бітного стандарту шифрування AES (Advanced Encryption Standart).

Таблиця 5.1 – Стандарти та протоколи IoT

Стандарт	Частота, МГц	Швидкість, кбіт/с	Рівні протоколів						Шифрування
			PHY	MAC	NWK	TRP	APS	ACL	
IEEE 802.15.4	868/915/2400	20/40/250	+	+	-	-	-	+	+
Zigbee	2400	250	-	-	+	+	+	+	+
6LOWPAN	-	50...200	-	-	+	-	-	+	+
WirelessHART	2400	250	+	+	+	+	+	+	+
ISA 100.11a	2400	250	+	+	+	+	+	+	+
Z-Wave	865/915/869	9,6/40	+	+	+	-	+	-	-
Bluetooth	2400	1000	+	+	+	+	+	+	+

Примітка.

PHY - Фізичний рівень

MAC - Рівень керування доступом до мережі

NWK – Рівень мережевої комунікації

TRP – Транспортний рівень

APS – Рівень додатків

ACL – список керування доступом

<http://surl.li/eabia> – додаткова інформація

5.3 Типи вузлів БСМ

Типова архітектура БСМ включає три типи вузлів (див. рис. 5.4):

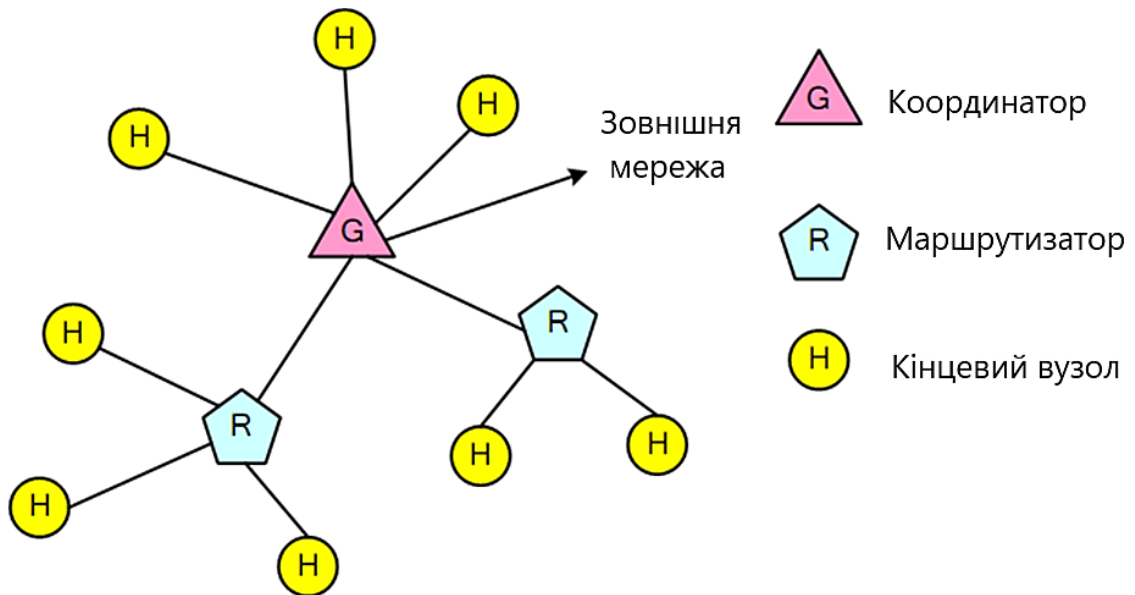


Рисунок 5.4 - Типи вузлів БСМ

1. *Координатор* - здійснює глобальну координацію, організацію та установку параметрів мережі, є найбільш складним пристроєм БСМ, вимагає найбільший об'єм пам'яті і найбільшу потужність джерела живлення. В одній мережі повинен бути присутнім тільки один координатор. З координатора здійснюється вихід в зовнішню мережу (він реалізує функцію шлюзу - gateway). Часто координатор називають базовою станцією (БС).


Координатор виконує наступні функції:

- визначає незадіяні канали з переліку каналів, доступних для організації мережі і визначаються розробником і організовує мережу;
- передає мережеві сигнальні пакети з інформацією про існуючої мережі;
- управляє мережевими підлеглими пристроями, встановлює параметри мережі - визначає максимальну глибину вкладених підмереж, число мережевих маршрутизаторів і число підлеглих пристроїв;
- забезпечує маршрутизацію інформації між підлеглими пристроями;
- більшу частину часу перебуває в режимі прийому;
- забезпечує організацію таблиць маршрутизації;
- дозволяє маршрутизаторів і кінцевим пристроям входити в мережу.

2. *Маршрутизатор* - приймає, буферизує і передає дані від інших вузлів БСМ, а також визначає напрямки передачі.

Маршрутизатор виконує наступні функції:

- визначає активні канали, підключається до мережі і дозволяє кінцевим пристроям входити в мережу - використовує додаткові, визначені додатком, списки активних каналів;



- ретранслює сигнальні мережеві пакети з параметрами мережі від координатора;

- адмініструє мережеві адреси підключених до маршрутизатора підлеглих пристроїв;

- підтримує наступні класи пристроїв маршрутизації: пристрій з таблицею маршрутизації і з функцією деревовидної маршрутизації, пристрій тільки з функцією деревовидної маршрутизації, підтримка функції аварійної деревовидної маршрутизації;

- підтримує два режими роботи пристроїв: без переходу в «сплячий режим» і з переходом в «сплячий» режим в періоди, які визначаються координатором мережі і параметрами мережевої синхронізації;

- підтримує функції маршрутизації багато чарункових мереж: створює таблиці сусідніх мережевих вузлів з параметром якості зв'язку з кожним з них, створює таблиці мережевої маршрутизації, ретранслює пакети запиту і підтвердження визначення маршрутів між пристроями;

- підтримує функції маршрутизації по деревовидному принципу – транслює повідомлення вгору і вниз по ієрархічній структурі дерева гілки в залежності від адреси одержувача повідомлення.

3. *Кінцевий пристрій* (сенсорний вузол) – виконує тільки прикладні дії (збір інформації та управління віддаленим об'єктом) і не здійснює ретрансляцію даних.

Сенсорний вузол має такі особливості:

- завжди шукає і намагається увійти в існуючу мережу - використовує додаткові, визначені додатком, списки активних каналів і сигнальні пакети синхронізації існуючої мережі для визначення параметрів мережі та маршрутизатора для входу в мережу;

- живиться від автономного джерела (батареї);

- з пакетів синхронізації визначає наявність даних від координатора;

- запрошує дані від координатора;

- здатний знаходитися тривалий час в «сплячому» режимі (до 99,99% від всього часу роботи).

По виконуваних наборах функцій все вузли БСМ можна віднести до двох видів:

1. *Пристрій з повним набором функцій FFD (Fully Function Device):*

- підтримка стандарту IEEE 802.15.4;


- додаткова пам'ять і енергоспоживання дозволяють виконувати роль координатора мережі;

- підтримка всіх типів топологій («точка-точка», «зірка», «дерево», «чарункова мережа»);

- здатність виконувати роль координатора мережі;

- здатність звертатися до інших пристроїв в мережі.

2. *Пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device):*

- 
- підтримує обмежений набір функцій стандарту IEEE 802.15.4;
 - підтримка топології «точка-точка», «зірка»;
 - не виконує функції координатора;
 - звертається до координатора мережі і маршрутизатора.

Координатори та маршрутизатори завжди відносяться до пристроями FFD, кінцеві пристрої можуть бути FFD або RFD.

6 ОСОБЛИВОСТІ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

6.1 Типові архітектури та топології БСМ (WSN)

Виділяють два типи архітектури бездротових сенсорних мереж: однорідні (однорангові) і ієрархічні (кластерні). Однорідність мережі має на увазі, що всі вузли виконують однакові функції при зборі, обробці та передачі інформації. Цей підхід дозволяє домогтися оптимальної маршрутизації. Пересилання даних відбувається по найефективнішим за деякими критеріями маршрутами, що дозволяє домогтися економії таких важливих ресурсів, як енергія (передача іде по маршруту з найвищим запасом енергії) і час (передача відбувається по найкоротшому маршруту). Для критично важливих даних може бути організована передача по найбільш надійному шляху.

Агрегування даних, якщо необхідно, відбувається у міру проходження повідомлень до координатора. Однак при такій організації мережі формування зв'язків між вузлами відбувається спонтанно, що веде до зіткнень пакетів і виникнення затримок, пов'язаних з виходом із сплячого режиму вузлів, що знаходяться на обраному шляху передачі.

Альтернативним підходом є ієрархічна (деревоподібна) маршрутизація. Вона заснована на поділі мережі на області, які називаються кластерами. кластер утворюють маршрутизатор і кінцеві вузли, у яких він запитує сенсорні дані (див. рис. 6.1).

У середині кожного кластера маршрутизатор відповідає за збір інформації з усього кластера, її обробку і подальшу передачу. Решта вузли кластера здійснюють тільки збір даних і передачу їх маршрутизатора. Таким чином, вузли в ієрархічній мережі не рівноправні. По-перше, агрегування даних відбувається на маршрутизаторах, і, по-друге, пересилання агрегованих даних далі може проводитися тільки маршрутизаторами. Таким чином, мінімізуються затримки передачі, оскільки маршрутизатори доступні завжди. Зіткнення пакетів виключені завдяки централізованому методу створення посилань. Однак така маршрутизація не надає оптимальних шляхів передачі даних. До того ж сенсорний вузол, що виконує функції маршрутизатора, витрачає значно більше енергії, що призводить до швидкого виснаження його батарей. Існують архітектури, які передбачають використання в якості маршрутизаторів фізично виділених сенсорів, що володіють великими запасами енергії і обчислювальними потужностями, однак цей підхід застосовується лише для вузького ряду додатків. Маршрутизатор кластерів ретранслюють дані один одному і, в кінцевому рахунку, дані передаються координаторові. Координатор зазвичай має зв'язок з IP-мережею, куди і прямують дані для остаточної обробки. У кожній мережі повинно бути, щонайменше, одне повнофункціональний пристрій FFD для роботи в якості координатора.

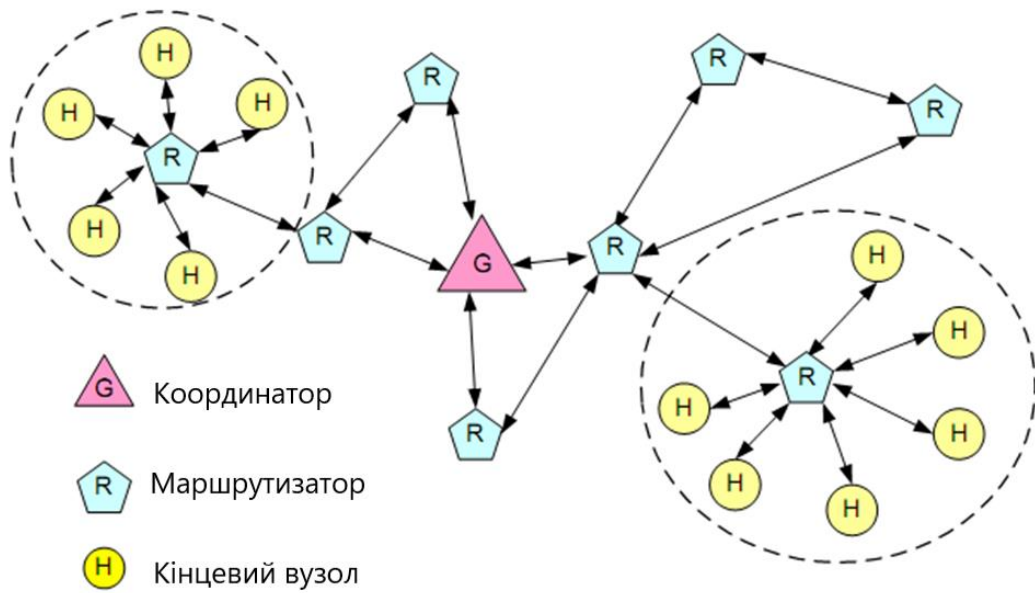


Рисунок 6.1 - Кластерна структура БСМ

Можливо також побудова тимчасових *ніздрюватих* мереж (див. рис. 6.2). У таких мережах функціональні можливості кожного сенсорного вузла однакові. Можливість самоорганізації і самовідновлення мереж комірчастої топології дозволяє в разі виходу частини сенсорів з ладу спонтанно формувати нову структуру мережі. Правда, в будь-якому випадку потрібен центральний функціональний вузол-координатор, який приймає і обробляє всі дані, або шлюз для передачі даних на обробку зовнішньому вузлу.

Спонтанно створювані мережі часто називають латинським терміном Ad Hoc, що означає «для конкретного випадку».

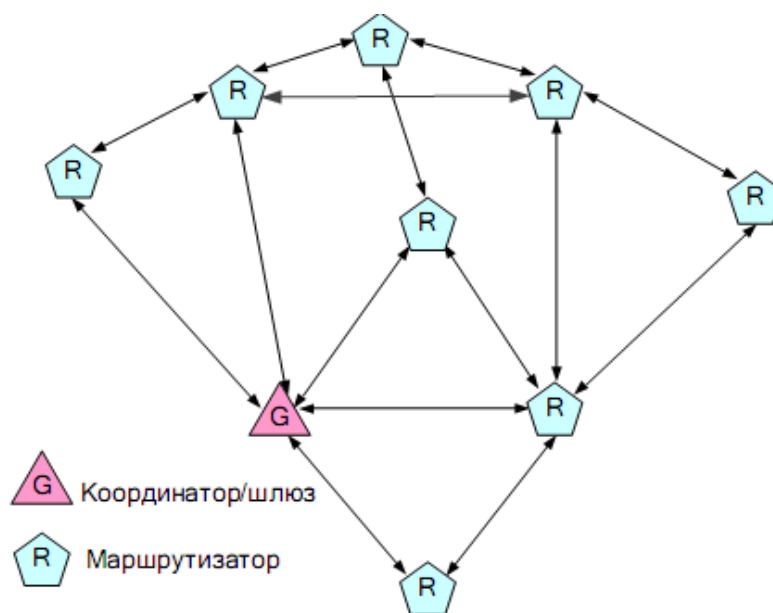


Рисунок 6.2 - Ніздрювата структура БСМ

Можливі топології сенсорної мережі наведені на рис. 6.3. Однорангові мережі можуть формувати довільні топологічні структури (точка-точка, зірка), обмежені тільки дистанцією між кожною парою вузлів. Mesh-мережі (Mesh Topology) - базова повнозв'язна топологія, в якій кожен маршрутизатор мережі з'єднується з декількома іншими маршрутизаторами цієї ж мережі. Характеризується високою стійкістю до відмов, але і більш складною настроюванням.

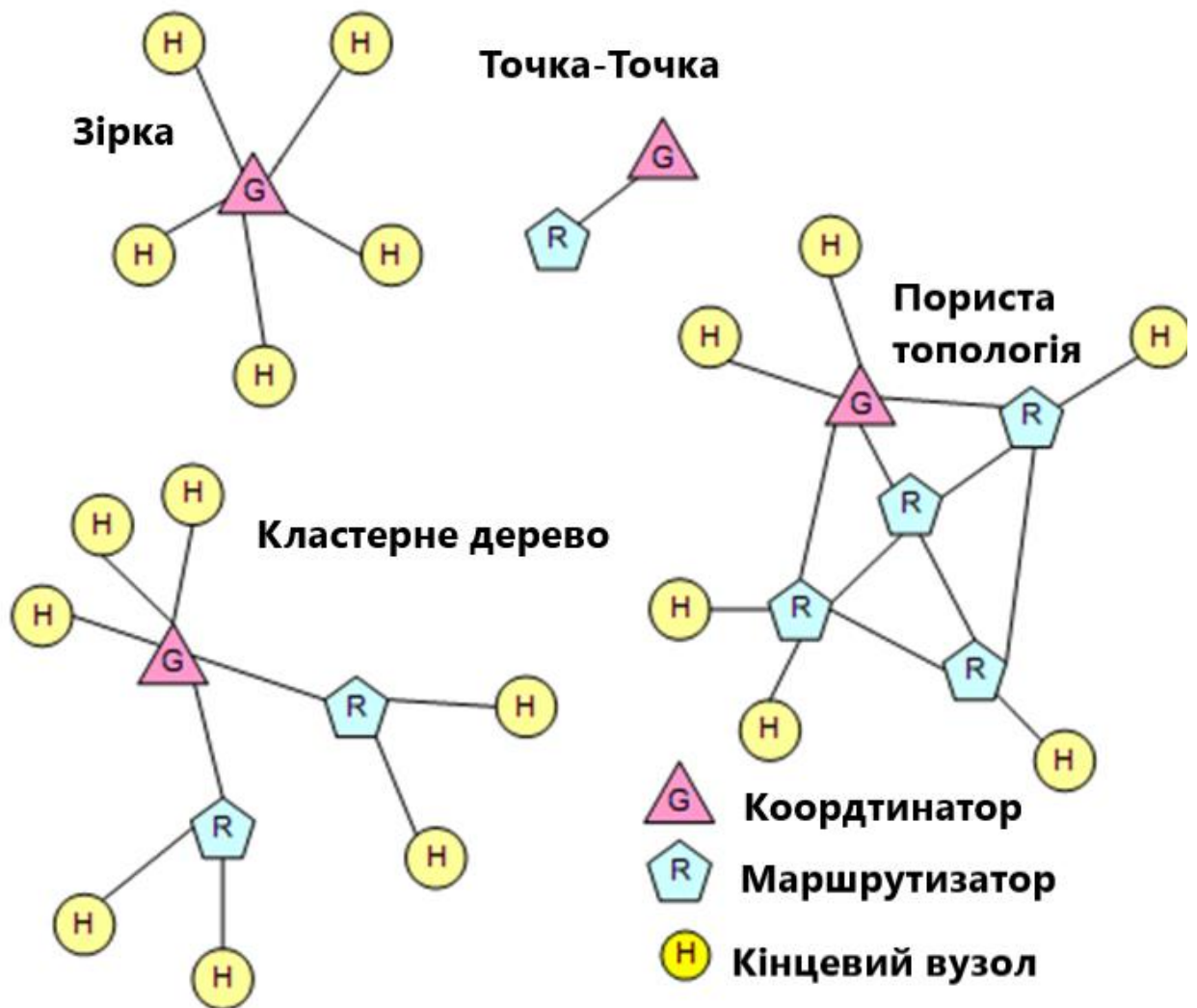



Рисунок 6.3 - Можливі топології сенсорної мережі

Прикладом тимчасової або пирингової мережі (від англ. Peer-to-peer, P2P - рівний до рівного) є кластерне дерево. Мережа типу кластерне дерево є приватним випадком мережі P2P, в якій більшість пристроїв є FFD. Пристрої RFD підключаються до кластеру в якості кінцевих вузлів. Для приєднання до мережі віддалених від координатора нових мережевих пристроїв можуть використовуватися вже під'єднані до мережі FFD в режимі координатора. В цьому режимі вони, як і спочатку координатор PAN, «зазивають» маяками в мережу нові мережеві пристрої. В результаті формується кластер з мережевих



пристроїв, які «чують» свого координатора. Проте, вся інформація про кластер доступна координатору PAN. Подібним чином можуть формуватися мультікластери з мережевих пристроїв.

6.2 Режими роботи БСМ

Самою енерговитратній операцією для сенсорних вузлів є передача даних в бездротове оточення. Тому енергозберігаючі форми передачі є ключовим фактором для продовження терміну служби сенсорів, так як він практично цілком залежить від терміну служби батарей.

Збір даних бездротової сенсорної мережею може здійснюватися різними способами в залежності від цільового призначення конкретної мережі. Приймаючи до уваги різні способи використання мережевих ресурсів, бездротові сенсорні мережі можна розділити на класи в залежності від виду їх функціонування і типу цільового додатки:

1. Проактивні мережі. Вузли такої мережі періодично включають свої сенсори і передавачі, знімають показання і передають їх на базову станцію. Таким чином, вони роблять "моментальну фотографію" свого оточення з певною періодичністю і використовуються зазвичай для додатків, що вимагають регулярного моніторингу деяких значень.

2. Реактивні мережі. Вузли реактивних мереж з певною періодичністю знімають показання, однак залишають поза передачею їх, якщо отримані дані потрапляють в певну область нормальних показань. У той же час відомості про несподівані і різкі зміни в показаннях датчиків або їх виході за діапазон нормальних значень негайно передаються на базову станцію. Цей вид мережі призначений для роботи з додатками реального часу.

3. Гібридні мережі. Це комбінація двох перерахованих вище типів, де сенсорні вузли не тільки періодично відправляють зняті дані, але і реагують на різкі зміни в значеннях.

6.3 Протоколи маршрутизації в БСМ

Для визначення маршруту передачі інформації в БСМ від кінцевого вузла до вузла-координатора, а також між кінцевими вузлами, використовуються спеціальні протоколи маршрутизації. Протоколи маршрутизації в БСМ вирішують наступні завдання:

1. Самоорганізація вузлів мережі (самоконфігурування, самовідновлення та оптимізація).

2. Маршрутизація пакетів даних і адресація вузлів.

3. Мінімізація енергоспоживання вузлів мережі і збільшення загального часу життя всієї мережі.

4. Збір і агрегація даних.

5. Регулювання швидкості передачі і обробки даних в мережі.

- 6. Максимізація зони покриття мережі.
- 7. Забезпечення заданої якості обслуговування (QoS).
- 8. Захист від несанкціонованого доступу.

При виборі шляху передачі інформації в мережі в якості метрик в них можуть бути використані наступні параметри:

- довжина шляху (кількість ділянок переприйому інформації);
- надійність;
- затримка;
- пропускна здатність;
- завантаження;
- вартість передачі трафіку і ін.

Протоколи маршрутизації БСМ відповідають за підтримку маршрутів в мережі і повинні гарантувати надійний зв'язок навіть в жорстких несприятливих умовах. Багато протоколи маршрутизації, управління електроживленням, поширення даних, були спеціально розроблені для БСМ, де енергозбереження є суттєвою проблемою, на вирішення якої спрямовано протокол. Інші ж були розроблені для загального застосування в бездротових мережах, але знайшли своє застосування і в БСМ.

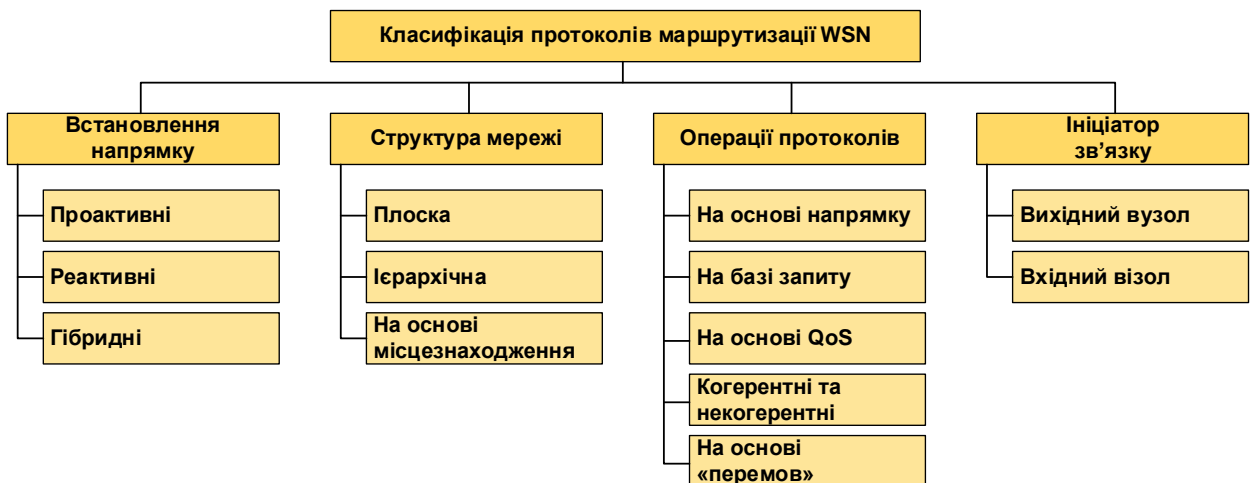



Рисунок 6.4 - Класифікація протоколів маршрутизації БСМ

Існує велика кількість протоколів маршрутизації для БСМ, класифікувати їх можна за різними ознаками (рис. 4). Залежно від використовуваного режиму роботи мережі, що обумовлює необхідність передачі інформації від вузлів, всі протоколи маршрутизації можна розділити на проактивні (всі шляхи визначаються заздалегідь, до того як вони будуть потрібні), реактивні (шляху визначаються на вимогу) та гібридні (комбінація перших двох).

Протоколи, що враховують структури мережі, діляться на:

1) протоколи однорівневої (плоскої) (flat-based) маршрутизації - всі вузли БСМ мають однакову функціональність, приклади: SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation), Direct Diffusion, Rumor Routing;



2) протоколи ієрархічної (hierarchical-based) маршрутизації - вузли мережі виконують різні функції, вони можуть бути і фізично різними, приклади: LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems), TEEN і APTEEN (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols), SOP (Self-Organization Protocol);

3) протоколи маршрутизації на основі інформація про місцезнаходження вузла (location-based), приклади протоколів: GAF (Geographic Adaptive Fidelity), GEAR (Geographic and Energy Aware Routing).

Робота протоколу маршрутизації може ґрунтуватися на різних принципах:

1) протоколи маршрутизації з багатьма маршрутами (multipath routing) - використовуються кілька маршрутів від джерела до точки призначення, що підвищує надійність з'єднання, але збільшує накладні витрати і енерговитрати;

2) протоколи маршрутизації «на замовлення» (query-based) - вузол посилає запит на дані в мережу і інший вузол, який має запитовані дані, відповідає на запит;

3) протоколи маршрутизації, засновані на «переговорах» (negotiation routing) між вузлами;

4) протоколи, які враховують якість обслуговування (QoS-based), що дозволяє забезпечити певний рівень послуг в мережі.

У протоколах, спрямованих на агрегацію даних, проміжні вузли, що розташовуються між джерелами інформації та базовою станцією (БС), можуть здійснювати агрегацію даних і посилати БС вже зведені дані. Цей процес дозволяє сенсорним вузлів економити енергію.

Всі протоколи маршрутизації також можна розділити на два види - в одних ініціатором з'єднання є джерело інформації, а в інших - одержувач.

Класифікація протоколів маршрутизації БСМ на основі типів вузлів показана на рис. 6.5.

В останні роки активно впроваджуються бездротові децентралізовані, що самоорганізуються мережі, що складаються з мобільних пристроїв MANET (Mobile Ad hoc NETWORK). Кожен пристрій такої мережі може незалежно пересуватися в будь-яких напрямках, і, як наслідок, часто розривати і встановлювати з'єднання с сусідами.

Мережі, що самоорганізуються, MANET мають наступні переваги над бездротовими мережами традиційної архітектури:

- можливість передачі даних на великі відстані без збільшення потужності передавача;
- стійкість до змін в інфраструктурі мережі;
- можливість швидкої реконфігурації в умовах несприятливої завадової обстановки;
- простота і висока швидкість розгортання мережі.

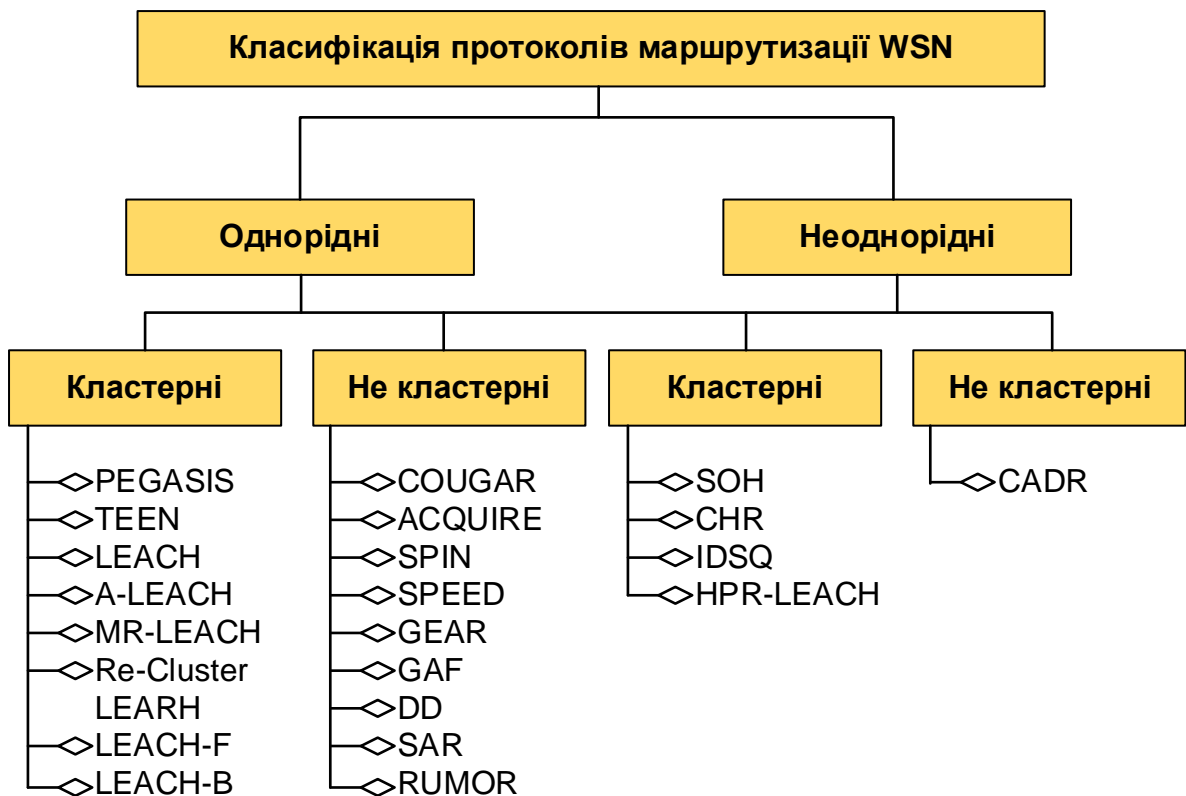


Рисунок 6.5 - Класифікація протоколів маршрутизації БСМ

Однак мобільність вузлів веде до додаткового підвищення динамічності топології мережі і, отже, до можливості обриву зв'язку через перешкоди або включення/вимикання вузла додається ймовірність його переміщення.

Для маршрутизації на мережевому рівні в MANET використовуються спеціальні протоколи, орієнтовані на динамічні мережі (наприклад, підтримувати маршрут, якщо поїхав проміжний вузол, і маршрут зруйнувався):

1) реактивні - знаходять маршрут в тому випадку, коли потрібно передати пакет і для нього немає відомого шляху і намагаються змінити цей шлях, якщо сталася помилка, приклади:

- спеціалізований протокол вектора відстані за запитом AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector),

- протокол динамічної маршрутизації джерела DSR (Dynamic Source Routing) і ін.;

2) проактивні (превентивні) - знаходять маршрут заздалегідь для всіх можливих пар джерело-приймач і періодично оновлюють інформацію про маршрутизації для підтримки шляхів, приклади: протокол оптимізованої маршрутизації стану з'єднання OLSR (Optimized Link-State Routing) і ін.

Перевагу одному або іншому виду протоколів може бути віддано тільки з урахуванням обстановки і швидкостей руху абонентів. Наприклад, для автомобільної версії MANET має сенс використовувати



реактивні протоколи.

Мережі MANET включають Ad hoc мережі для транспортних засобів VANET (Vehicular Ad hoc Network), в яких кожен бере участь автомобіль перетворюється в бездротової маршрутизатор або вузол, що дозволяє автомобілям підключатися один до одного на відстані і створювати мобільну мережу. Стандарт для мереж VANET розробляється в рамках робочої групи IEEE 802.11р. Технічні засоби стандарту IEEE 802.11р повинні функціонувати на швидкості до 200 км/год і на відстані до 1 км. Фізичний рівень і MAC підрівень базуються на стандарті IEEE 802.11а. Частотний діапазон для США включає спектр від 5,859 до 5,925 ГГц, для Європи рекомендується використання двох піддіапазонів шириною по 10 МГц кожен: 5,865 - 5,875 ГГц і 5,885 - 5,895 ГГц.

Можливості по взаємодії транспортних засобів між собою і з мережею зв'язку загального користування в найближчі роки можуть привести до утворення нового, дуже масштабного сегмента Інтернету речей. Уже зараз сучасний автомобіль інтегрує в себе GPS / GLONASS приймач, різні сенсори, бортовий комп'ютер. Однак завдання, яке ставиться при створенні VANET, дещо інше. Архітектура мережі VANET передбачає взаємодію автомобіля, як з іншими автомобілями, так і з придорожньої мережею. При цьому виділяється три групи послуг:

1. Забезпечення безпеки - допомога водію (навігація, запобігання зіткнень і зміна смуг), інформування (про обмеження швидкості або про зону ремонтних робіт), попередження (післяаварійні, про перешкоди або стані дороги).

2. Підвищення ефективності управління автомобільним трафіком - скорочення тривалості поїздки, споживання палива.

3. Підвищення рівня комфорту пасажирів і водіїв - інформація про місцезнаходження автомобіля, про поточний трафіку на дорогах, про погоду, можливість здійснення P2P з'єднань, в тому числі з власним будинком через придорожню мережу, а також інформація від придорожньої мережі про готелі, станціях заправки, меню в ресторанах і так далі.

6.4 Сполучення БСМ з мережами загального користування

В даний час для сполучення БСМ з мережами зв'язку загального користування (ССОП) зазвичай використовується протокол бездротових персональних мереж на базі мережевого протоколу IPv6 з низьким енергоспоживанням 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks), запропонований IETF, який дозволяє інтегрувати сенсорні мережі в існуюче сімейство мереж стека протоколів TCP / IP. Даний протокол дозволяє передавати IP-пакети поверх стандарту IEEE 802.15.4 способом, що задовольняє відкритим стандартам (протокол IPv6). При цьому забезпечується взаємодія з іншими

IP-каналами і пристроями. Протокол 6LoWPAN створений для малопотужних бездротових персональних мереж (LoWPANs) і описаний в документах RFC4919 і RFC4944. В архітектурі мережі 6LoWPAN (рис. 6) визначені три типи логічних пристроїв (крайовий вузол, маршрутизатор і шлюз), а також три види мереж: «Проста LoWPAN», «Розширена LoWPAN» і «Ad hoc LoWPAN». Як видно з малюнка, «Ad hoc LoWPAN» не підключена до ССОП, «Проста LoWPAN» підключена до ССОП через один шлюз, а «Розширена LoWPAN» включає в себе кілька шлюзів, пов'язаних з ССОП і один з одним за допомогою магістральної лінії зв'язку.

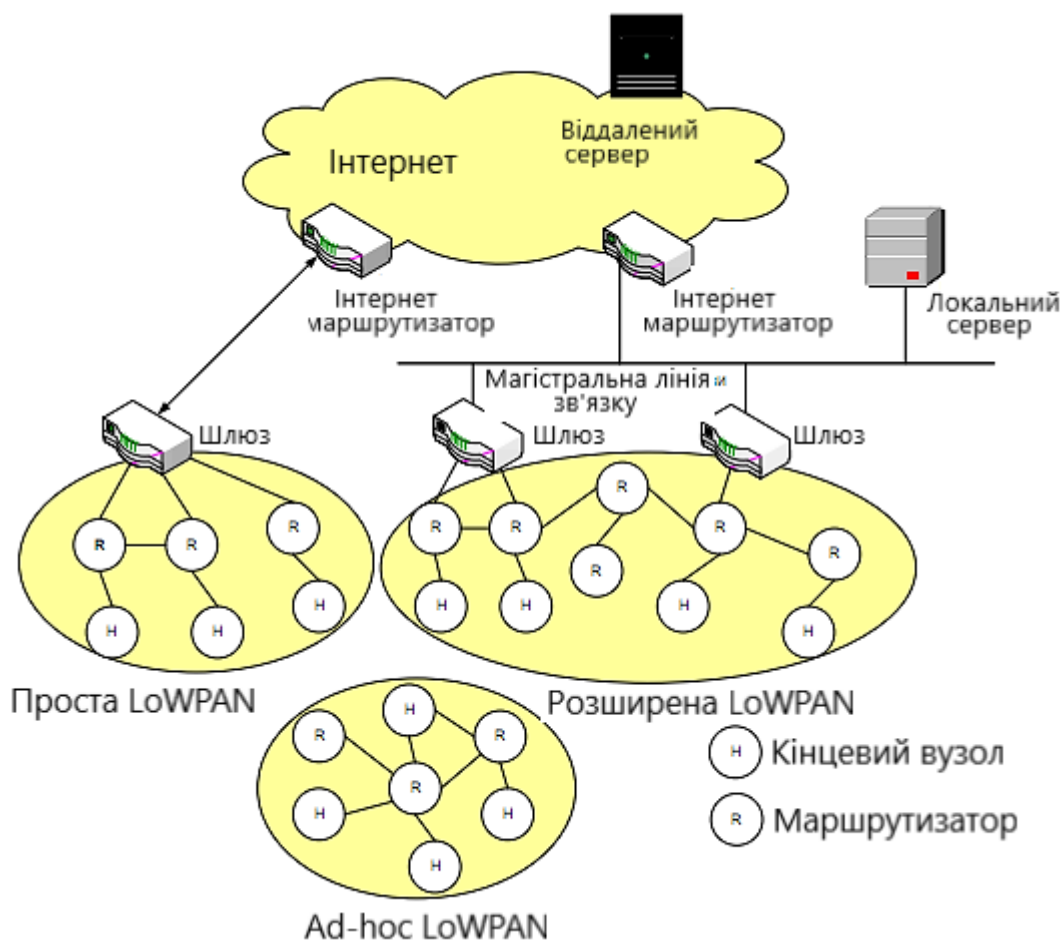



Рисунок 6.6 - Архітектура мережі 6LoWPAN

6.5 Проблеми реалізації БСМ

При практичній реалізації бездротових сенсорних мереж існує ряд проблем:

1. Проблема енергоспоживання.

Обмеження по енергоспоживанню пов'язаний з тим, що сенсори працюють від джерела живлення з обмеженим лімітом енергії (зазвичай батарейка). Чим рідше вони будуть замінюватися або заряджатися, тим



нижчу вартість буде мати їх обслуговування. Також енергоспоживання є важливим обмеженням при використанні сенсорів, доступ до яких ускладнений, отже, джерело живлення не може бути замінений або заряджаючи. Для зменшення енергоспоживання зазвичай передбачається відключення передавачів сенсорних вузлів, коли немає необхідності передачі інформації.

На мережевому рівні використовуються оптимальні шляхи передачі інформації від сенсорного вузла до координатора (базової станції), з огляду на число проміжних вузлів, необхідну енергію і доступну енергію. Крім мережевого протоколу на споживання енергії впливає конструкція вузлів (наприклад, маленький розмір пам'яті, ефективність перемикачів між завданнями), програмне забезпечення, механізми захисту і навіть робочі додатки.

2. Проблема самоврядування.

Сенсорні мережі часто повинні працювати у віддалених областях і в жорстких умовах, без можливості їх обслуговування і ремонту. Тому, сенсорні вузли повинні конфігуруватися самостійно, взаємодіяти з іншими вузлами, адаптуватися до полумок змін навколишнього середовища без втручання людини.

3. Проблема бездротового з'єднання.

Вибір бездротового з'єднання накладає ряд обмежень на реалізацію сенсорних мереж. Наприклад, загасання сигналу обмежує відстань передачі інформації. Так зв'язок між потужностями сигналів переданої і прийнятої інформацією описується законом зворотного квадрата відстані:

$$P_{пр} \sim P_{прд} / D^2,$$


де $P_{пр}$ - потужність прийнятого сигналу, Вт; $P_{прд}$ - потужність переданого сигналу, Вт; D - відстань між передавачем і приймачем, м.

Отже, збільшення відстані між сенсорним вузлом і маршрутизатором/координатором призводить до збільшення потужності сигналу, що передається.

Тому більш ефективно, з точки зору витрат енергії, розділити великі відстані передачі інформації в сенсорних мережах на кілька невеликих.

4. Проблема децентралізованого управління.

Алгоритми побудови багатьох сенсорних мереж будуються з централізованого принципом. При децентралізованому управлінні сенсорні вузли повинні обмінюватися інформацією з сусідніми вузлами, щоб згенерувати рішення про комутації вузлів, без глобальної інформації про всю мережі. Внаслідок цього децентралізовані алгоритми можуть бути неоптимальними, але більш ефективними щодо енергії, ніж централізовані. Наприклад, при централізованому управлінні базова станція може опитувати всі сенсорні вузли, приймати



від них інформацію, повідомляти кожному вузлу свій маршрут передачі інформації. При частій зміні мережі втрати будуть значні.

Децентралізований підхід дозволяє кожному вузлу робити власне рішення при наявності невеликої інформації (список сусідніх пристроїв, що включає інформацію про відстані до базової станції). В даному випадку втрати на управління будуть значно зменшені.

5. Проблема конструкції.

Головною метою бездротових сенсорних мереж є створення маленьких, дешевих і ефективних пристроїв. Через вимоги до низького споживання енергії типовий сенсорний вузол має невеликі швидкості виконання операцій і обсяги інформації, що зберігається. Також через це небажано використання деяких пристроїв, таких як GPS-приймачі. Обмеження за розмірами впливає на структуру протоколів і алгоритмів, реалізованих в бездротових сенсорних мережах. Наприклад, таблиця всіх маршрутів в мережі може бути слушком великий і не поміститися в пам'яті вузла. Тому тільки невелика частина інформації (наприклад, список сусідніх вузлів) може зберігатися в пам'яті вузла.

6. Проблема безпеки.

Віддалене розташування сенсорів і їх автоматична робота збільшує їх незахищеність до стороннім вторгненням і атакам. При бездротовому з'єднанні досить легко для порушника перехопити пакети, що передаються сенсорним вузлом. Наприклад, найбільш велика загроза здійснення атаки «відмови в обслуговуванні» (denial-of-service), мета даної атаки порушити коректне функціонування сенсорної мережі. Це може бути досягнуто за допомогою різних способів, наприклад, при подачі потужного сигналу, який заважає сенсорним вузлів обмінюватися інформацією («білий шум» або jamming attack). Є різні варіанти захисту систем від зловмисників, але для багатьох з них необхідні високі вимоги до апаратних ресурсів, що важкодосяжно на жорстко обмежених по багатьом вимогам сенсорних вузлах.

Отже, сенсорні бездротові мережі вимагають нових рішень для створення ключів, їх поширення, ідентифікації та захисту вузлів.

6.6 Електроживлення вузлів БСМ від зовнішнього середовища

Одним з основних вимог, що пред'являються до вузлів сенсорної мережі, є тривалий час їх автономної роботи. Завдання зменшення енергоспоживання може вирішуватися за рахунок оптимізації конструкції і режимів роботи аналогових і цифрових схем вузлів, а також за рахунок вилучення енергії, необхідної для роботи цих схем, з довкілля. В даний час в усьому світі ведеться активний пошук нових екологічних і необмежених ресурсів енергії, які дозволять мережевим пристроям позбутися батарей або дротів і розробити автономні бездротові сенсорні мережі з теоретично необмеженим терміном

служби.

В навколишньому середовищі існують чотири основних джерела енергії: механічна енергія (вібрації, деформації), теплова енергія (температурні перепади або зміни), енергія випромінювання (сонце, інфрачервоні промені, радіочастоти) і хімічна енергія (хімія, біохімія). Ці джерела характеризуються різною щільністю потужності (див. рис. 6.7).

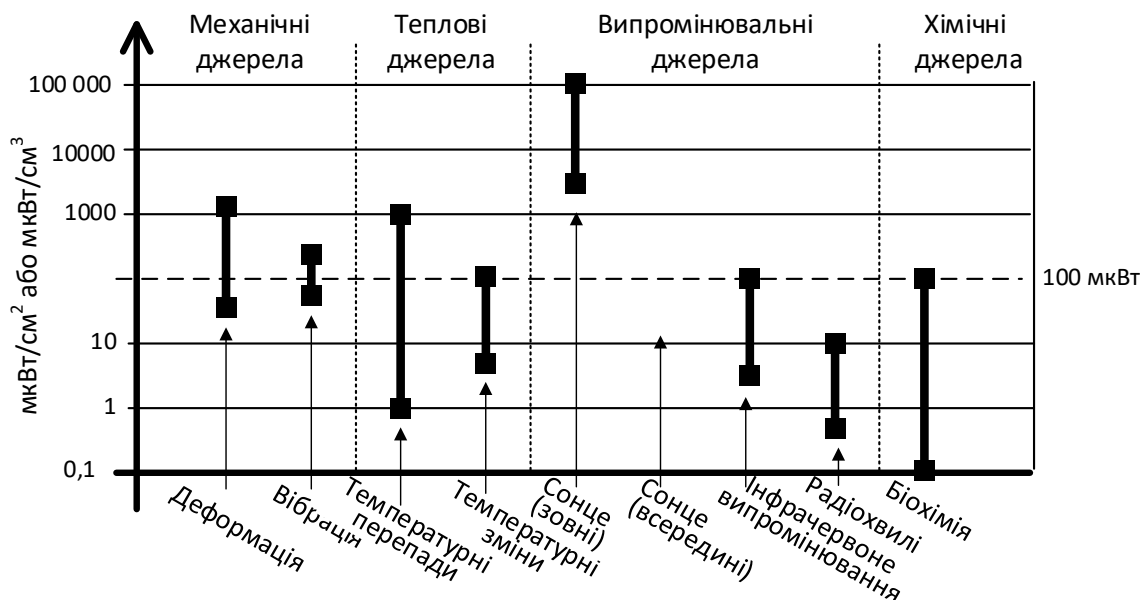


Рисунок 6.7 - Щільність потужності (до перетворення) для різних типів джерел енергії із зовнішнього середовища

Малюнок показує, що значення вихідної потужності 10-100 мкВт є прийнятним при розмірах джерела в 1 см^2 або 1 см^3 . Отримання енергії від сонця вважається найбільш потужним (навіть якщо значення, наведені на рис. 6.8, повинні бути помножені на вагові коефіцієнти для перекладу ККД, як правило, перевищують 20% в фотоелементах). На жаль, отримання сонячної енергії неможливо в темних ділянках (наприклад, в приміщеннях). Аналогічно неможливо отримувати енергію від температурних перепадів, якщо цих перепадів немає або від неіснуючих вібрацій. Як наслідок, джерело зовнішньої енергії повинен бути обраний відповідно до місцевим середовищем, навколишнього вузол бездротової сенсорної мережі, тобто не існує універсального джерела енергії із зовнішнього середовища.

Для живлення вузлів сенсорної мережі від навколишнього енергії необхідно знизити споживання енергії датчиками (сенсорами/актуаторами), мікроконтролером і радіо-передавачем. В останні роки значний прогрес в цьому напрямку було досягнуто виробниками мікроконтролерів і радіочастотних чипів (Atmel, Microchip, Texas Instruments і ін.) Як для робітника, так і для холостого режиму. Приклад типового споживання енергії вузлом бездротових сенсорних мереж наведено на рис. 8.

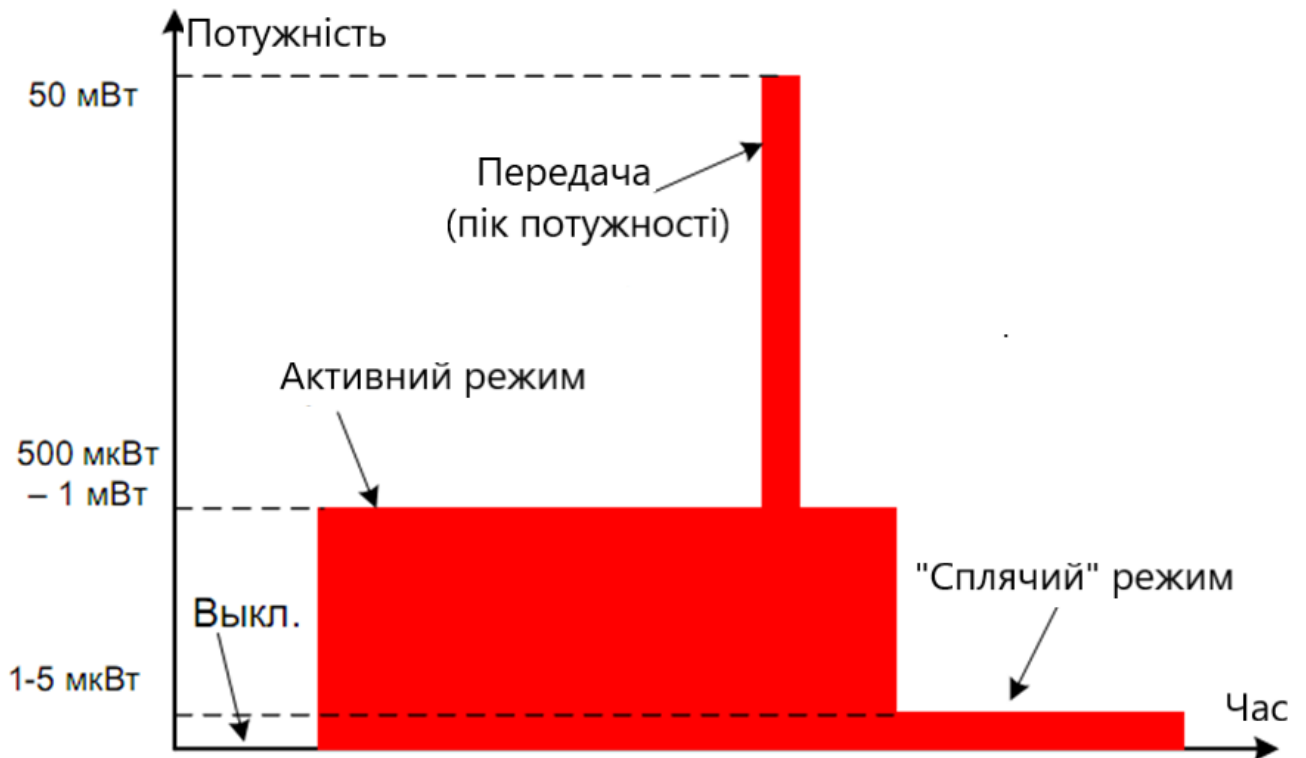


Рисунок 6.8 - Графік споживання енергії вузлом БСМ

Можна виділити три типових значення споживаної потужності:

- 1) 1-5 мкВт: споживання енергії в «сплячому» режимі;
- 2) 500 мкВт - 1 мВт: споживання енергії в активному режимі;
- 3) 50 мВт: пік передачі енергії.

Аналіз наведеної діаграми дозволяє зробити наступні висновки. По-перше, мінімальна потужність джерела енергії із зовнішнього середовища для побудови життєздатних бездротових вузлів повинна бути порядку 1-5 мкВт, що відповідає достатній величині для холостого режиму мікропроцесора і радіочастотного чіпа.

По-друге, сучасні джерела енергії із зовнішнього середовища не можуть забезпечувати бездротові сенсорні мережі енергією, достатньою для активного режиму (споживання енергії в 500 мкВт - 1 мВт проти 10-100 мкВт для вихідної потужності таких джерел). Однак, завдяки ультранизьким споживання енергії в сплячому режимі, бездротові сенсорні мережі, що живляться від зовнішнього середовища, можуть використовувати переривчастий робочий цикл, зображений на рис. 6.9. Енергія зберігається в буфері (а) (конденсатори, батареї) і використовується для виконання вимірювального циклу, як тільки енергії в буфері стає досить (б і в). Далі система знову повертається до сплячого режиму (г), чекаючи нового вимірювального циклу.

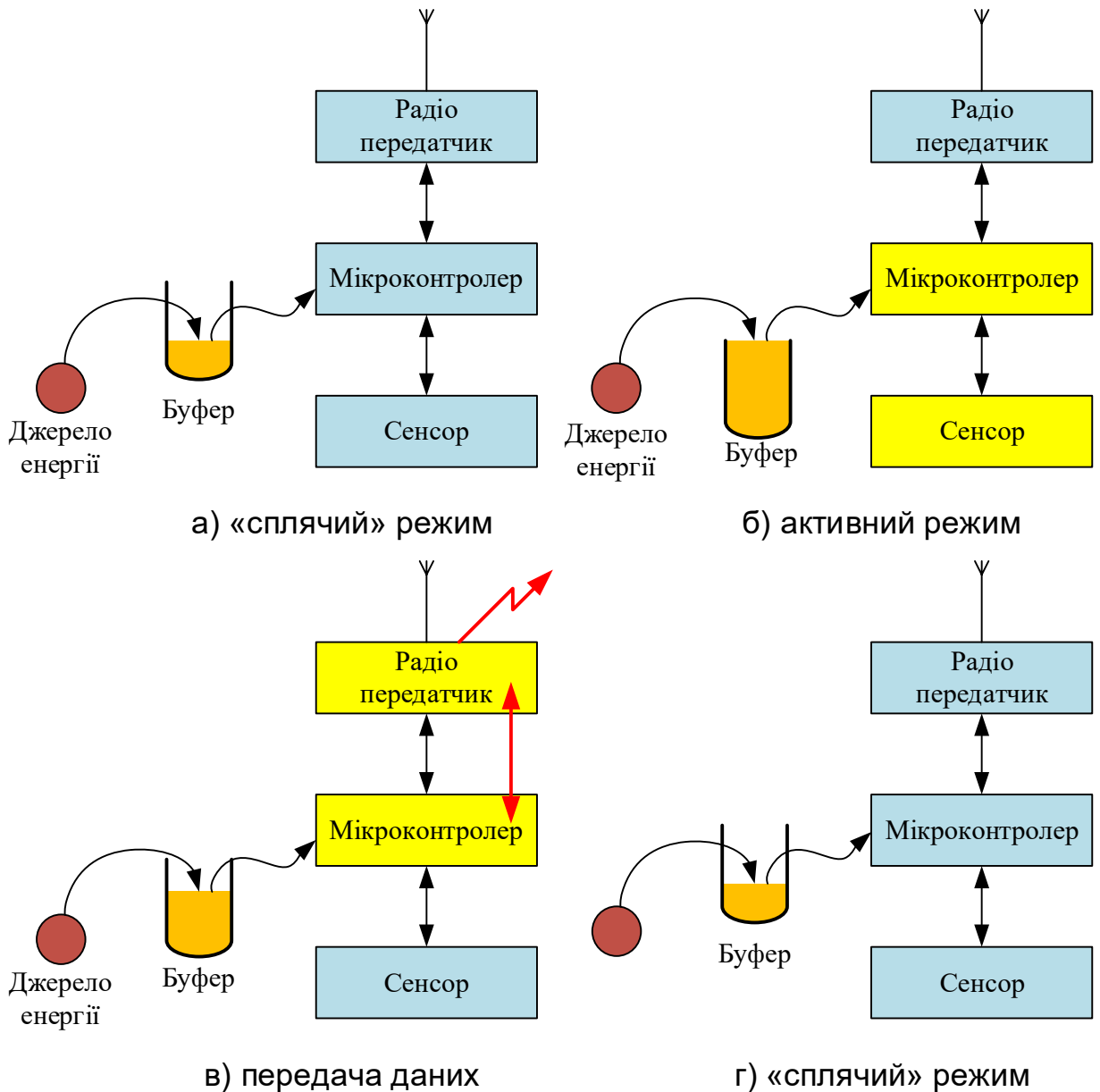


Рисунок 6.9 - Робочий цикл в бездротовій сенсорній мережі

Таким чином, використовуючи енергію із зовнішнього середовища можливо харчування будь-яких додатків, навіть самих неощадливих. Основною проблемою є адаптація частоти вимірювального циклу до безперервно вироблюваної енергії. Середнє енергоспоживання сенсорних вузлів (P) відповідає загальній кількості енергії, необхідної для одного вимірювального циклу (W), помноженому на частоту цієї дії (f):

$$P = W f.$$

Зв'язок між P , W та f проілюстрована на рис. 6.10. Використовуючи логарифмічні масштаби по осі абсцис (енергія в Джоулях) і по осі ординат (частота вимірювань), середнє енергоспоживання 100 мкВт

показано прямою лінією з коефіцієнтом нахилу -1. Наприклад, виконання повного циклу роботи сенсорного вузла (вимір + перетворення + передача) вимагає 250-500 мкДж. Отже, безперервно отримуючи 100 мкВт потужності, можна виконувати повний цикл роботи вузла сенсорної мережі кожні 1-10 секунд (0,1-1 Гц). Це підходить багатьом промисловим потребам, особливо тим, де обслуговування передбачувано.

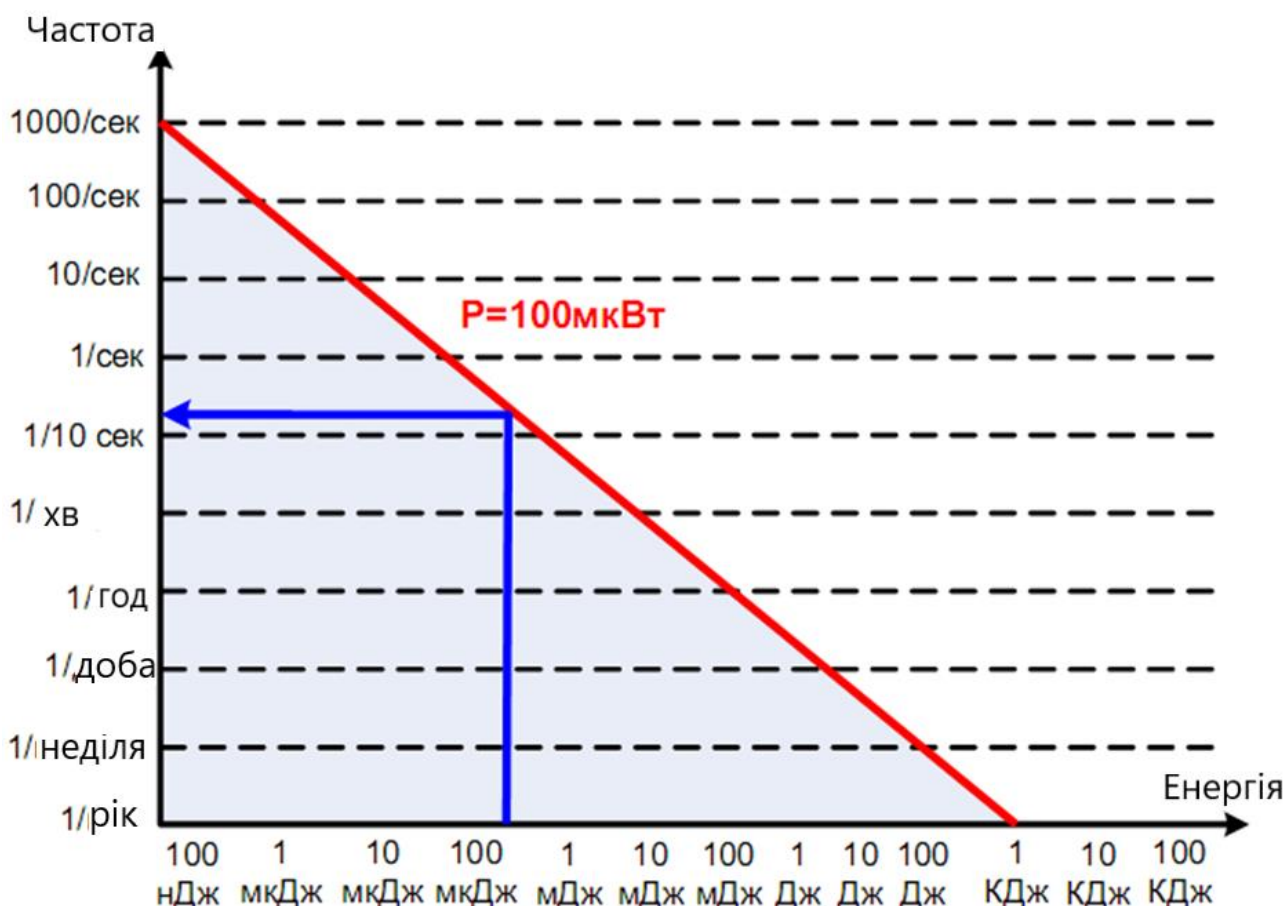



Рисунок 6.10 - Зв'язок потужності, енергії та частоти

В цілому отримання енергії із зовнішнього середовища - за винятком фотоелемента - тільки розвивається галузь, ще не пристосована для промислового застосування. Проте, поліпшення існуючих технологій може привести в перспективі до життєздатним рішенням електроживлення автономних бездротових сенсорних мереж.

6.7 БСМ та Інтернет речей

Завдяки таким характеристикам БСМ, як мініатюрність вузлів, низьке енергоспоживання, вбудований радіоінтерфейс, достатня обчислювальна потужність, порівняно невисока вартість, стало можливим їх широке використання в багатьох сферах людської діяльності з метою автоматизації процесів збору інформації,



моніторингу та контролю характеристик різноманітних технічних і природних об'єктів.

БСМ доцільно застосовувати в наступних предметних областях Інтернету речей:

- моніторинг телекомунікаційної інфраструктури мереж;
- моніторинг транспортних магістралей (залізниць, метрополітену та ін.),

нафто- і газопроводів, інженерних мереж енерго- і теплопостачання;

- контроль і аналіз транспортних вантажопотоків;
- екологічний, біологічний і медичний моніторинг;
- автоматизація систем життєзабезпечення в системах класу

Розумний дім;

- виявлення і попередження надзвичайних ситуацій (моніторинг сейсмічної активності і вулканічної діяльності, аналіз атмосфери і прогноз погоди для своєчасного попередження про настання стихійних лих) та інші.

параметрів мережі, так і працювати в режимі типового вузла;

б) пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device), що має лише можливість підтримки зв'язку з повнофункціональними пристроями.

Варіанти топології мереж стандарту зображені на рисунку 7.2

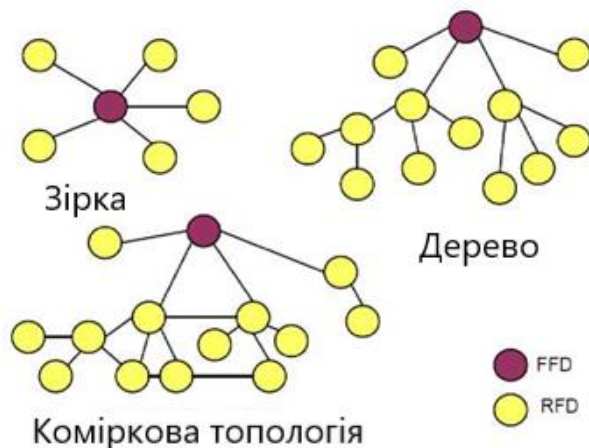


Рисунок 7.2 – Варіанти топології мереж стандарту IEEE Std 802.15.4.

7.2 Стандарт ZigBee

Стандарт IEEE Std 802.15.4 описує два нижні рівні мережевої моделі OSI, при цьому не визначає вимоги до верхніх рівнів та умови їх сумісності. Вирішення цих завдань вимагало розробки спеціальних комунікаційних протоколів. Найбільш відомими є протоколи альянсу ZigBee, якою був створений найбільшими світовими компаніями, що спеціалізуються на розробці програмно-апаратних засобів для інфокомунікаційних систем. Стандарт ZigBee включає повний стік протоколів для бездротових сенсорних мереж. Назва специфікації ZigBee походить від Zig-zag – зигзаг та Bee – бджола. Передбачалося, що топологія мережі нагадуватиме зигзагоподібну траєкторію польоту бджоли від квітки до квітки.

Специфікація ZigBee орієнтована на програми, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно невеликих швидкостях та можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батареї). Вона забезпечує невисоке споживання енергії та передачу даних зі швидкістю до 250 Кбіт/с на відстань до 75 метрів за умов прямої видимості. Характеристики ZigBee: частотний діапазон 868/915/2400 МГц; бітова швидкість 20/40/250 кбіт/с; тип модуляції сигналу BPSK/BPSK/O-QPSK; метод розширення спектра DSSS; чутливість приймача мінус 92...мінус 85 дБм; вихідна потужність передавача мінус 32...0; Обсяг даних пакета до 127 байт.[3]

Стандарт ZigBee включає опис мережевих процесів керування,

сумісності та профілів пристроїв, а також інформаційної безпеки. На мережевому рівні у ZigBee визначено механізми маршрутизації та формування логічної топології мережі. Конфігурація представлена на рисунку 7.3.



Рисунок 7.3 – Конфігурація стеків протоколу IEEE Std 802.15.4 та ZigBee

Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при малому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології мережі («точка-точка», «дерево» і «зірка»), але і осередок (mesh), що самоорганізується і самовідновлюється, з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень. Крім того, специфікація ZigBee містить можливість вибору алгоритму маршрутизації, залежно від вимог програми та стану мережі, механізм стандартизації додатків - профілі додатків, бібліотека стандартних кластерів, кінцеві точки, прив'язки, Гнучкий механізм безпеки, а також забезпечує простоту розгортання, обслуговування та модернізації.

У галузі технологій бездротових сенсорних мереж ZigBee є стандартом, найбільше підкріпленим представленими на ринку повністю сумісними апаратними та програмними засобами. Крім того, протоколи ZigBee дозволяють мережевим пристроям перебувати в сплячому режимі більшу частину часу, що істотно збільшує ресурс роботи вузлів при живленні від батарейних джерел. В БСМ на основі ZigBee підтримується режим профілів пристроїв або профілів для різних датчиків, які сумісні на рівні стека протоколу і можуть об'єднуватися в мережу, передавати, приймати і ретранслювати інформацію. У той же

час «розуміти» цю інформацію буде лише пристрій, для якого вона призначена.

Всі пристрої стандарту ZigBee в залежності від рівня складності поділяються на три класи, вищий з яких - координатор - управляє процесом формування мережі, зберігає дані про її топологію і служить шлюзом для передачі даних, що збираються від усіх сенсорів БСМ, для їх подальшої обробки. У мережі, як правило, використовується лише один PAN-координатор. Середній за складністю пристрій - маршрутизатор - здатний ретранслювати повідомлення, підтримувати всі топології мережі, а також виконувати функції координатора кластера. І, нарешті, найпростіший вузол – кінцевий пристрій – здатний лише передавати дані найближчому маршрутизатору.

Таким чином, стандарт ZigBee підтримує мережу із кластерною архітектурою, сформованою зі звичайних вузлів, об'єднаних у кластери за допомогою маршрутизаторів. Маршрутизатор кластерів запитують сенсорні дані від пристроїв і, ретранслюючи їх один одному, передають координатору, який зазвичай має зв'язок із зовнішньою IP-мережею, куди і відправляє інформацію для накопичення та остаточної обробки. Топологія зображено рисунку 7.4.

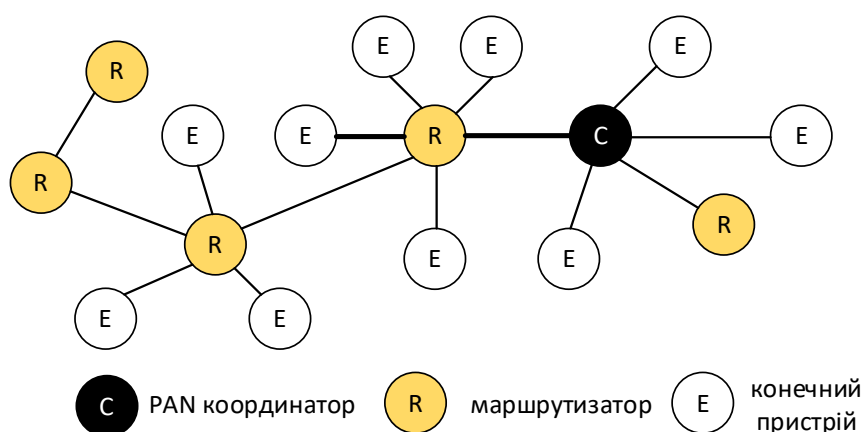


Рисунок 7.4- Типова топологія мережі ZigBee

Мережа ZigBee є самоорганізується, тобто всі вузли здатні самостійно визначати та коригувати маршрути доставки даних. Дані передаються за допомогою радіопередавачів від одних вузлів до інших ланцюжком, і в результаті найближчі до шлюзу вузли скидають всю акумульовану інформацію на шлюз. Ця інформація включає дані, що зчитуються з сенсорних датчиків, а також дані про стан пристроїв та результати процесу передачі інформації. У разі виходу частини пристроїв з ладу робота сенсорної мережі після реконфігурації повинна продовжитися. Бездротові вузли функціонують під керуванням спеціальної програми. Зазвичай всі вузли сенсорної мережі використовують одну і ту ж керуючу програму, що забезпечує їх функціональність і виконання мережевих протоколів. таких як

телевізори, телеприставки та ігрові консолі. Вона має ряд переваг у порівнянні з існуючими технічними рішеннями для дистанційного керування, включаючи керування роботою в зоні непрямой видимості, функціональність маніпулятора типу "миша" та клавіатури, керування з розпізнаванням жестів та сенсорним введенням, двосторонній зв'язок, більш тривалий час роботи від акумулятора.

7.3 Стандарт 6LoWPAN

(IPv6 Low-Power Wireless Personal Area Network) – стандарт, що забезпечує взаємодію малих бездротових мереж з мережами IP за протоколом IPv6 з малим енергоспоживанням. Стандарт розроблений групою IETF і описаний в RFC 4944 та RFC 4919. Технологія використовується в основному для організації мереж датчиків та автоматизації житлового та офісного приміщення з можливістю керування через інтернет, проте може використовуватися і автономно для реалізації простих бездротових мереж датчиків. Передача даних у стандарті 6LoWPAN передбачає використання субгігагерцового діапазону та забезпечує швидкість передачі від 50 до 200 Кбіт/с на відстань до 800 метрів. [3]

Архітектура мереж 6LoWPAN дещо відрізняється від традиційних архітектур IP-мереж (наявність спеціалізованого комутаційного обладнання, маршрутизаторів, медіа-конверторів) і від архітектур бездротових мереж збору даних, що склалися. Найближче до неї знаходиться архітектура WiFi-мереж, хоч і від неї є низка відмінностей.

Виділяють три типи мереж 6LoWPAN, зображені на рисунку 7.5:

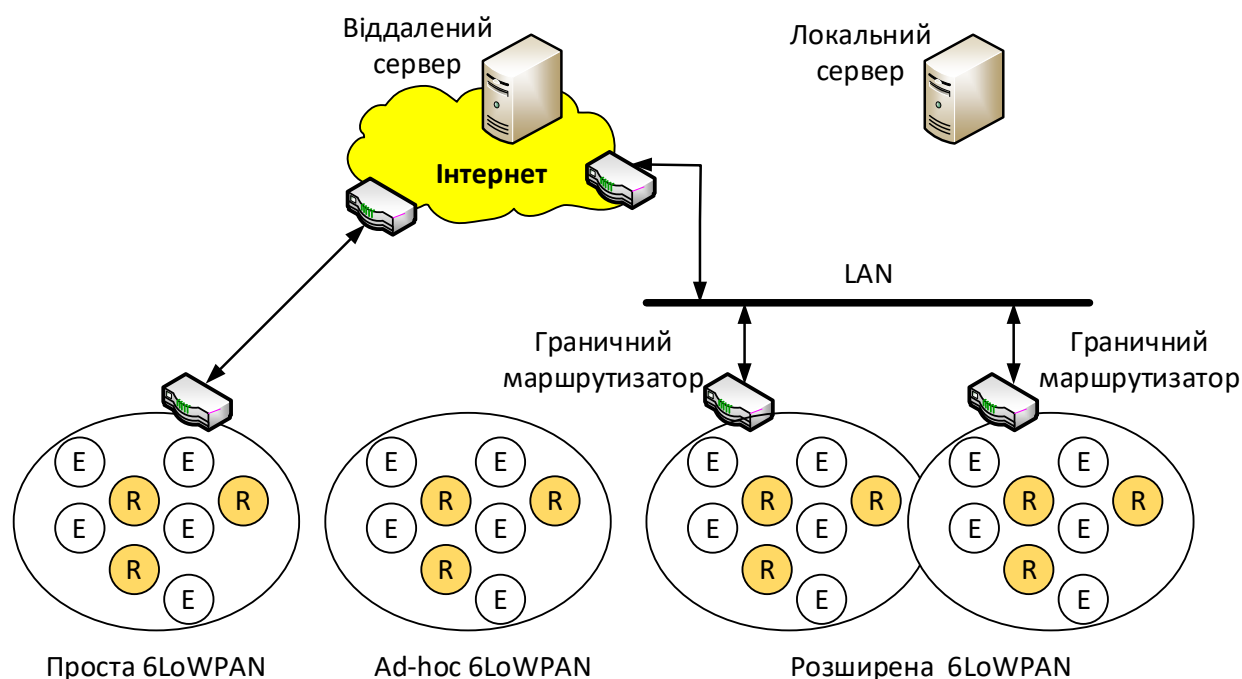


Рисунок 7.5 - Типи мереж 6LoWPAN (R-маршрутизатор, H-хост)

- ad-hoc (самоорганізується, динамічна);
- проста 6LoWPAN-мережа; розширена 6LoWPAN-мережа.

Ad-hoc-мережа є мережею, що самоорганізується, використовує стек протоколів 6LoWPAN. Не має граничного маршрутизатора, немає підключення до зовнішньої IP-сети.

Проста 6LoWPAN-мережа підключена до іншої IP-мережі за допомогою одного граничного маршрутизатора. Граничний маршрутизатор може бути підключений безпосередньо до зовнішньої IP-мережі або може входити до складу кампусної мережі (наприклад, мережі організації).

Розширена мережа 6LoWPAN складається з однієї або декількох підмереж, підключених до зовнішньої IP-мережі через кілька граничних маршрутизаторів, підключених до однієї мережі (наприклад, локальна мережа організації). При цьому граничні маршрутизатори в розширеній мережі поділяють той самий мережевий префікс. Вузли розширеної мережі можуть вільно переміщатися в межах мережі та здійснювати обмін із зовнішньою мережею через будь-який граничний маршрутизатор (зазвичай вибирається маршрут із найкращими показниками якості сигналу - рівень помилок, рівень сигналу).

Взаємодія між вузлами в мережі 6LoWPAN, а також взаємодія із зовнішніми вузлами здійснюється так само, як і у звичайній IP-мережі. Кожен вузол має свою унікальну IPv6-адресу і може приймати та передавати пакети IPv6.

Спрощена структура стека протоколів 6LoWPAN у порівнянні зі стеками TCP/IP та ZigBee представлена на рисунку 7.6.

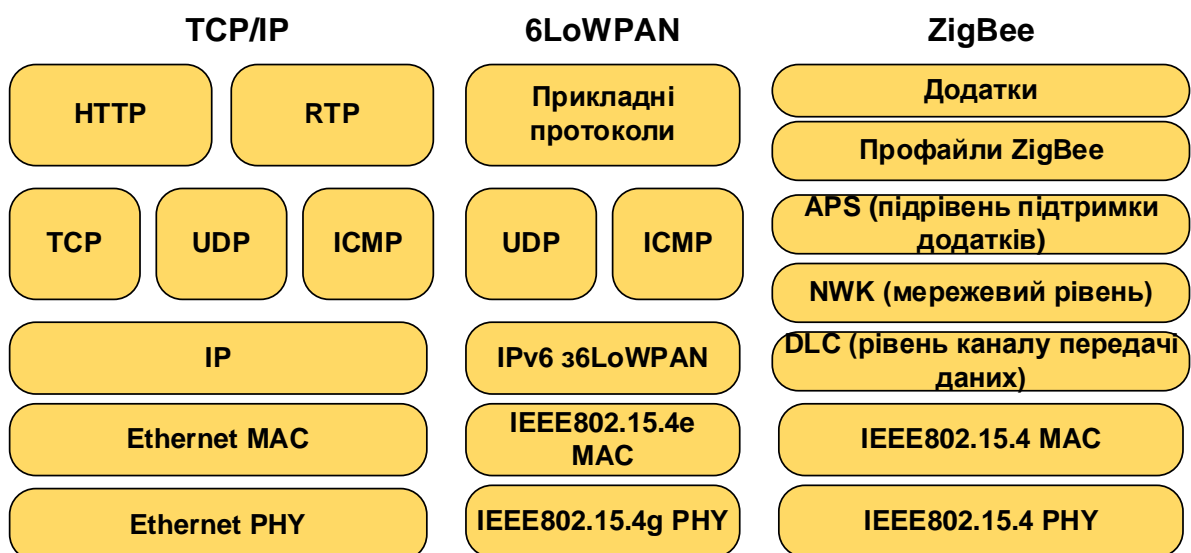



Рисунок 7.6 - Порівняння стеків протоколів TCP/IP, 6LoWPAN та ZigBee

Зазвичай вузли мають підтримку протоколу ICMPv6 та UDP. Прикладні протоколи найчастіше використовують бінарний формат



даних під час роботи з UDP-протоколу в мережах 6LoWPAN. На відміну від TCP/IP-стека, в 6LoWPAN немає підтримки протоколу транспортного рівня TCP - через великі накладні витрати на формування пакетів і через особливості роботи протоколу, які суттєво ускладнюють його застосування в сенсорних бездротових мережах (підтвердження пакетів та встановлення/ розрив з'єднання вимагають частоті роботи приймача вузла, і, як наслідок, підвищеного споживання енергії).

Як і мережі ZigBee, мережі 6LoWPAN є самоорганізуються. Для цього використовується стандартна техніка мереж IPv6. На основі заданих параметрів стека автоматично встановлюється оптимальна топологія зв'язків між вузлами в мережі. Оптимальні маршрути визначаються з урахуванням метрик.

На відміну від стандартів ZigBee, 6LoWPAN розширює стандартизацію рівня прикладних завдань, паралельно вирішуючи проблеми з інтеграцією невеликих бездротових вузлів в IP-сети.

Цільові програми стека 6LoWPAN включають досить великі масштабовані мережі з підключенням до IP-мереж (інтернет, інтранет або екстранет). Незважаючи на хорошу масштабованість, потенційно прозоре керування та легкий доступ до вузлів, 6LoWPAN підходить не для всіх застосувань. Зокрема, поточна версія стандарту стека протоколів вимагає постійної активності маршрутизаторів для коректної передачі даних, що у сенсорних бездротових мережах. Тим не менш, ця особливість дозволяє мінімізувати об'єм flash-пам'яті в кінцевому пристрої, що займається стеком 6LoWPAN, і, отже, мінімізувати вартість мережевого процесора.

Основні сфери застосування стандарту 6LoWPAN: інтелектуальні системи обліку; керування вуличним освітленням; промислова автоматика; логістичні системи, відстеження товарів чи об'єктів інвентаризації; комерційні охоронні системи, системи контролю та управління доступом; деякі військові програми.

Деякі області застосувань 6LoWPAN перегукуються з низкою стандартів ZigBee, проте в даному випадку конкуренція відсутня, швидше, - взаємодія та доповнення один одного, особливо в плані інтеграції сервісів, розширення зон дії мережі.

7.4 Стандарти WirelessHART та ISA100.11a

Стандарти бездротових промислових мереж WirelessHART і ISA100.11a, як і розглянуті раніше технології ZigBee і 6LoWPAN, є надбудовами над фізичним рівнем стандарту IEEE 802.15.4. Обидва стандарти мають загальний принцип роботи та конкурують між собою.

WirelessHART - протокол передачі даних бездротової лінії зв'язку, розроблений фондом HART Communication Foundation передачі даних як HART-повідомлень у бездротовому середовищі. Вихідний протокол обміну даними HART у провідних мережах був призначений для

взаємодії з польовими датчиками на основі розширеного набору простих команд «запросответ», що передаються в цифровому вигляді по двопровідній лінії зі струмом 4...20 мА. Його бездротовий варіант WirelessHART забезпечує передачу даних зі швидкістю до 250 кбіт/с на відстань до 200 м (не більше прямої видимості) при частоті передачі у діапазоні 2,4 ГГц. WirelessHART схвалено міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) як перший міжнародний стандарт бездротового зв'язку промислової автоматизації під номером IEC 62591. Порівняння зображено стеків на рисунку 7.7.

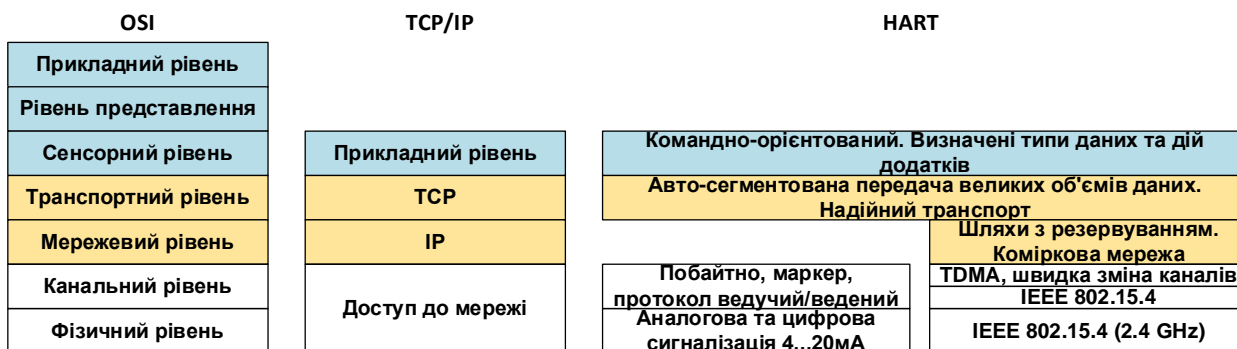


Рисунок 7.7 – Порівняння стеків

Бездротова мережа WirelessHART складається з трьох основних елементів, архітектура представлена на рисунку 7.8:

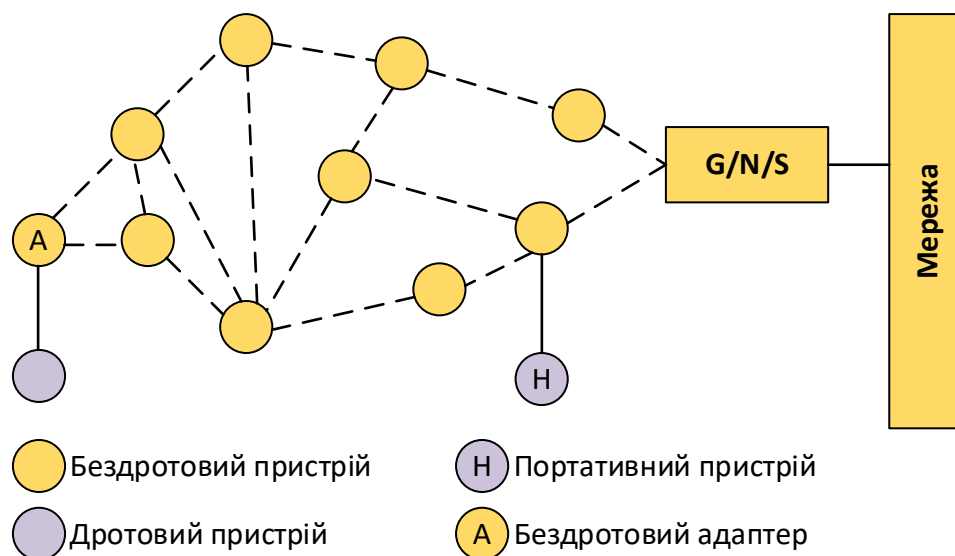



Рисунок 7.8 – Архітектура мережу WirelessHART

а) бездротові польові пристрої, приєднані до промислового обладнання. Це може бути пристрій із вбудованою дротовою технологією WirelessHART або вже наявний встановлений дротовий HART-пристрій з адаптером WirelessHART;



б) шлюзи - забезпечують обмін даними між польовими пристроями та хост-додатками, приєднаними до високошвидкісної магістральної або іншої наявної на підприємстві комунікаційної мережі;

в) адміністратор мережі/менеджер безпеки - відповідає за конфігурування мережі, планування обміну даними між пристроями, маршрутизацію повідомлень та моніторинг стану мережі. Адміністратор мережі може бути вбудований у шлюз, хост-додаток чи контролер автоматизації технологічного процесу.

Мережа WirelessHART заснована на сумісних з IEEE 802.15.4 радіопередавачі, що працюють в ISM діапазоні 2,4 ГГц. У них використовується технологія широкосмугового сигналу з прямою послідовністю та перемиканням каналів для забезпечення комунікаційної безпеки та надійності, а також технологія синхронізованого багатостанційного доступу з тимчасовим поділом каналів (TDMA) та контрольованою затримкою зв'язку між пристроями в мережі.

Кожен пристрій у мережі може служити маршрутизатором для повідомлень від інших пристроїв. Інакше кажучи, пристрій немає необхідності звертатися безпосередньо до шлюзу; воно просто передає своє повідомлення на найближчий сусідній пристрій. Це розширює масштаб мережі та забезпечує надлишкові канали передачі даних для підвищення надійності.

Адміністратор мережі визначає надлишкові канали на основі часу затримки, ефективності та надійності передачі. Щоб забезпечити відкритість та вільність надлишкових каналів, передача повідомлень поперемінно здійснюється по кожному з них.

Схема мережі WirelessHART також дозволяє легко додавати та переміщувати пристрої. Пристрій завжди залишається на зв'язку, коли він знаходиться в зоні дії інших пристроїв у мережі.

Для забезпечення гнучкості за різних умов застосування стандарт WirelessHART підтримує кілька режимів передачі даних, включаючи однонаправлену публікацію значень параметрів технологічного процесу та управління, миттєве повідомлення з виключення, спеціальний запит/відгук та передача великих наборів даних з автоматичним сегментуванням. Ці можливості дозволяють налаштовувати передачу даних відповідно до виробничих вимог, що знижує енергоспоживання та непродуктивні витрати.

ISA100.11a - стандарт організації промислових сенсорних мереж, мереж датчиків та приводів. Стандарт розроблений Міжнародним товариством з автоматизації ISA (International Society of Automation) та схвалений МЕК як загальнодоступна специфікація. Для передачі промислових даних використовується бездротовий низькошвидкісний зв'язок з використанням елементів з низьким енергоспоживанням. Обмін даними здійснюється на частоті в районі 2,4 ГГц та швидкості близько 250 кбіт/с. В основі архітектури ISA100.11a, як і в протоколі

WirelessHART, лежить стандарт IEEE 802.15.4-2006, порівняння показано рисунку 7.9.

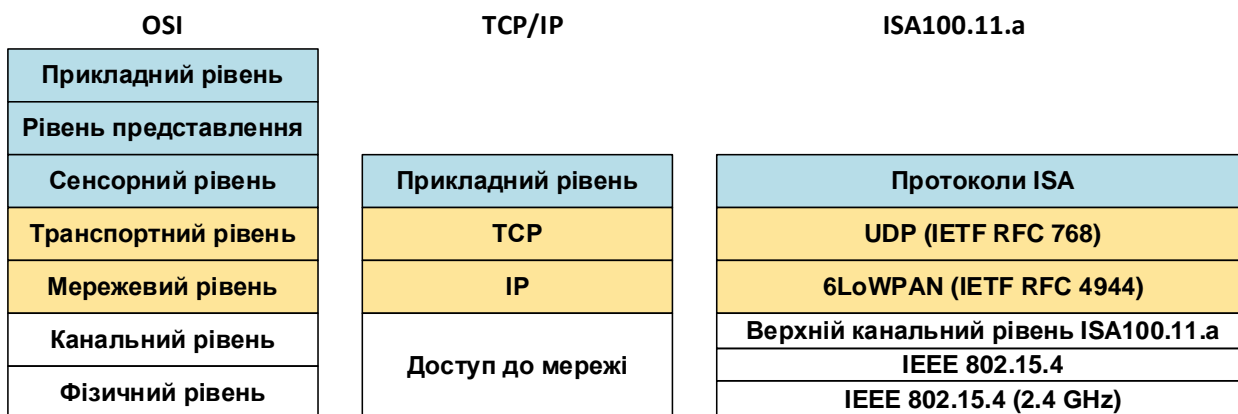


Рисунок 7.9 - Порівняння стеків протоколів OSI, TCP/IP та ISA100.11a

Бездротова мережа стандарту ISA100.11a містить такі компоненти, як показано на рисунку 7.10 - польовий пристрій з функцією маршрутизатора; польовий пристрій без функції маршрутизатора; магістральний маршрутизатор; шлюз; системний менеджер; менеджер безпеки

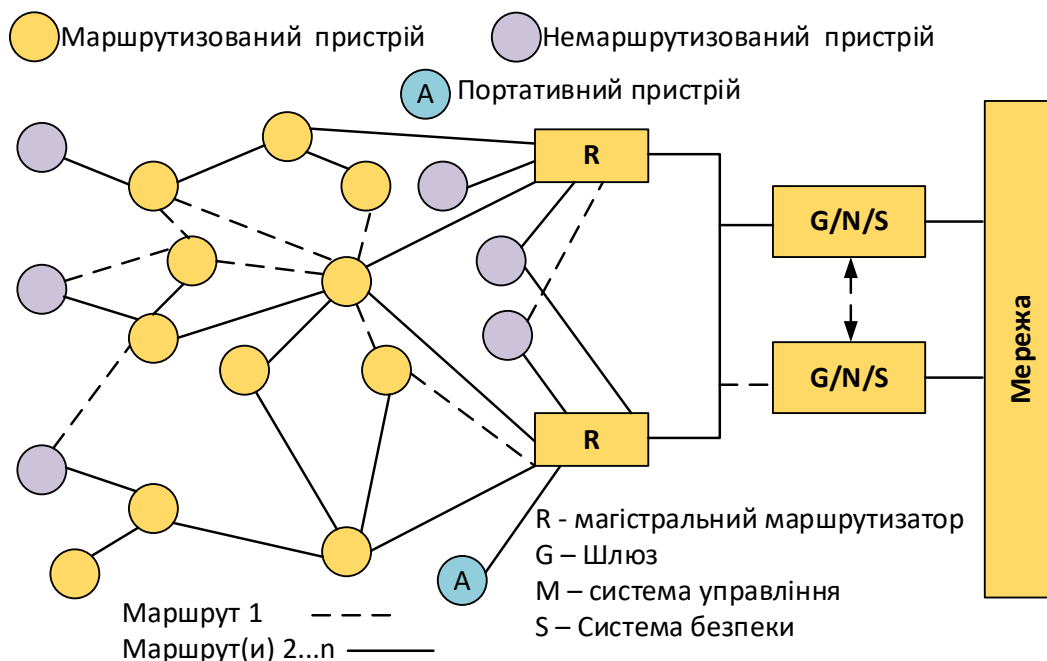


Рисунок 7.10 – Архітектура безпроводної мережі ISA100.11a

ISA100.11a підтримує протоколи Fieldbus Foundation, Profibus-PA та HART, що працюють на рівні додатків. Фактично, він здатний

підтримувати кілька кластерів пристроїв, які працюють із зазначеними протоколами. Він також може підтримувати різні типи датчиків (HART, Profibus та ін.) одного кластері.

Стандарт ISA100.11a використовує топологію мереж датчиків типу «коміркова мережа» або «зірка». Мережі з топологією типу «коміркова мережа», що виконують безліч перемикань, використовують більше заряду батарей, ніж мережі з топологією типу «зірка», але є безпечнішими. Таким чином, у користувача є вибір і він може віддати перевагу тому чи іншому способу побудови мереж, залежно від завдань, що вирішуються.

Протоколи WirelessHART та ISA100.11a мають багато спільного, т.к. за основу взято стандарт IEEE 802.15.4-2006. З метою підвищення надійності бездротових систем для підприємств в обох випадках фізично використовується технологія псевдовипадкової перебудови робочої частоти FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), а на каналному рівні метод кодового поділу CDMA замінений на метод тимчасового поділу TDMA, порівняння протоколів на рисунку 7.11.

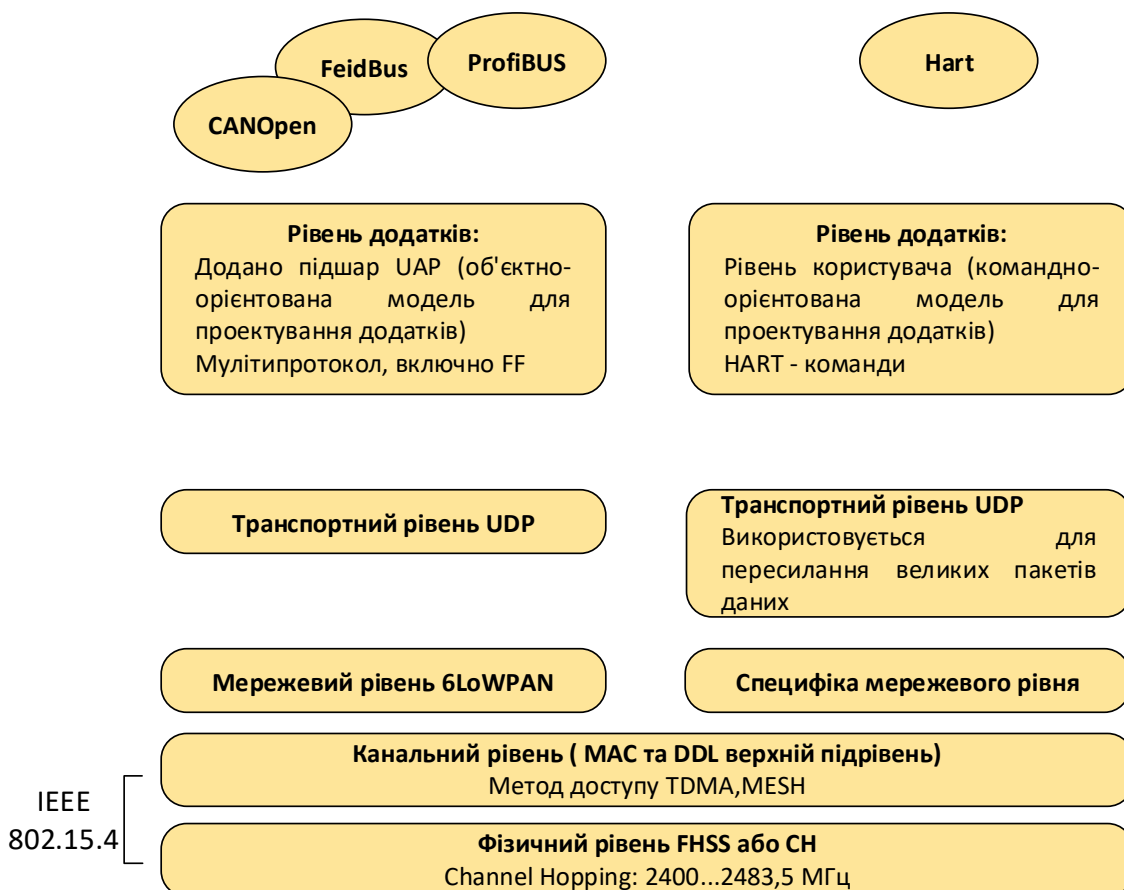


Рисунок 7.11 – Порівняння стеків протоколів стандартів ISA 100.11a та WirelessHart

Обидва стандарти останніх версій підтримують мову опису електронних пристроїв EDDL (Electronic Device Description Language)



для забезпечення сумісності польових пристроїв від різних виробників.

Однак є й суттєві відмінності між цими протоколами. У ISA 100.11a використовується мережевий рівень моделі OSI з урахуванням протоколу 6 LoWPAN (RFC4944), тобто. передбачена 128-бітова IPv6-адресація польових пристроїв, яка в основному застосовується на мережевому рівні магістральних маршрутизаторів або шлюзів. Всередині бездротової мережі ISA 100.11a використовується укорочена - 16-бітова адреса EUI (без інкапсуляції та компресії IP-заголовка в рамках однієї бездротової мережі та з інкапсуляцією та компресією IP-заголовка за наявності двох або більше бездротових мереж). У той же час усередині бездротової мережі WirelessHart взагалі відсутня IP-адресація кінцевих пристроїв. Укорочена EUI-адресація та маршрутизація польового бездротового обладнання здійснюється на мережному рівні в рамках однієї бездротової мережі (не передбачена масштабованість мереж).

На прикладному рівні моделі OSI ISA100.11a для проектування додатків використовується концепція об'єктно-орієнтованої моделі, а Wireless Hart - командно-орієнтована. У ISA100.11a на прикладному рівні хоста введено додатковий підшар для управління UAP та між UAP, який за стандартом ISA для польових шин IEC 61158 розглядається окремо від моделі OSI. У Wireless Hart такого поняття немає.

ISA100.11a є повноцінним і перспективним стандартом з технологічної точки зору. Він ґрунтується на відкритих стандартах, а не власних технологіях. Наприклад, він підтримує протокол IPv6 комітету IETF у бездротових персональних мережах низької потужності (6LoWPAN). Адресація пристроїв IPv6 дозволяє використовувати тисячі датчиків і спростити їхнє підключення при переході до інтернету речей.

Хоча бездротова система ISA100.11a повністю усуває необхідність використання WirelessHART, на даний момент більше 15 виробників підтримують стандарт WirelessHART (IEC 62591), тоді як підтримка стандарту ISA100.11a обмежена всього трьома виробниками. Слід також зазначити, що дешевша технологія ZigBee застосовується для домашньої та офісної автоматизації, тоді як дорогі технології WirelessHART та ISA 100.11a призначені для мереж промислової автоматизації.

7.5 Стандарт Z-Wave

Z-Wave – це перший відкритий бездротовий стандарт домашньої автоматизації (системи «розумний» будинок), в основі якої лежить пориста (mesh) мережа. Він заснований на специфікації ITU G.9959 та визначає всі аспекти взаємодії пристроїв, що підтримують цей протокол, а також забезпечує їхню сумісність. Технологія використовує малопотужні та мініатюрні радіочастотні модулі, які вбудовуються в побутову електроніку та різні системи, такі як освітлення, опалення,

контроль доступу, розважальні системи та побутову техніку. Стек протоколу Z-Wave представлений рисунку 7.12

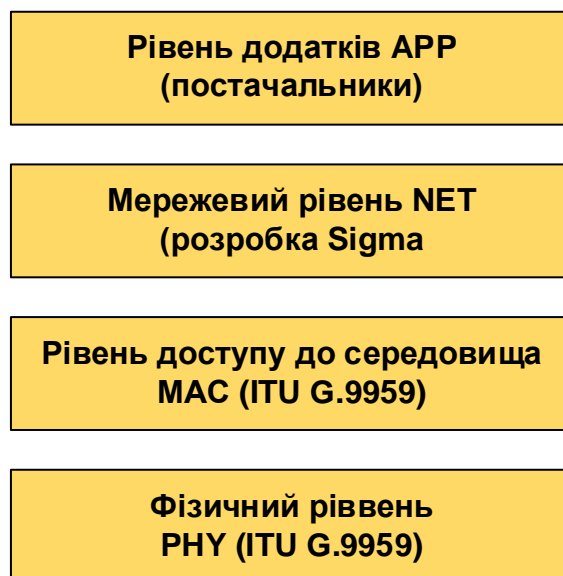


Рисунок 7.12 – Стек протоколу Z-Wave


На відміну від Wi-Fi та інших стандартів передачі даних IEEE 802.11, призначених в основному для великих потоків інформації, стандарт Z-Wave працює в діапазоні частот до 1 ГГц і оптимізований для передачі простих керуючих команд (наприклад, увімкнути/вимкнути, змінити гучність, яскравість і т.д.). Вибір низького радіочастотного діапазону для Z-Wave обумовлюється малою кількістю потенційних джерел перешкод (на відміну від завантаженого діапазону 2,4 ГГц, в якому доводиться вдаватися до заходів, що зменшують можливі перешкоди від різних побутових бездротових пристроїв, що працюють - Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth) . У Росії її використовується частотний діапазон 869 МГц.

Також іншими перевагами стандарту можна відзначити мале споживання енергії, низьку вартість виробництва та вбудовування модулів Z-Wave у різні побутові пристрої.

Швидкість передачі даних у мережі становить 9,6 кбіт/с або 40 кбіт/с із повною сумісністю. Використовується модуляція GFSK. Радіус дії приблизно 30 метрів в умовах прямої видимості, у приміщенні зменшується залежно від форми та матеріалу стін, а також від виду антени.

У мережі Z-Wave вузли поділяються на три типи: контролери (Controllers), виконавчі механізми, що маршрутизують (Routing Slaves) і виконавчі механізми (Slaves). У реальній мережі всі типи пристроїв можуть працювати у будь-якій комбінації.

Z-Wave використовує пористу топологію мережі з маршрутизацією повідомлень від джерела (англ. source routing) і має один основний



контролер і нуль або більше вторинних контролерів, які керують маршрутизацією та безпекою. У пористій мережі Z-Wave кожен вузол або пристрій може приймати та передавати керуючі сигнали іншим пристроям мережі, використовуючи сусідні проміжні вузли. Це мережа з маршрутизацією, що самоорганізується, залежною від зовнішніх факторів - наприклад, при виникненні перешкоди між двома найближчими вузлами мережі, сигнал піде через інші вузли мережі, що знаходяться в радіусі дії.

Z-Wave - це протокол для організації надійного бездротового зв'язку в напівдуплексному режимі з низькою пропускнуою здатністю. В основному призначений для автоматизації та управління пристроями в рамках концепції IoT та розумний будинок.

Спочатку протокол Z-Wave був розроблений як стартапа групою фахівців із Данії, який згодом був придбаний американською компанією Sigma Designs – провідним постачальником системних рішень для розумного дому. У 2005 році групою провідних фахівців компаній, що займаються домашньою автоматизацією, створила некомерційну організацію Z-Wave Alliance. Метою цієї організації є сертифікація та забезпечення сумісності пристроїв Z-Wave від різних виробників. У Z-Wave Alliance входять понад 540 провідних галузевих компаній, серед яких: ADT, Fibaro, Huawei, Nexia, D-link, Ingersoll Rand, Jasco, LG Up+, Nortek Security & Control, Sigma Designs, Samsung, Bosch та інші.

У жовтні 2013 року вийшов другий стандарт Z-Wave - Z-Wave Plus, що відрізняється покращеними характеристиками та наявністю нових функцій.

Технологія Z-Wave описана у специфікації ITU-T G.9959. Z-Wave має пористу топологію мережі, в якій кожен вузол знає сусідів і може виступати як ретранслятор пакетів для успішного обміну повідомленнями.

Технічні характеристики:

а) відстань: 40...120 м (відстань між пристроями за умови прямої видимості: 10.30 м);

б) максимальна кількість пристроїв: 232;

в) швидкість передачі: 9,6 кбіт/с, 40 кбіт/с або 100 кбіт/с;

г) частота: до 1 ГГц (869,42 МГц у Європі, 908,4 МГц та 916 МГц у США, 922... 926 МГц у Японії, 869 МГц).

Пристрої в мережі Z-Wave можуть бути розділені на дві підгрупи: звичайні вузли (перебувають у режимі прийому в будь-який час) і вузли з малою потужністю (велику частину часу знаходяться в режимі сну). Використання вузлів малої потужності продовжує термін служби пристроїв за рахунок низького електроживлення.

Основними перевагами технології Z-Wave є універсальність, тобто. сумісність пристроїв від різних виробників, простота встановлення та надійна передача даних. До недоліків можна віднести неможливість передачі звуку або відео з гарною якістю. Ціна пристроїв,

що використовують технологію Z-Wave, варіюється від 10 до 300\$.

Технологія Z-Wave активно використовується для зв'язку пристроїв розумної оселі: побутова техніка, штори, освітлення, клімат-контроль, контроль доступу і т.д. На ринку представлено понад 1700 готових рішень, наприклад, повідомлення про відкриття/закриття дверного замку, коли ви знаходитесь поза домом, голосове управління освітленням та обігрівом приміщення, збір даних із різних сенсорів. [8].

Таким чином, мережа Z-Wave може мати радіус передачі набагато більший, ніж дальність передачі одного вузла. Однак через переприйом (hops) може бути отримана невелика затримка між командою управління та бажаним результатом. Для того щоб Z-Wave пристрої мали можливість маршрутизувати дані, що ними не запитуються, вони не можуть перебувати в сплячому режимі. Таким чином, пристрої з живленням від батарейок не призначені як пристрої ретрансляції. Мережа Z-Wave може містити до 232 пристроїв з можливістю розширення мережі, якщо потрібно ще кілька пристроїв. Додаткові пристрої в мережу можуть бути додані в будь-який час, так само як і кілька контролерів, що управляють.

Хоча технологія Z-Wave є простим та дешевим рішенням, низька швидкість передачі даних виключає передачу зображень, звуку та високошвидкісних даних. Крім того, для рішень, де потрібно понад 30 пристроїв, Z-Wave-система є більш дорогою, ніж кабельні системи. Через свої конструктивні особливості такі системи мають обмежені масштаби та радіус дії, і вимагають використання повторювачів або навіть кабельних з'єднань. У світі налічується понад 200 виробників, що пропонують товари із Z-Wave чіпами чи модулями. Відмінною рисою Z-Wave є те, що всі ці продукти сумісні між собою. Порівняння стека протоколу Z-Wave з іншими технологіями наведено на рисунку 7.13.

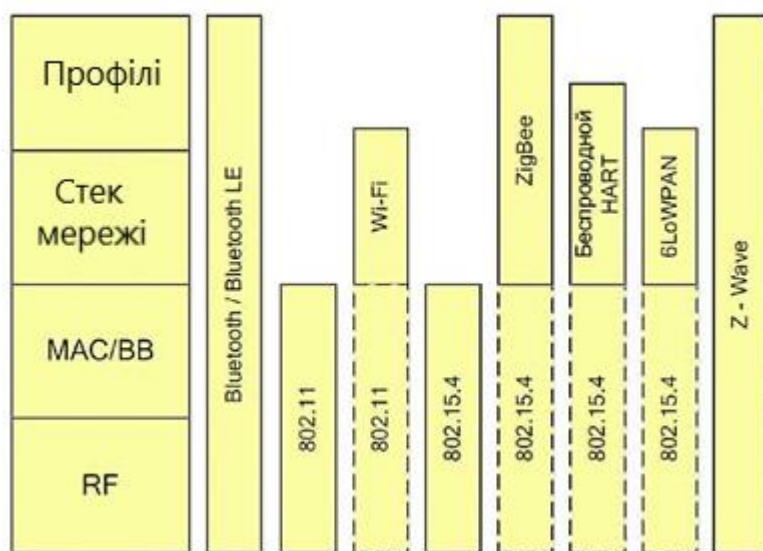



Рисунок 7.13 - Характеристики технології Z-wave



Характеристики Z-wave: частотний діапазон 868/908/2400 МГц; бітова швидкість 9,6/40/200 кбіт/с; тип модуляції сигналу BPSK; чутливість приймача мінус 101 дБм; вихідна потужність передавача мінус 20...0; Обсяг даних пакета до 64 байт.

7.6 Стандарт Bluetooth Low Energy

Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) - Bluetooth 4.0 є бездротовою технологією для ближніх комунікацій, розробленою групою Bluetooth Special Interest Group (SIG). Спочатку орієнтований застосування у системах збору даних, моніторингу з автономним харчуванням. BLE споживає в 10-20 разів менше енергії здатний передавати дані в 50 разів швидше, ніж класичні Bluetooth-рішення.

Стандарт Bluetooth Low Energy розрахований на топології типів: точка-точка та зірка. Основні області застосування BLE - це пристрої забезпечення безпеки, управління електроприладами та відображення показань, датчики з батарейним живленням, домашні медичні прилади, спортивні тренажери.

Пристрої BLE працюють у діапазоні 2,4 ГГц. У стандарті визначено 40 частотних каналів з відстанню 2 МГц між каналами. Фізично застосована GFSK-модуляція (Gaussian Frequency Shift Keying) з індексом модуляції в межах від 0,45 до 0,55, що дає змогу зменшити пікове споживання енергії. Швидкість передачі фізично 1 Мбіт/с. У стандарті BLE чутливість приймача визначена як рівень сигналу на приймачі, при якому частота бітових помилок BER (Bit Error Rate) досягає рівня 10⁻⁵. Вона повинна становити мінус 70 дБм або краще. [7]

Технологія адаптивної стрибкоподібної перебудови частоти, що використовується в BLE, дозволяє пристроям швидко змінювати робочу частоту широкому діапазоні робочих частот. Це не тільки дозволяє знизити інтерференцію, а й зменшити або повністю уникнути переповнення робочого частотного діапазону. Поряд із широкомовним режимом, BLE пропонує спосіб передачі даних, орієнтований на встановлене між окремими пристроями з'єднання.

Стек BLE складається з 2х основних частин: контролера (controller) і вузла мережі (host, зображений на малюнку 30. Контролер включає фізичний і каналний рівень і часто реалізується у вигляді системи "на" кристалі з інтегрованим бездротовим трансівером. Частина стека, іменована вузлом мережі, реалізується програмно на мікроконтролері додатків і включає функціональність верхніх рівнів, зображено на рисунку 7.14:

- протокол адаптації L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol),
- протокол атрибутів ATT (Attribute Protocol),
- протокол атрибутів профілів пристроїв GATT (Generic Attribute Profile),

- протокол забезпечення безпеки SMP (Security Manager Protocol),
- протокол забезпечення доступу до функцій профілю пристроїв GAP (Generic Access Profile).

Взаємодія між верхньою та нижньою частинами стека здійснюється через інтерфейс HCI (Host Controller Interface). поверх рівня вузла мережі.

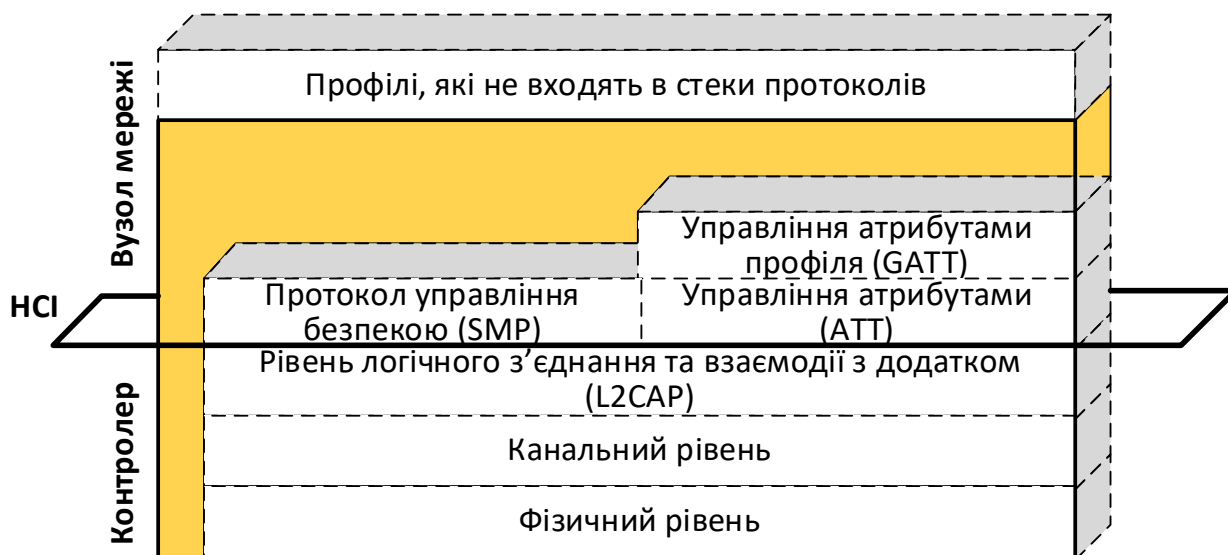



Рисунок 7.14 - Структура стека протоколів Bluetooth Low Energy

Незважаючи на те, що деякі функції контролера BLE запозичені у класичного Bluetooth, вони не сумісні між собою. пристрій, який підтримує лише BLE (однорежимний пристрій - single-mode device) не зможе взаємодіяти з пристроєм, що підтримує лише Bluetooth версій 2.x/3.0. Для здійснення взаємодії між ними хоча б один із пристроїв повинен підтримувати обидва стеки протоколів (дворежимний пристрій - dual-mode device). Однорежимні пристрої мають найменше енергоспоживання і в основному являють собою кінцеві виконавчі пристрої. Дворежимні пристрої передбачають можливість періодичного отримання енергії, розташовуються на різних мобільних пристроях, а також можуть функціонувати і як звичайні пристрої Bluetooth.

Характеристики BLE: частотний діапазон 2400 МГц; бітова швидкість 1000 кбіт/с; тип модуляції сигналу GFSK; метод розширення спектра FNSS; чутливість приймача мінус 70...93 дБм; вихідна потужність передавача мінус 20.0; Обсяг даних пакета до 8.47 байт.

Характеристики Bluetooth – частотний діапазон 2400 МГц; бітова швидкість 1000 кбіт/с; тип модуляції сигналу GFSK; метод розширення спектра FNSS; чутливість приймача мінус 90 дБм; вихідна потужність передавача 20/4/0; Обсяг даних пакета до 358 байт.

Низьке енергоспоживання та стійкіша робота в умовах великої кількості аналогічних пристроїв у ряді випадків дозволяє розглядати



BLE як альтернативу пристроям NFC, зокрема RFID-міткам. Але найцікавіший варіант використання BLE разом із NFC. У цьому випадку перші забезпечують більший радіус стійкої роботи і велику кількість пристроїв, що спільно працюють, а другі служать для встановлення логічного з'єднання між парою пристроїв, забезпечуючи більш високий рівень безпеки за рахунок меншого радіусу дії.

8 МЕРЕЖЕВІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ В АСКОЕ

8.1 Структури АСКОЕ

Основними напрямками при реалізації АСКОЕ у багатоквартирної побудові є облік по вводах з застосуванням:

- радіо технології;
- PLC технології;
- комбіновані технології.

Розглянемо переваги та недоліки, а також принципи побудови АСКОЕ у багатоквартирної побудові.

В обліку по ввідним лічильникам зацікавлені, перш за все, ресурсозбутові організації (водоканали, енергозбуту і т.п.). При цьому укладаються договори між двома юридичними особами. Розрахунок же з мешканцями при цьому стає прерогативою керівників підприємств, ОСББ, керуючих компаній і інших подібних організацій. Балансові прилади обліку, встановлюються в технічних приміщеннях житлових будинків (ВРУ, ІТП), на трансформаторних і розподільних підстанціях. Найчастіше це підвальні або напівпідвальні приміщення.

Облік по вводах - радіо технології. Схема побудови АІОМ КОЕ (автоматизований інформаційно-облікова мережа контролю та обліку енергоресурсів) з застосуванням радіо технології наведена на рисунку 8.1

Схема наведена на рисунку 8.1 в якості основного каналу обліку використовує "класичний" радіо канал, який спирається або на радіомодеми, або на лічильники з вбудованими радіомодемом. В силу своєї особливості (вкрай бажане забезпечення прямої видимості) нерідко доводиться забезпечувати ретрансляцію сигналу через проміжні радіомодеми. Допускається застосування до 15 ретрансляційних сегментів. При великих кількостях сегментів слід враховувати можливі time-out.

На схемі, як приклад, наведено канал доставки до пункту збору - GSM. Реально це можуть бути різновиди Ethernet, RS-485 і т.п.

Крім пункту збору інформації може бути забезпечена диспетчерська служба. На відміну від пункту збору, диспетчерська веде моніторинг обладнання і подій в режимі близькому до real-time. Це можуть бути сигнали про несанкціоноване проникнення, повідомлення про вихід параметрів роботи обладнання за межі уставок, небаланси обліку і т.д. Склад програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку використання радіо технологій наведено на рисунку 8.2.

В даному випадку мається на увазі комплексний облік ресурсів ГВП, ХВП, тепло- і електроенергія. Витрата води визначається опосередковано через теплообчислювач. Радіомодем, в загальному випадку, обладнується високоефективною антеною з круговою спрямованістю. У разі невпевненого проходження радіосигналу може бути застосована спрямована антена.

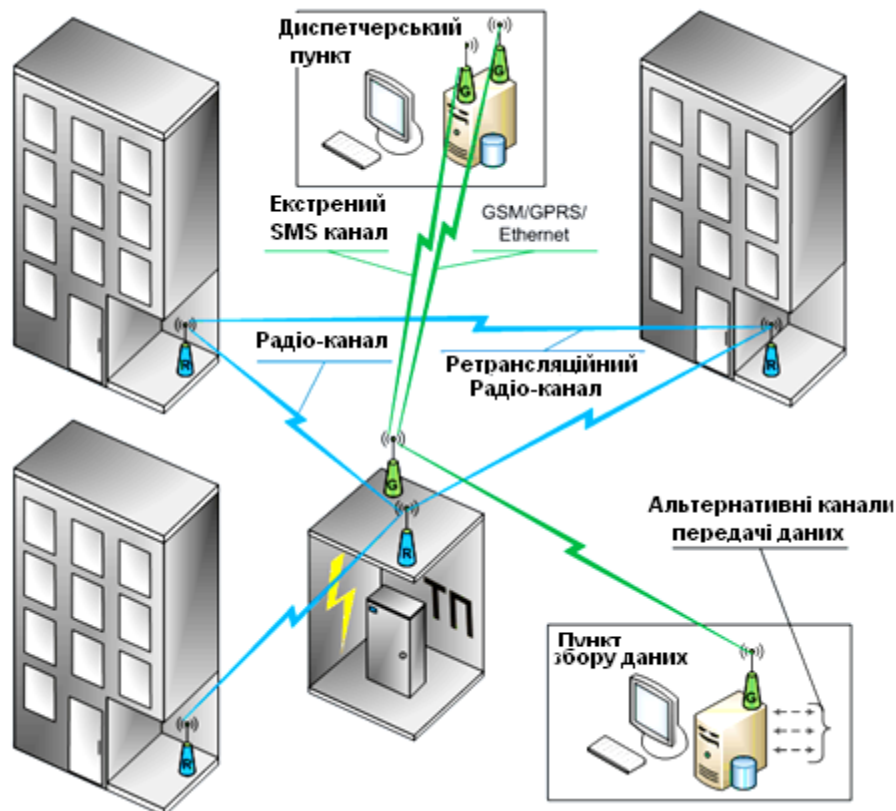


Рисунок 8.1 – Схема побудови АІОМ КОЕ з застосуванням радіо технології

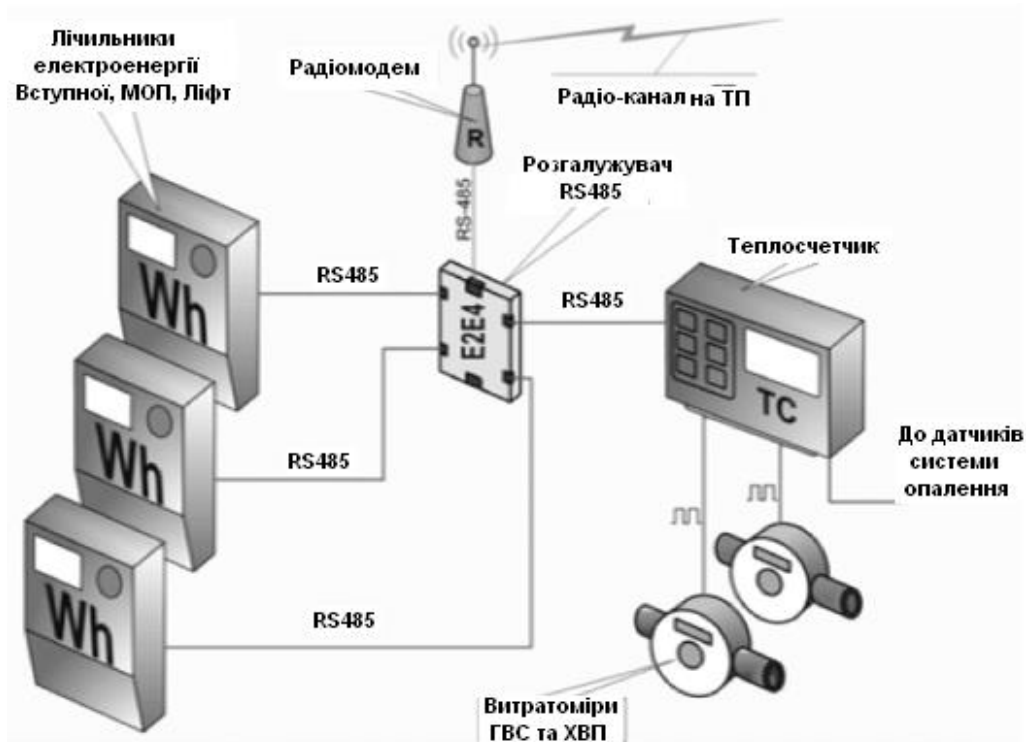


Рисунок 8.2 – Склад програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку з використанням радіо технологій

Центральним елементом шафи АСКОЕ на трансформаторній підстанції є ПЗПД зображено на рисунку 8.3.

Радіомодем застосовується для збору даних з первинних вимірювальних приладів. Для організації АФХ використовується високоефективна антена кругової спрямованості F-12. Для передачі на рівень ІОК (інформаційно-обліковий комплекс), в даному випадку, застосований GSM модем. Це може бути як зовнішній модем, так і компонент ПЛК з радіомодемом. У деяких випадках, для забезпечення підвищеної надійності доставки інформації, можуть бути організовані резервні канали зв'язку.

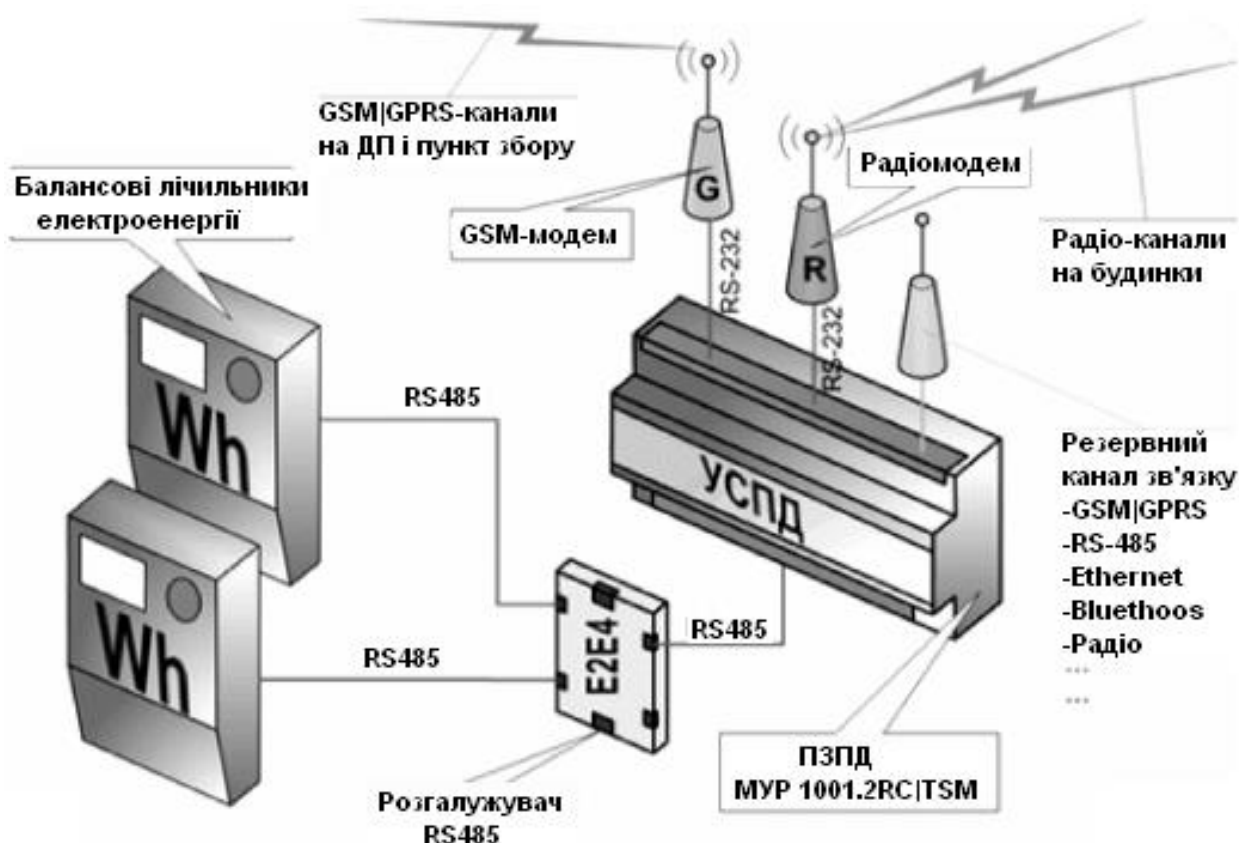


Рисунок 8.3 – Склад програмно-технічних засобів трансформаторної підстанції

Переваги рішення

- Економія інвестованих коштів, за рахунок застосування єдиної АИИС для обліку декількох комунальних ресурсів
- Побудова системи в умовах неможливості використання кабельних мереж.
- Використання діапазонів частот і рівня потужності радіоканалу до 10 мВт дозволяє уникнути реєстрації та ліцензування.

Недоліки рішення

- Підвищені вимоги до якості проведення обстеження об'єктів та до рівня проектних робіт.

– Зміна топологічної ситуації (побудова нових споруд в зоні радіоканалу) призводить до необхідності забезпечення додаткового ретрансляційного обладнання

– Підвищені вимоги до кваліфікації персоналу.

Облік по вводах - PLC технології. Структурна схема побудови АІОМ КОЕ на базі PLC технології наведена на рисунку 8.4.

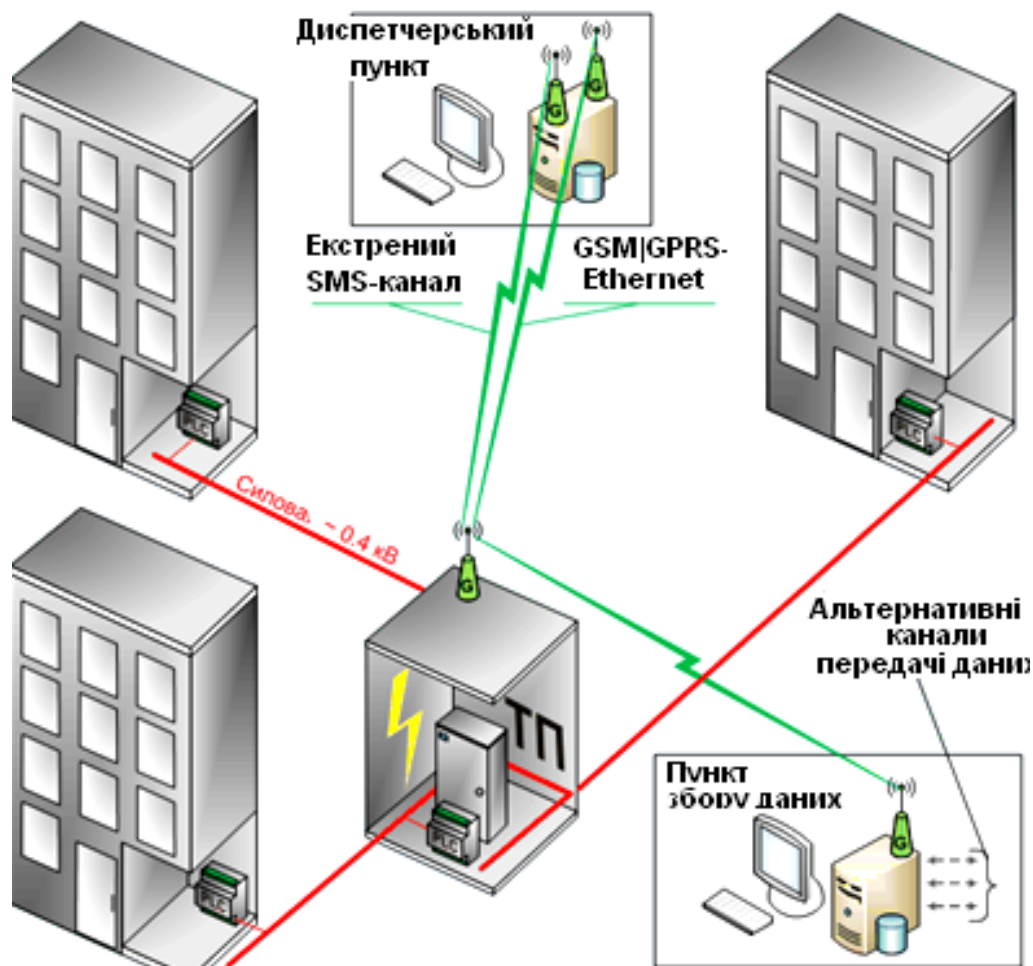


Рисунок 8.4 – Структурна схема побудови АІОМ КОЕ на базі PLC технології

У деяких випадках застосування радіо каналу має деякі труднощі. Віддаленість інформаційно-облікового комплексу, потребує використання більш потужного радіосигналу або застосування проміжних радіо модемів, що веде до ускладнення програмно-технічних засобів і підвищення собівартості.

У такому випадку можливо застосування PLC технології, тобто передачі інформаційних потоків по електричній мережі 0,4 кВ. У такому випадку досить буде використовувати один PLC-модем на групу лічильників Структурна схема складу програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку наведена на рисунку 8.5, а трансформаторної підстанції на рисунку 8.6.

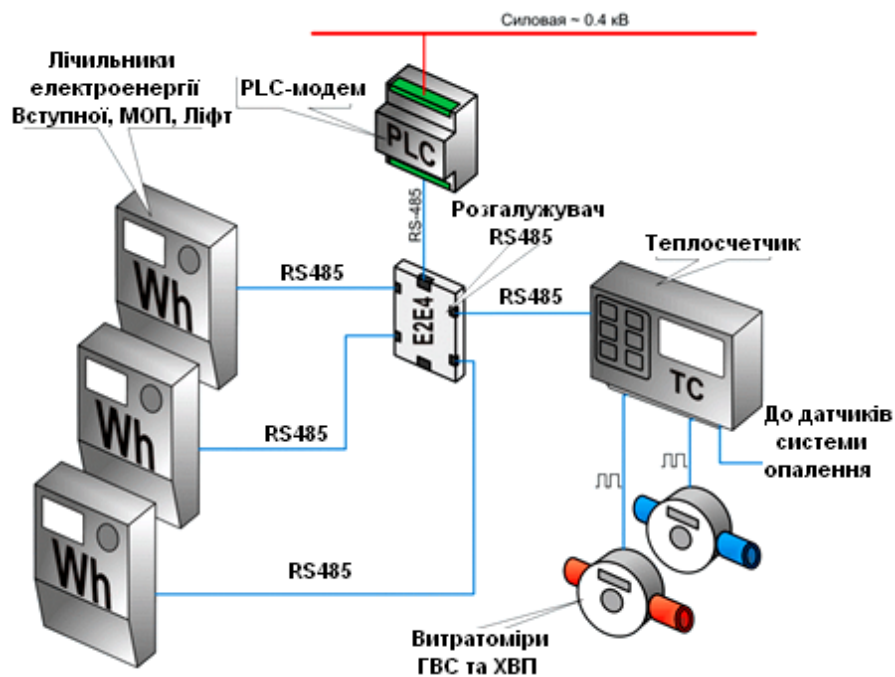


Рисунок 8.5 – Структурна схема складу програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку

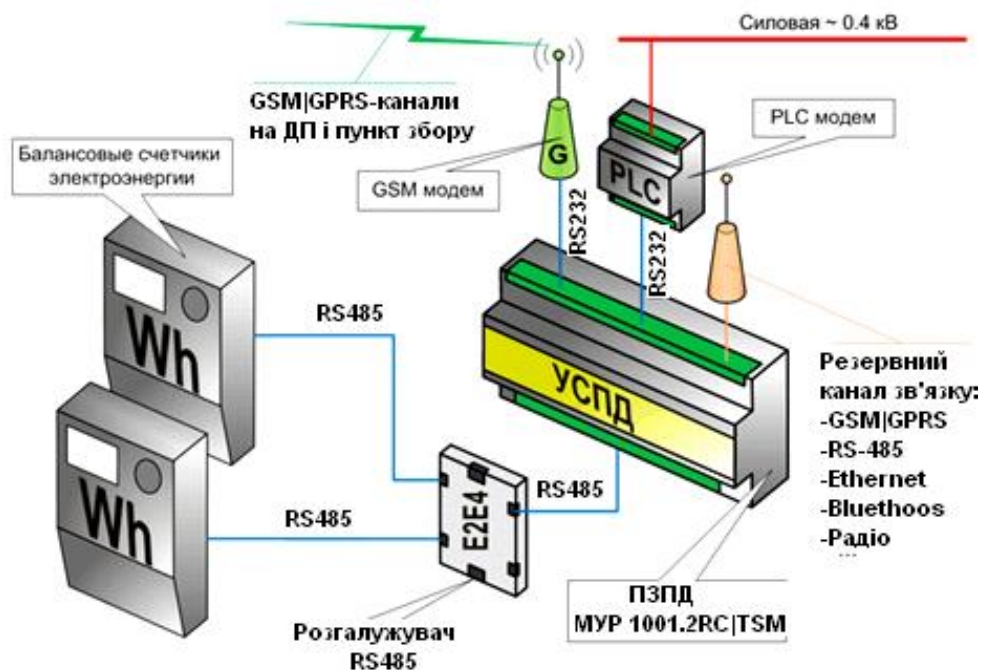


Рисунок 8.6 – Структурна схема складу програмно-технічних засобів трансформаторної підстанції

Переваги рішення:

- Економія інвестованих коштів, за рахунок застосування єдиної АИИС для обліку декількох комунальних ресурсів.
- Побудова системи в умовах неможливості використання додаткових інформаційних ліній зв'язку.

- Простота і висока швидкість проведення монтажних робіт.
- Низькі початкові витрати.

Недоліки рішення:

- Підвищені вимоги до якості електричних мереж. На старих зношених мережах застосування переваги даного виду зв'язку неочевидні.

- Високий рівень перешкод. Практична відсутність механізму боротьби з компаніями використовують високочастотне обладнання, але не застосовують відповідні фільтри.

- Складність пошуку причин можливого "не відповіді" частини лічильників.

Облік по вводах - комбіновані технології. У реальному житті "чисті" технології передачі даних (наприклад, тільки радіо або тільки PLC) зустрічаються виключно в невеликих за масштабами проектах. Практично, для досягнення 100% -ної доставки інформації доводиться комбінувати різні види каналів. На рисунку 8.7 наведена структурна схема типової комбінованої системи.

Вибір типу каналу залежить від багатьох причин: зашумленості каналу, наявності перешкод, можливості / неможливості прокладки кабелю і т.п. Наприклад, використання на прилеглих об'єктах частотних приводів не оснащені фільтрами перешкод, унеможлиблює застосування PLC каналу. Не рідкість застосування збору інформації через ПЗПД і безпосередня передача від первинних вимірювальних приладів на інформаційно-обчислювальні комплекси.

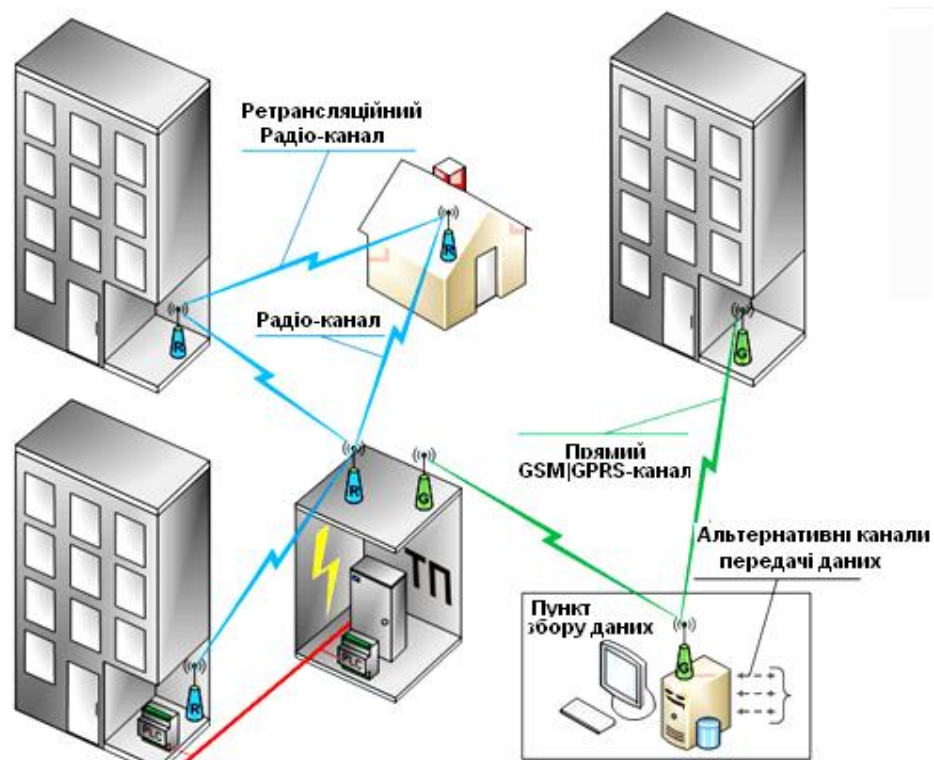


Рисунок 8.7 – Структурна схема типової комбінованої системи

8.2 Структури АСКОЕ

По-квартирний облік - провідні технології. В ідеальному випадку всі прилади (включаючи витратоміри ХВП і ГВП) встановлені на поверховому майданчику і не становить труднощів прокласти провідні лінії зв'язку. У разі встановлення приладів всередині квартири, прокладання дротових ліній буде пов'язане з протидією мешканців і в ряді випадків буде неможливим. У таких випадках слід застосовувати бездротові технології.

Переваги рішення:

- Економія інвестованих коштів, за рахунок застосування єдиної АІВС для обліку декількох комунальних ресурсів.
- Відносна надійність каналу доставки, в порівнянні з бездротовими технологіями.
- Невисока вартість використовуваного обладнання.
- Відсутність підвищених вимог до виробників пуско-налагоджувальних робіт.

Недоліки рішення:

- Невисока вандалостійкість в разі відкритого доступу до кабельних каналів.
- У ряді випадків неможлива прокладка кабельних ліній.

На рисунку 8.8 наведена структурна схема АСКОЕ по-квартирного обліку з використання дротових технологій. На рисунках 8.9 та 8.10 зображені варіанти складу програмно-технічних засобів поверху та будинку на рисунку 8.11.

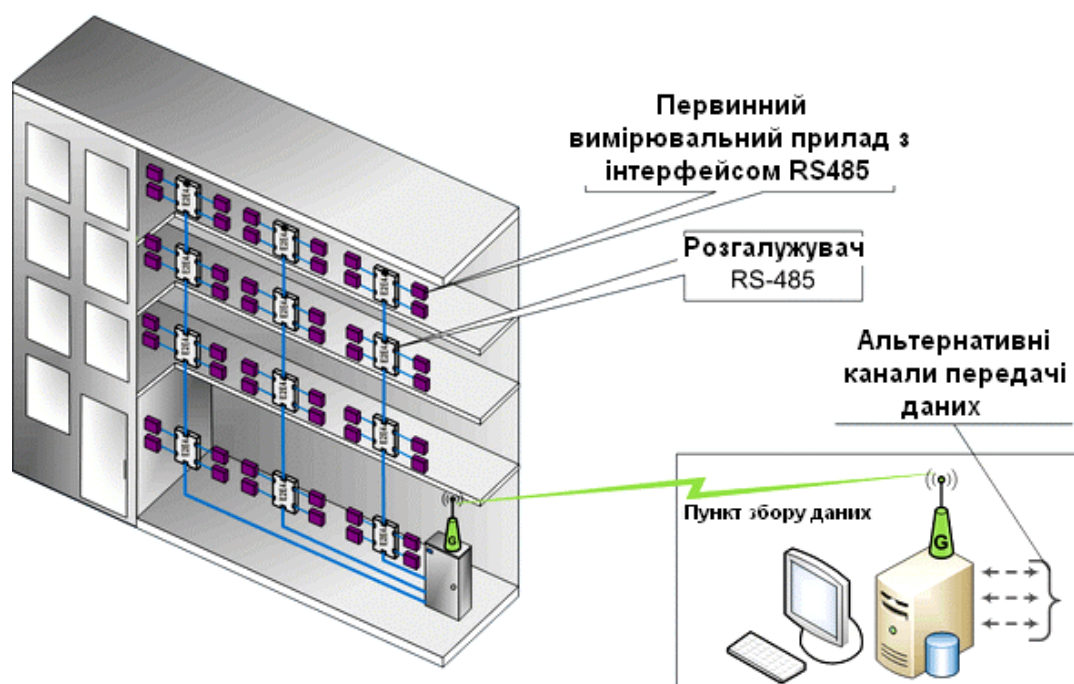


Рисунок 8.8 - Структурна схема АІВС КОЕ по-квартирного обліку з використання дротових технологій

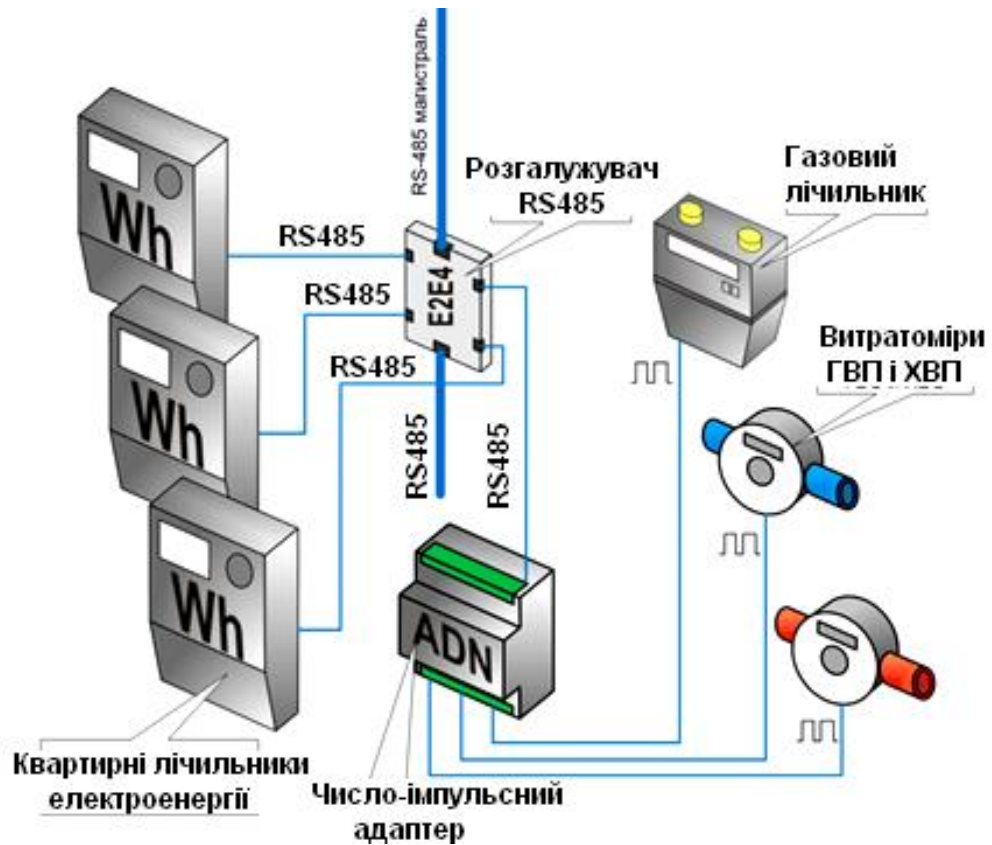


Рисунок 8.9 – Склад програмно-технічних засобів поверху (Варіант 1)

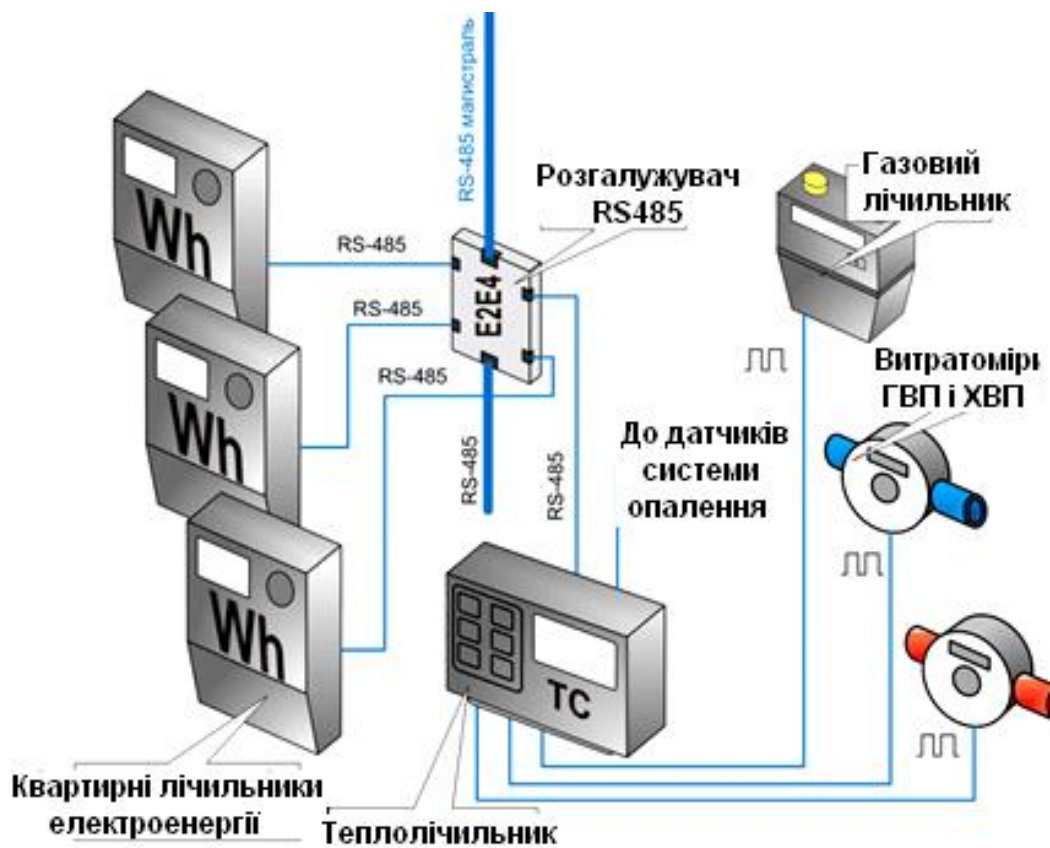


Рисунок 8.10 – Склад програмно-технічних засобів поверху (Варіант 2)

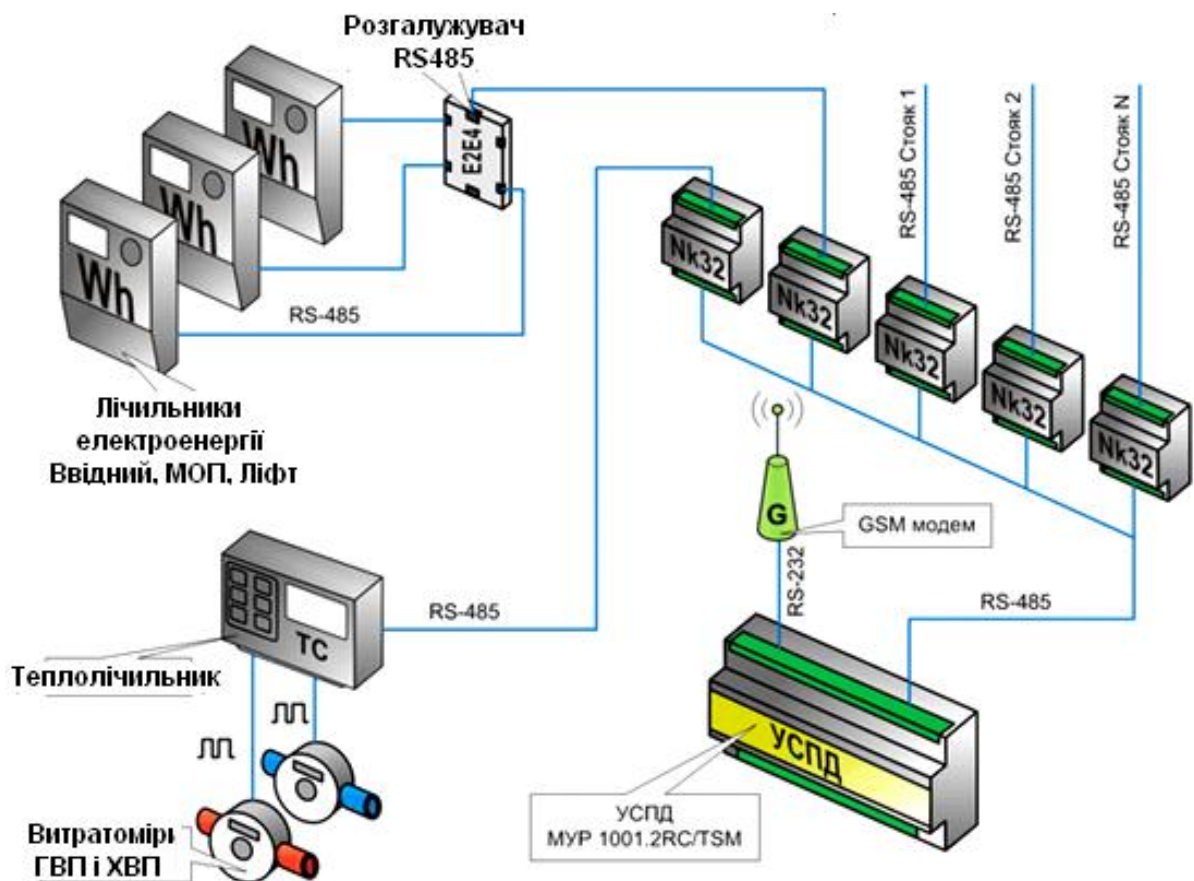


Рисунок 8.11 – Склад програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку

Поквартирний облік - радіо технології. У разі встановлення приладів всередині квартири, потрібно або встановлювати радіомодеми всередині квартири (що призведе до подорожчання проекту), або прокладати дрітні лінії до поверхового щитка до встановленого радіомодемом. Прокладання проводів в заселеній квартирі, безсумнівно, буде пов'язане з протидією мешканців і в ряді випадків буде неможливим.

Структурна схема побудови АІВС КОЕ з використанням радіо-технології наведена на рисунку 8.12

Переваги рішення:

- Економія інвестованих коштів, за рахунок застосування єдиної АІВС для обліку декількох комунальних ресурсів
- Побудова системи в умовах неможливості використання кабельних мереж.
- Використання діапазонів частот які не потребують ліцензування і рівня потужності радіоканалу до 10 мВт дозволяє уникнути реєстрації.
- Використання методу ретрансляції дозволяє застосувати менш потужні (дешевші) радіо-модеми і підвищити надійність каналу доставки інформації.

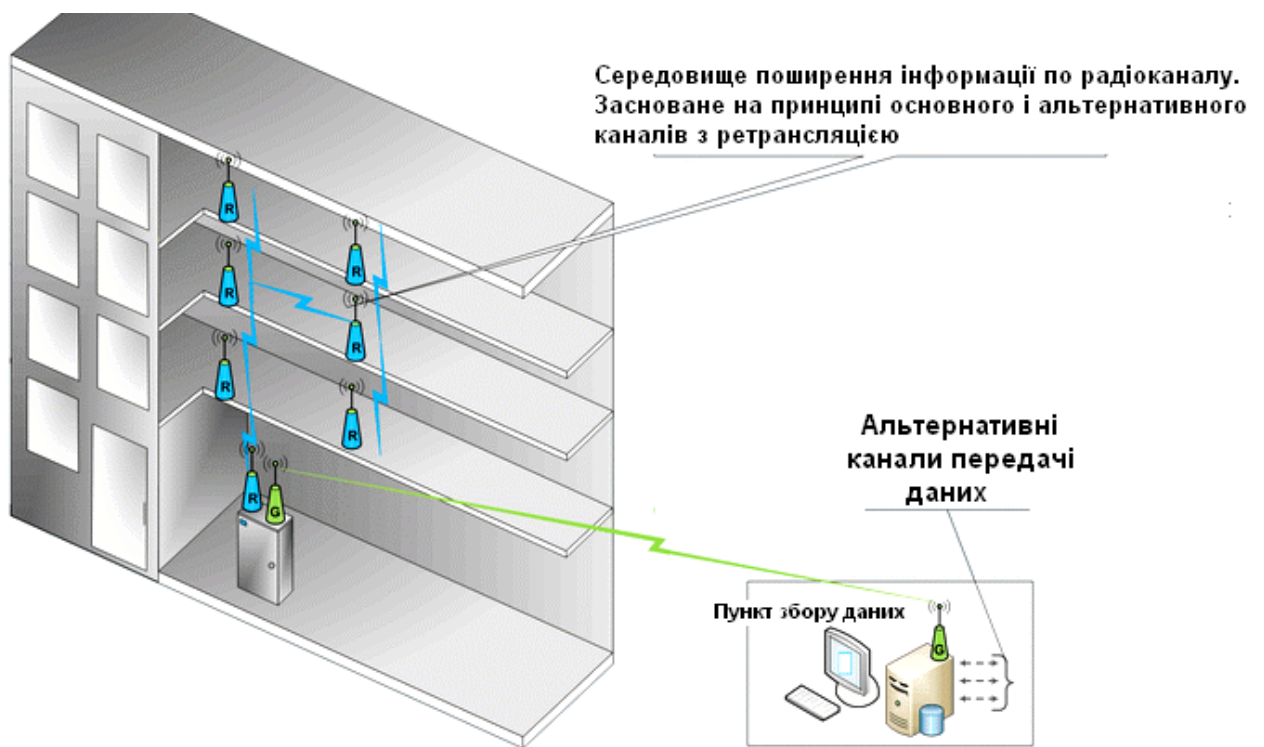


Рисунок 8.12 - Структурна схема побудови АІВС КОЕ з використанням радіо-технології

Недоліки рішення:

- Підвищені вимоги до якості проведення обстеження об'єктів та до рівня проектних робіт.
- Зміна топологічної ситуації призводить до необхідності забезпечення додаткового ретрансляційного обладнання
- Підвищені вимоги до кваліфікації персоналу.

На рисунках 8.13 та 8.14 зображені варіанти складу програмно-технічних засобів з використанням радіоканалів поверху та будинку на рисунку 8.15.

По-квартирний облік з використанням PLC технології. В ідеальному випадку всі прилади (включаючи витратоміри ХВП і ГВП) встановлені на поверхової майданчику. У такому випадку досить буде використовувати один PLC-модем на групу лічильників. У разі встановлення приладів всередині квартири, потрібно або встановлювати PLC-модеми всередині квартири (що призведе до подорожчання проекту), або прокладати дротяні лінії до поверхового щитка до встановленого PLC-модемом. Прокладання проводів в заселеній квартирі, безсумнівно, буде пов'язане з протидією мешканців і в ряді випадків буде неможливим.

Структурна схема побудови АІВС КОЕ з використанням PLC - технології наведена на рисунку 8.16

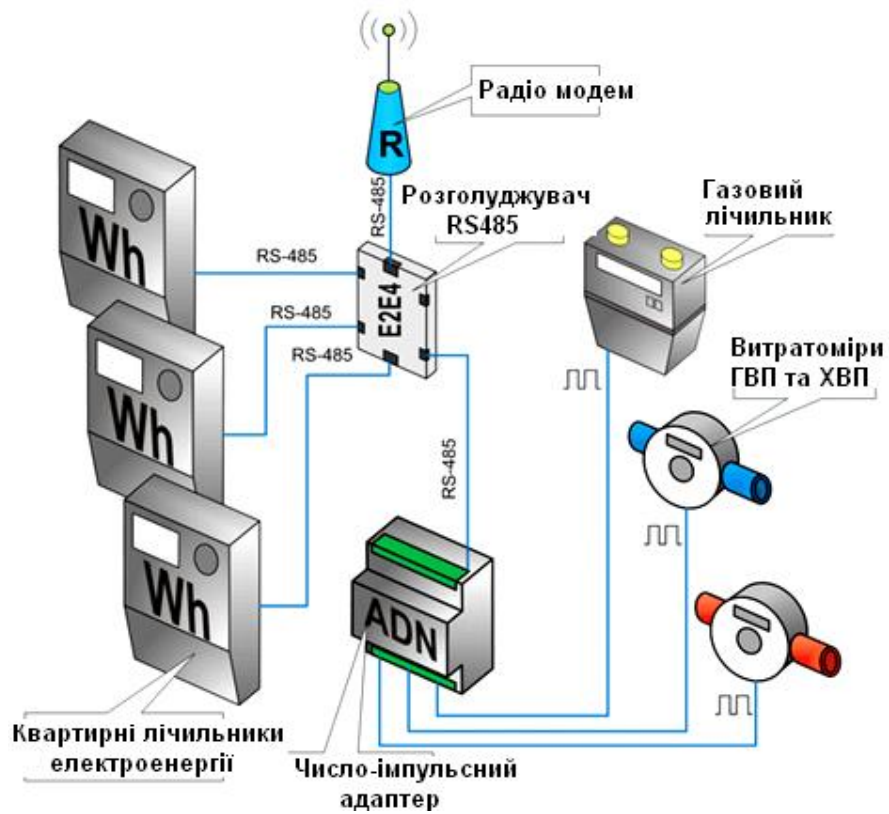


Рисунок 8.13 – Склад програмно-технічних засобів поверху (Варіант 1)

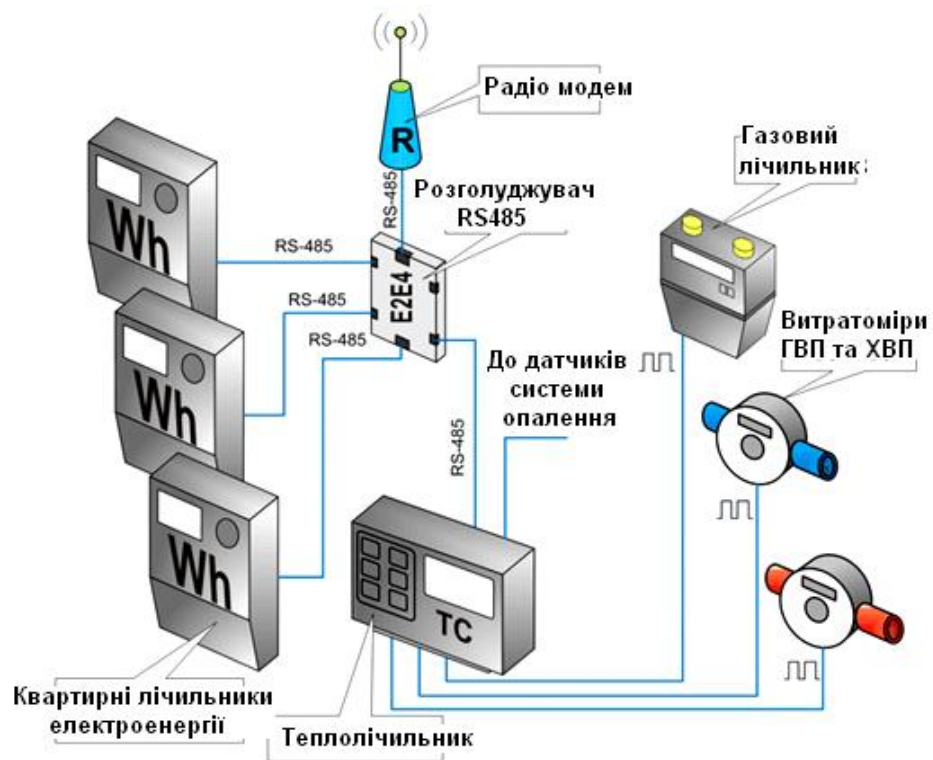


Рисунок 8.14 – Склад програмно-технічних засобів поверху (Варіант 2)

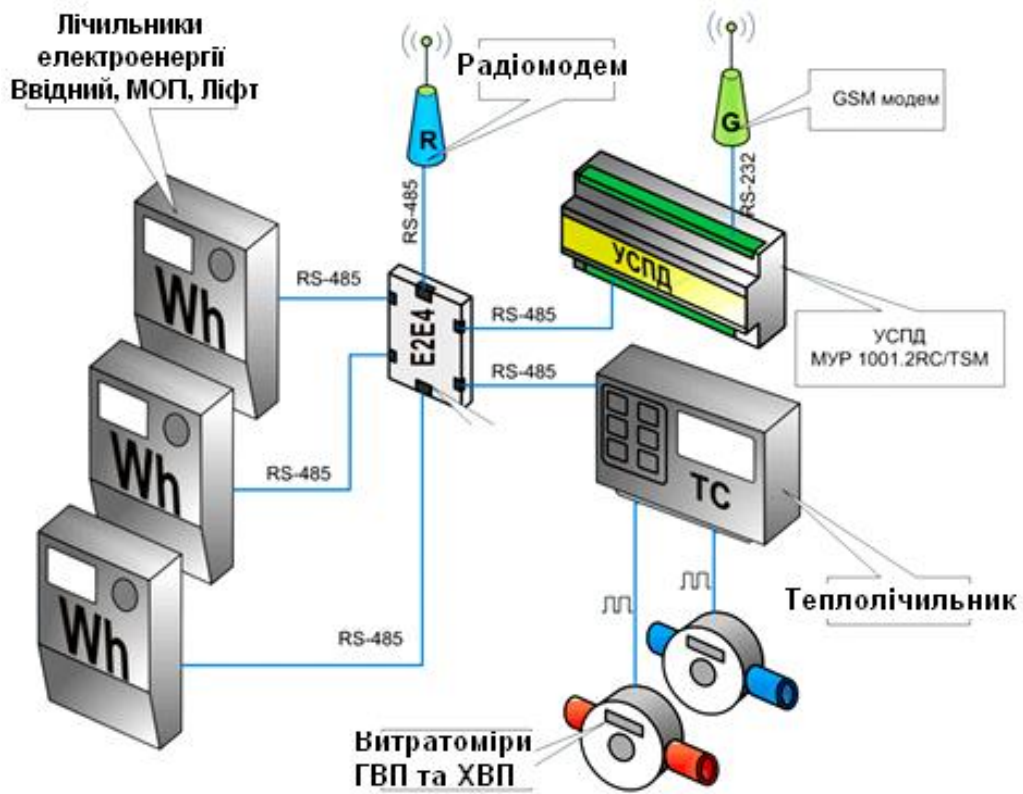


Рисунок 8.15 – Склад програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку

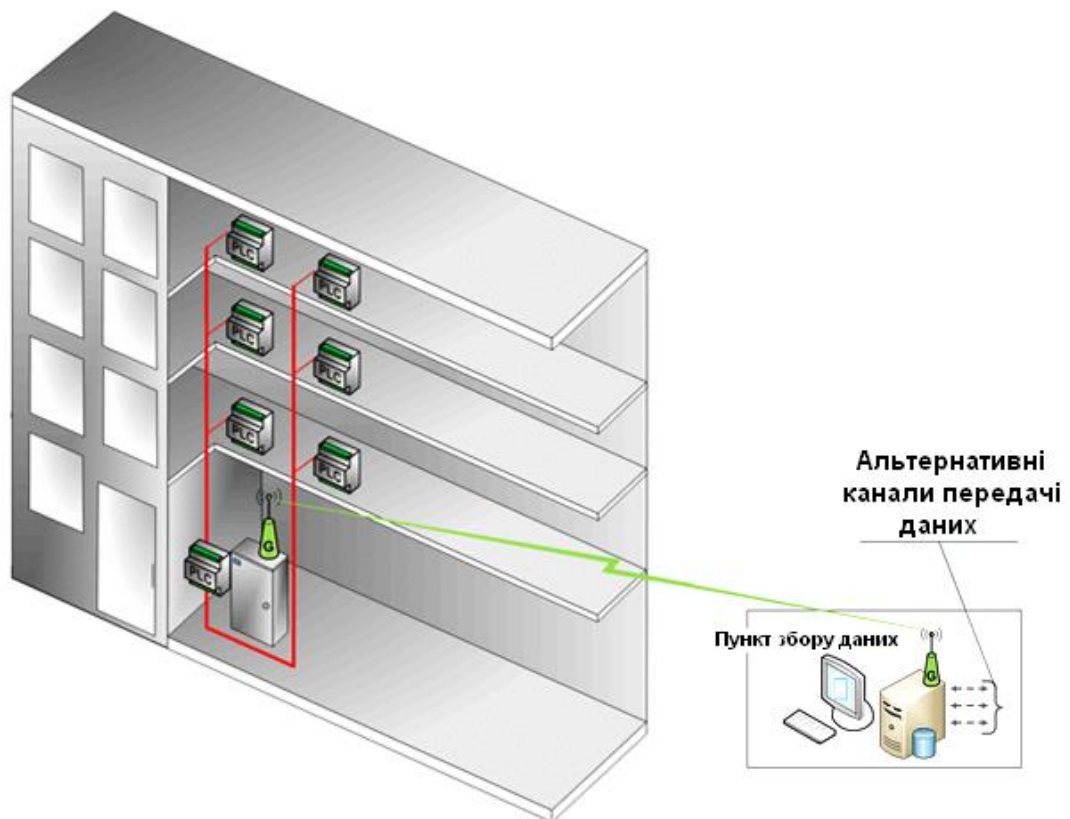


Рисунок 8.16 – Структурна схема побудови АІВС КОЕ на базі PLC - технології

Переваги рішення:

- Економія інвестованих коштів, за рахунок застосування єдиної АИИС для обліку декількох комунальних ресурсів.
- Побудова системи в умовах неможливості використання додаткових інформаційних ліній зв'язку.
- Простота і висока швидкість проведення монтажних робіт.
- Низькі початкові витрати.

Недоліки рішення:

- Підвищені вимоги до якості електричних мереж. На старих зношених мережах застосування переваги даного виду зв'язку неочевидні.
- Високий рівень перешкод. Практична відсутність механізму боротьби з компаніями використовують високочастотне обладнання, але не застосовують відповідні фільтри.
- Складність пошуку причин можливого "немає відповіді" частини лічильників.

На рисунках 8.17 та 8.18 зображені варіанти складу програмно-технічних засобів з використанням PLC - технології поверху та будинку на рисунку 8.19.

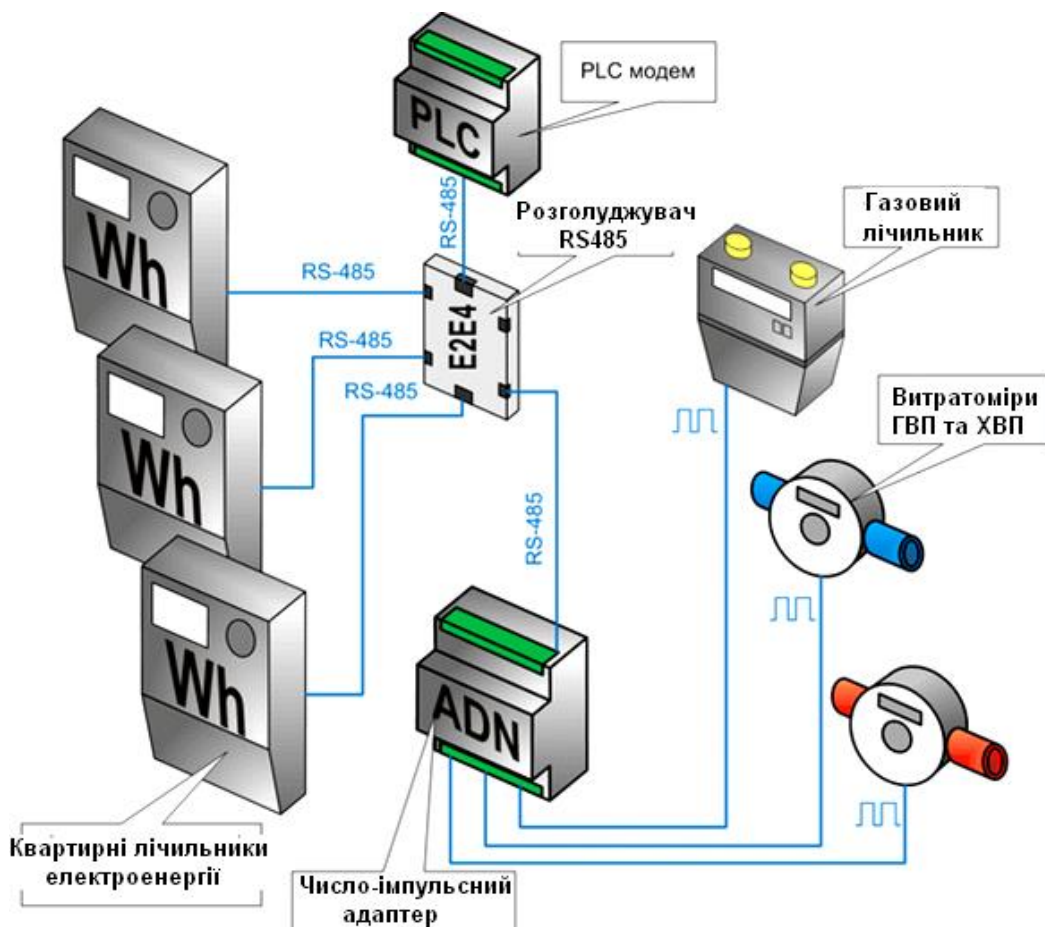


Рисунок 8.17 - Склад програмно-технічних засобів поверху на базі PLC - технології (Варіант 1)

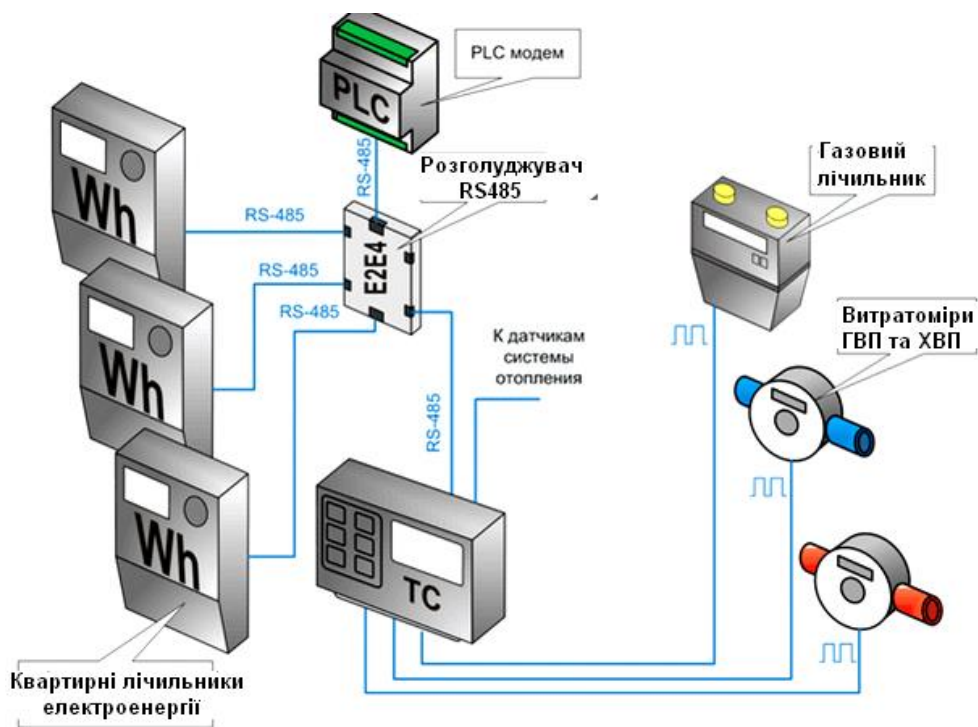


Рисунок 8.18 - Склад програмно-технічних засобів поверху на базі PLC - технології (Варіант 2)

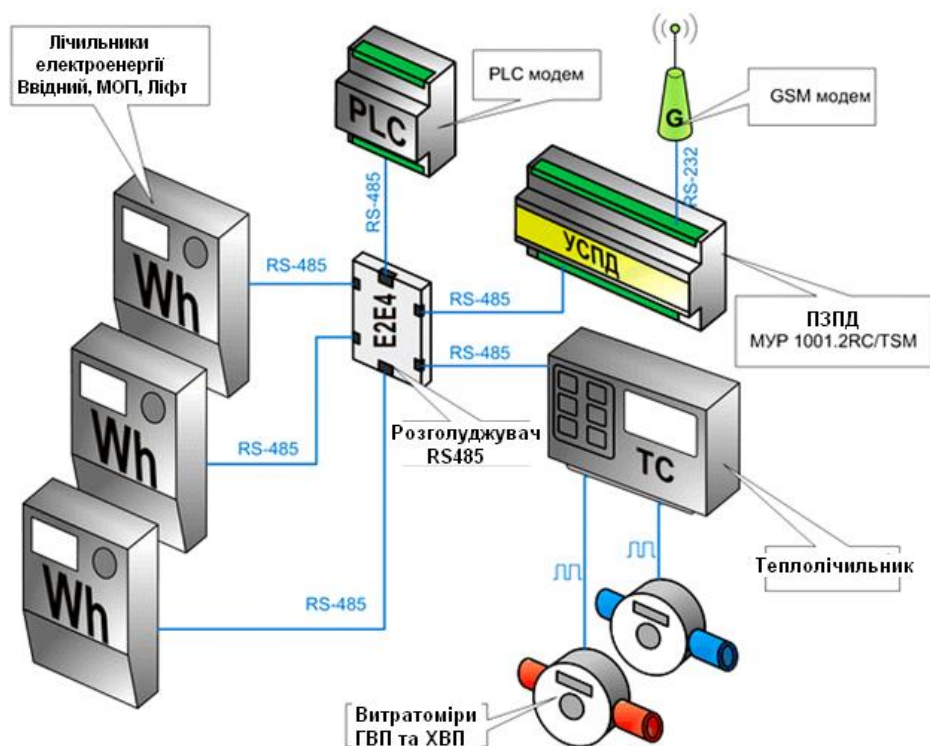


Рисунок 8.19 - Склад програмно-технічних засобів технічного приміщення житлового будинку на базі PLC – технології

По-квартирний облік - комбіновані технології. Тип каналу передачі даних закладається на етапі створення проекту АСКОЕ. При цьому для всього багатоквартирного будинку передбачається будь-якої один тип

каналу. При пусконаладке може виявиться неможливість доставки інформації з окремих приладів або групи приладів. Найчастіше це пов'язано з застосуванням бездротових типів каналів. У таких випадках застосовується комбінована схема доставки структура якої зображена на рисунку 8.20.

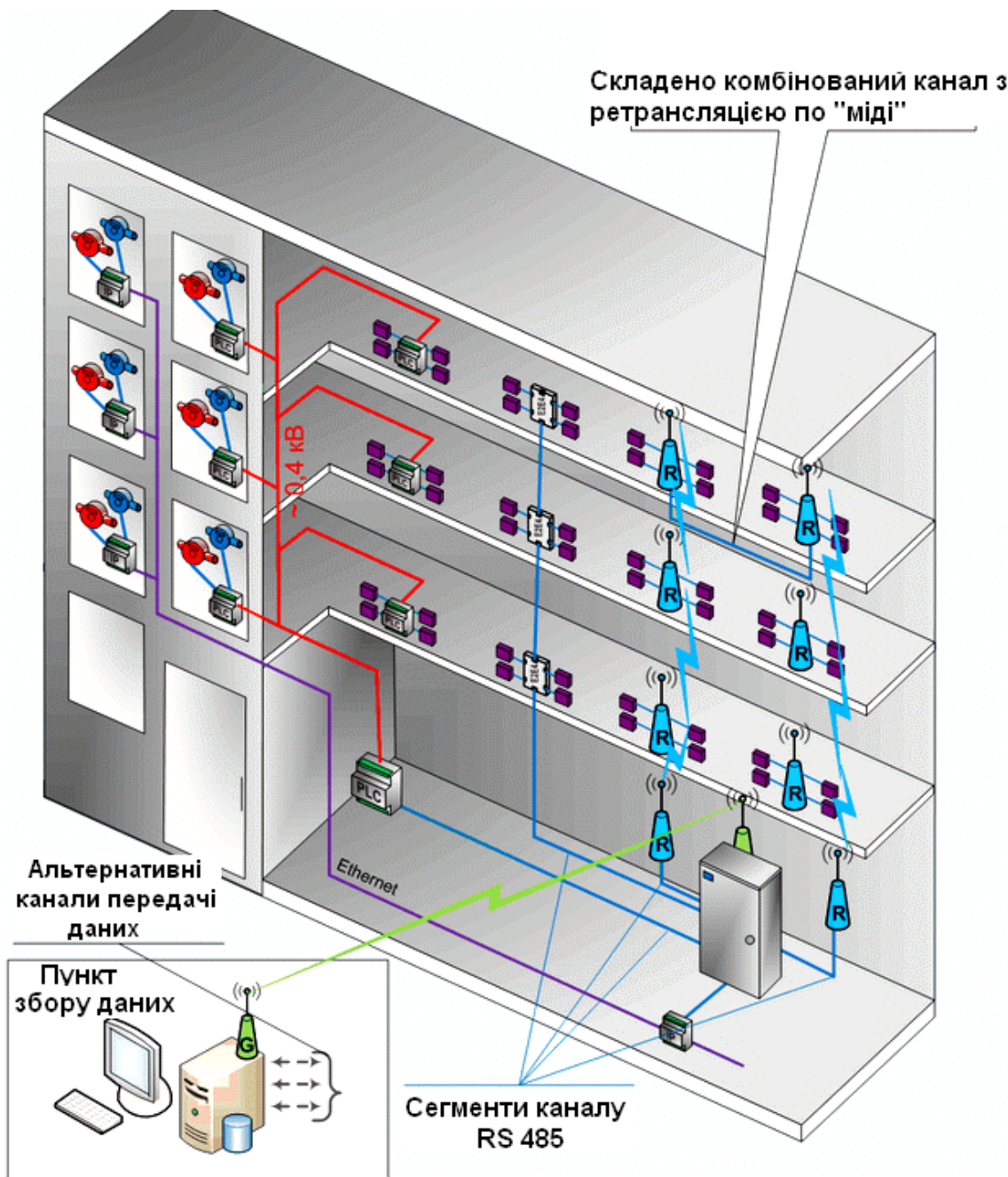


Рисунок 8.20 – Структурна схема побудови AIBC КОЕ на базі комбінованої технології

Іноді багатоквартирні будинки "запускаються" секціями. При цьому можливі схеми застосування різних типів каналів в різних секціях. Або між поверхами всередині секцій використовується один тип зв'язку (наприклад радіо), а між секціями - інший (наприклад, проводи).

8.3 Загальна структурна схема АСКОЕ мікрорайону

На підставі проведеного аналізу структур побудови систем АСКОЕ мікрорайону побудуємо структурну схему системи енергообліку яка приведена на рисунку 8.21.

При побудові структурної схеми взято до уваги принцип взаємодії АСКОЕ будинків та трансформаторної підстанції. Джерелами інформації про споживання енергоресурсів є вимірювальні перетворювачі електроенергії (квартирні, МОП, балансові та ліфтові). Також для перспективного розвитку контролю споживаних енергетичних параметрів передбачено врахування: теплоносія на опалення; холодного водопостачання; гарячого водопостачання.

Зв'язок між лічильниками (електроенергії, водомірів, теплотічильниками) та пристроєм збору та передачі даних (ПЗПД) здійснюється через інтерфейс: RS485, PLC, або радіо канал

Побудова структурної схеми АСКОЕ проводиться відповідно автоматизації з централізованою і децентралізованою периферією.

На нижньому рівні автоматизації розташована децентралізована периферія, а саме: засоби управління комутаційними реле шаф електрощитових і вимірювальні пристрої. Даний рівень призначений для збору інформації з лічильників споживання енергоресурсів, а також для управління встановленими за місцем релейної автоматики пуску / захисту. Інформаційні сигнали з лічильників обробляються ПЗПД, за алгоритмом опитування.

У підсистему нижнього рівня крім безпосередньо лічильників традиційно включають контролери (зазвичай звані ПЗПД - пристрої збору і представлення даних) і лінії зв'язку контролера з лічильниками.

Середній (другий) рівень призначений для програмного керування та опитування по інформаційній мережі з метою організації децентралізованої периферії будинків та трансформаторних підстанцій.

Середній рівень являє собою автоматизоване робоче місце - АРМ (одне або декілька) фахівця - енергетика, реалізоване на базі робочої станції локальної обчислювальної мережі (ЛОМ). На цій робочій станції зберігається база даних і працює інтерфейс з базою і всією системою в цілому..

На верхній (третьій) рівень призначений для документування та обробки інформації, енергетичних витратах. Централізоване опрацювання інформації про хід технологічного процесу передається на пульт оператора мережі GSM або Ethernet.

Верхній рівень це рівень зовнішніх користувачів: постачальників і операторів ринку. Вони отримують доступ до необхідних їм даних по виділених каналах або по лініях загального користування. Інформація їм поставляється тільки відповідно до їх права доступу.

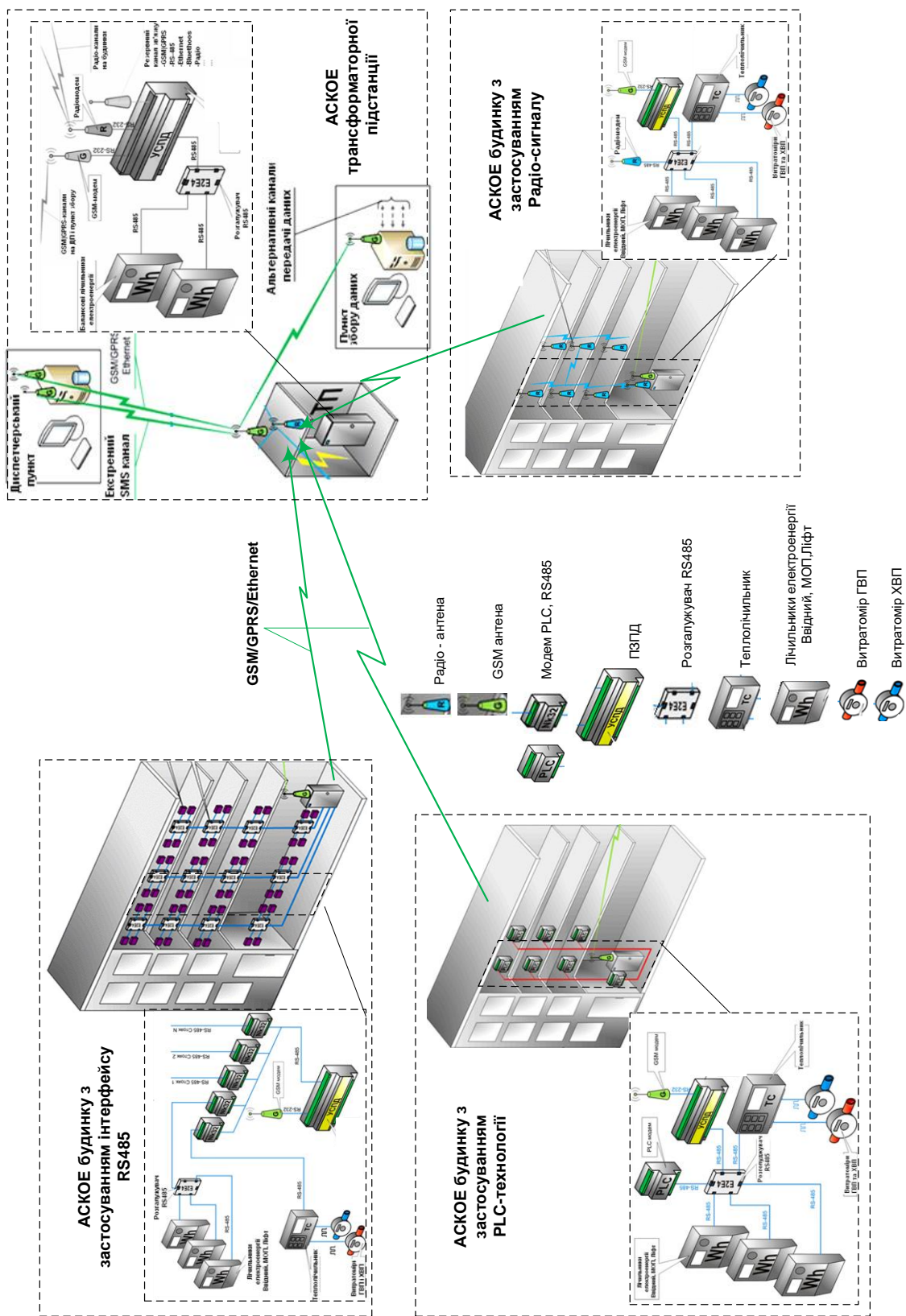


Рисунок 8.21 – Структурна схема АСКОЕ мікрорайону

8.4 Апаратна реалізація АСКОЕ будинків

Апаратна реалізація АСКОЕ багатоквартирного будинку включає в себе:

- однофазні цифрові лічильники електричної енергії з вбудованим інтерфейсом: RS485, PLC або радіо каналом;
- розгалоджувачі інтерфейсу RS485, PLC;
- пристрій збору і передачі даних (ПЗПД) з каналом передачі даних по GSM / GPRS або альтернативних з використанням радіо-каналів, Ethernet.

Здійснимо вибір механізмів реалізації АСКОЕ.

При виборі лічильника електричної енергії необхідно враховувати наступні вимоги:

- можливість підключення до одно провідною провідної електричної мережі;
- призначення для вимірювання активної та реактивної енергії в прямому і зворотному напрямках, активної, реактивної і повної потужності, коефіцієнта потужності, середньоквадратичного значення напруги і сили струму, а також організації багатотарифного обліку електроенергії в однопровідних ланцюгах змінного струму з прямим підключення;
- мати оптичний порт і основний електричний інтерфейс RS-485, радіоканал, електричний інтерфейс струмова петля 20 мА, RS-232, PLC;
- релейний вихід;
- призначені для використання в АСКОЕ;
- мати засоби контролю від розкрадання енергоспоживання;
- мати сертифікацію використання в Україні і ДТЕК.

На підставі наведених вище вимог вибираємо лічильник електроенергії типу NIK 2104-02.20P1T.

Дані лічильники електричної енергії знаходяться на поверхових майданчиках, де знаходяться по 4 точки обліку. Лічильники підключаються до розгалужувача інтерфейсу RS485. На підставі прийнятих приладів обліку електроенергії приймаємо розгалуджувачі інтерфейсів RS 485 типу NIK КК-01-02. Даний комутаційний контролер призначений для забезпечення передачі даних між лічильниками електроенергії і контролером збору даних і має наступні технічні характеристики наведені в таблиці 8.1.

Схема підключення лічильників NIK 2104-02.20P1T електроенергії до розгалоджувачів по інтерфейсу RS 485 наведена на рисунку 8.22

Данні від комутаційного контролеру по інтерфейсом RS 485 надходять до контролеру збору даних ПЗПД з вбудованим модемом GSM\GPRS каналу.

Таблиця 8.1 - Технічні характеристики розгалужувача інтерфейсу RS 485 типу NIK KK-01-02

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга живлення, В	220
Робочий діапазон напруг, В	143...253
Потужність споживання, Вт	5
Струм споживання, мА	30
Інтерфейс	RS485
Температурний діапазон, °С	-45...80

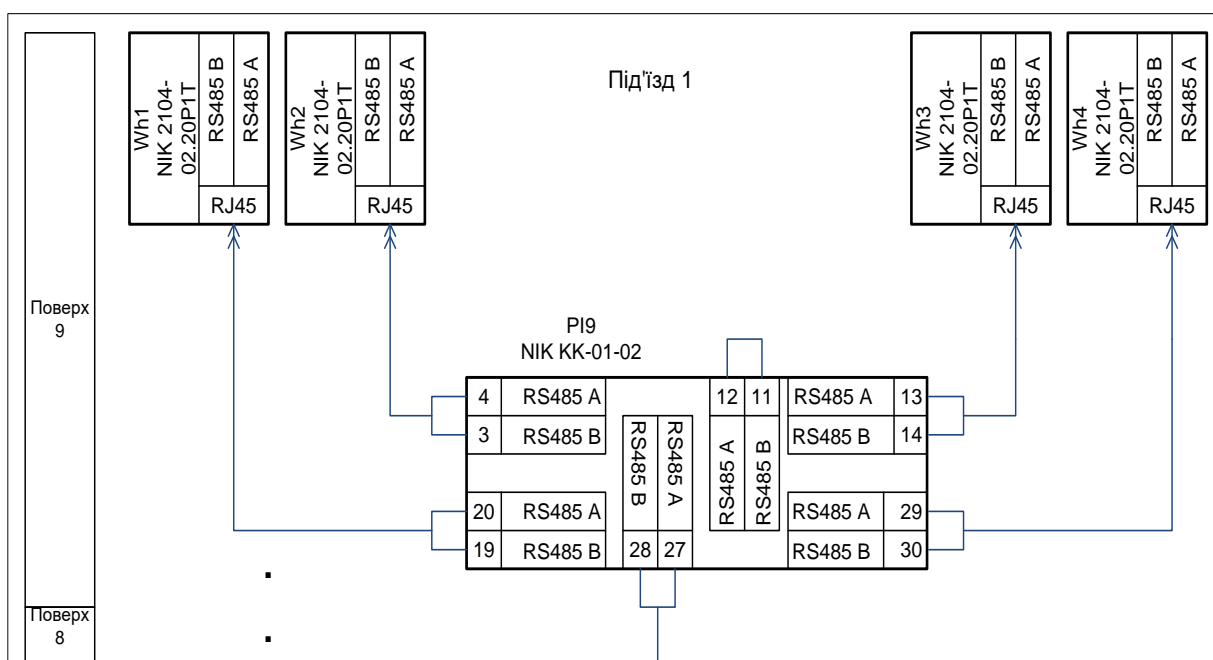


Рисунок 8.22 – Схема підключення лічильників електроенергії до розгалужувачів по інтерфейсу RS 485

GSM-шлюз призначений для організації віддаленого доступу до пристрою або групи пристроїв, оснащених послідовними інтерфейсами RS-485. Маючи той же тип інтерфейсу, він включається в мережу пристроїв, об'єднаних загальним інтерфейсним кабелем і забезпечує дистанційний доступ до кожного приладу даної мережі по каналу. При цьому пристрої можуть відрізнятися за типами, протоколам і параметрам зв'язку. В якості ПЗПД вибираємо контролером збору даних NIK KC-02-06 технічні характеристики якого наведені в таблиці 8.2.

Схема підключення лічильників NIK 2104-02.20P1T електроенергії до контролером збору даних NIK KC-02-06 через розгалужувачі по інтерфейсу RS 485 наведена на рисунку 8.23.

Таблиця 8.2 - Технічні характеристики ПЗГД типу NIK KC-02-06

Найменування параметру	Значення
Максимальна кількість лічильників, що можуть одночасно з'єднуватись з контролером	1000
Об'єм енергонезалежної пам'яті, МБ	300
Об'єм оперативної пам'яті, МБ	60
Частота центрального процесора, МГц	180
Робоча частота радіо модуля, ГГц	2,4
Робочий діапазон GSM/GPRS модему, МГц	900/1800/1900
Вихідна потужність радіо модуля, dBm	+17
Номінальна напруга живлення, В	220
Робочий діапазон напруг, В	143...420
Потужність споживання, Вт	20
Струм споживання, мА	50
Інтерфейс	RS485
Температурний діапазон, °С	-45...80

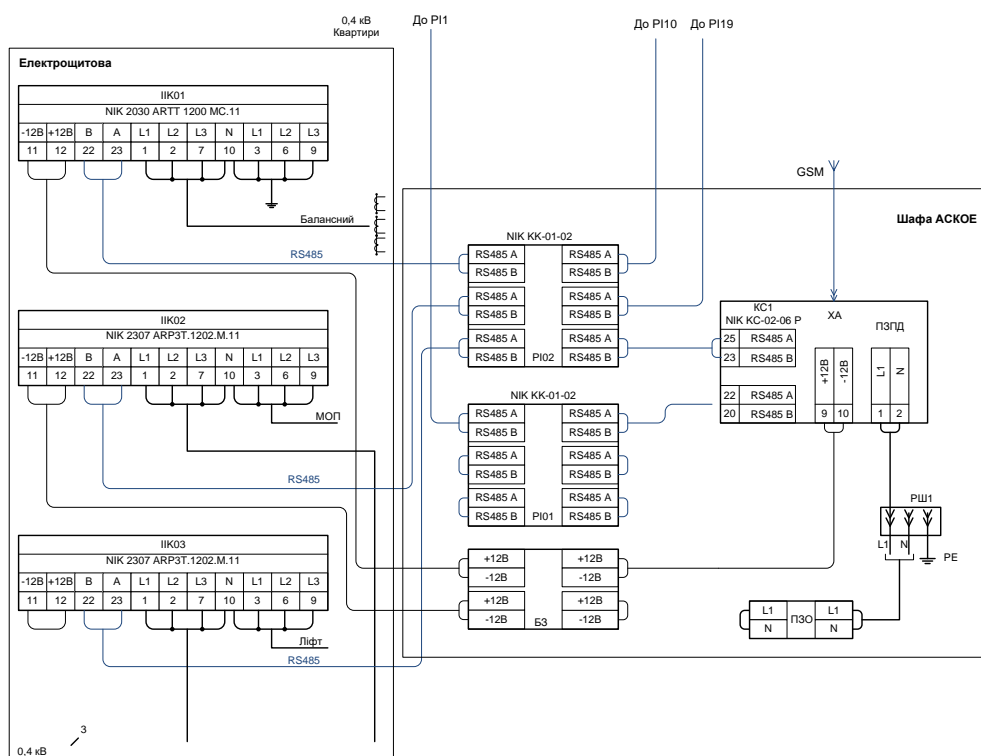


Рисунок 8.23 – Схема підключення контролера збору даних NIK KC-02-06

8.4 Апаратна реалізація АСКОЕ трансформаторної підстанції

Згідно з структурною схемою (див. рис. 8.21) апаратна реалізація АСКОЕ трансформаторної підстанції включає в себе:

- трьохфазні цифрові лічильники електричної енергії зі струмовим трансформаторним підключенням і вбудованим інтерфейсом: RS485, PLC або радіо каналом;

- розгалоджувачі інтерфейсу RS485;

- пристрій збору і передачі даних (ПЗПД) з каналом передачі даних по GSM / GPRS або альтернативних з використанням радіо-каналів, Ethernet.

Розташування лічильників електричної енергії у трансформаторних підстанціях зображено на рисунку 8.24

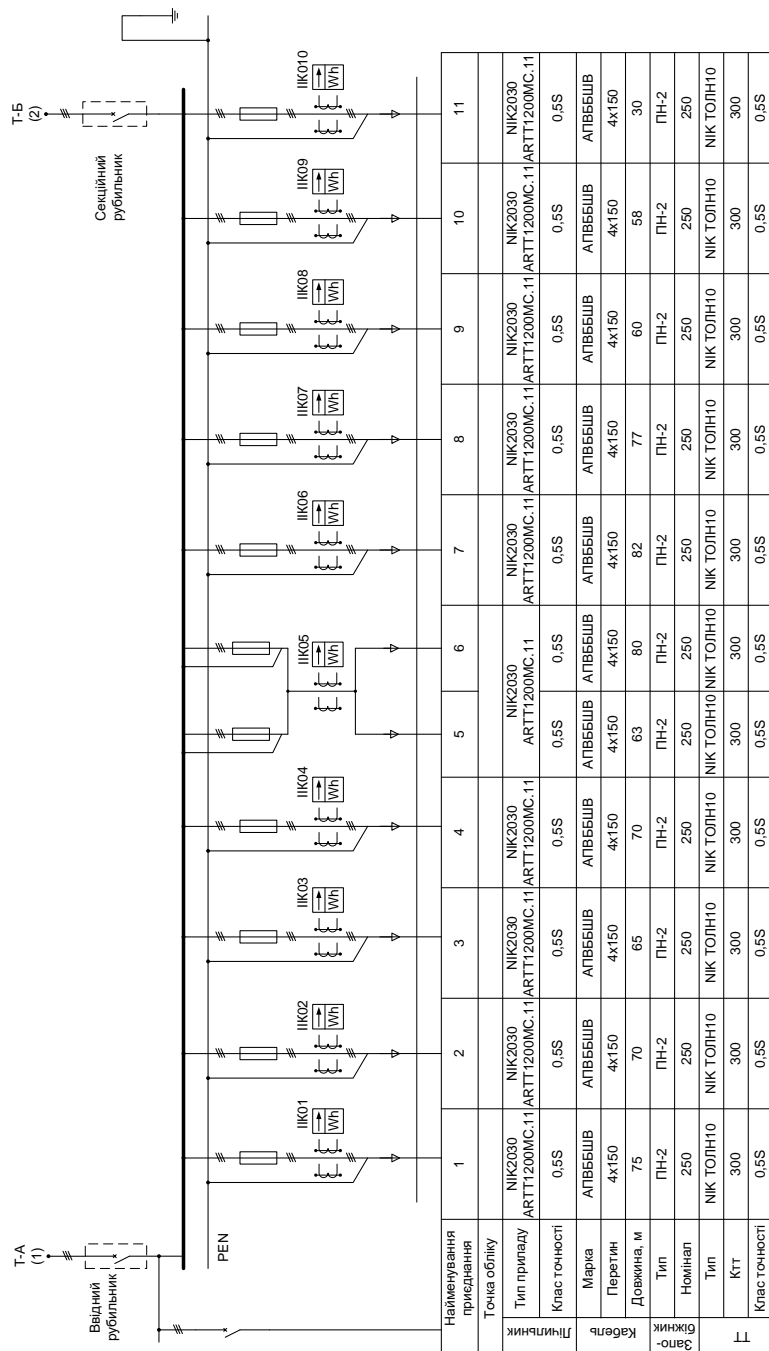


Рисунок 8.24 - Розташування лічильників електричної енергії у трансформаторних підстанціях

Дані лічильники електричної енергії знаходяться безпосередньо у трансформаторній підстанції. Лічильники як у наступному випадку підключаються до розгалужувача інтерфейсу RS485 типу NIK KC-01-02 через який забезпечується передача даних між лічильниками електроенергії і контролером збору даних NIK KC-02-06 і має наступну схему підключень зображену на рисунку 8.25.

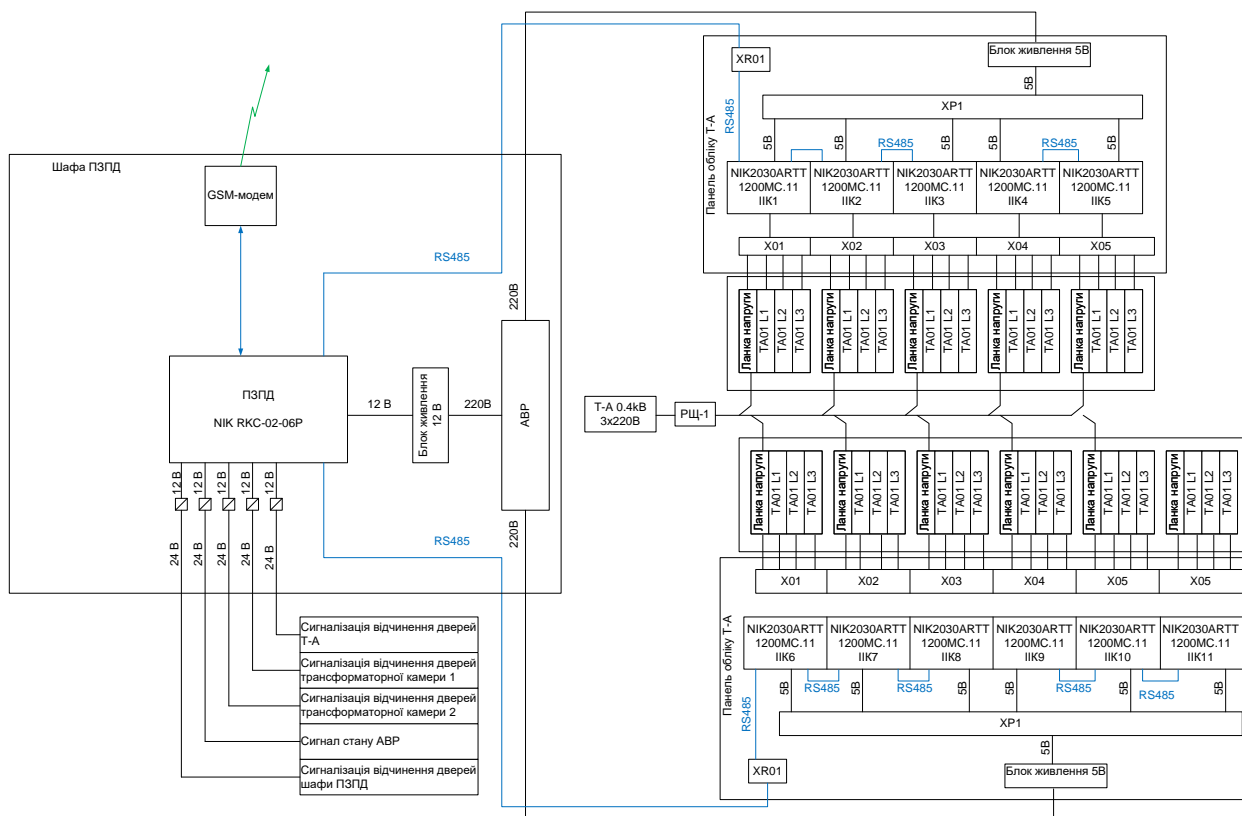



Рисунок 8.25 – АСКОЕ трансформаторної підстанції

Розроблена за даним принципом АСКОЕ має наступні переваги:

- 1) доступна вартість обладнання і монтажу: використовується мінімум функціональних блоків і мінімальна довжина проводів, що досягається шляхом використання паралельного принципу підключення лічильників до загальної лінії;
- 2) надійність: вся інформація про споживання ресурсів до її введення в ПК зберігається в незалежній пам'яті лічильників. У разі відключення живлення мережі реєстрація даних триває. Відсутність проміжних блоків накопичення інформації;
- 3) Використання апаратних засобів передачі даних за протоколом RS-485 виключає вплив наведень, перешкод та іншого при передачі даних;
- 3) зручність і простота обслуговування: людям, налаштовують і обслуговують систему;
- 4) використання адаптера 232/485 дозволяє зчитувати інформацію в ПК прямо на місці. У разі наявної вільної телефонної лінії



зручно передавати інформацію на віддалений комп'ютер через звичайний телефонний модем. У разі, якщо телефонна лінія відсутня, зручно передавати інформацію через GSM-модем.

Використана література

- 1 . Albus J. S., Meystel A. M. Intelligent Systems: Architecture, Design, and Control / Wiley, New York, 2002.
- 2 A. P. Engelbrecht. Computational Intelligence: An Introduction / Wiley, Chichester, U.K., 2002.
- 3 Badiru A. B., Cheung J. Y. Fuzzy Engineering Expert Systems with Neural Network Applications / John Wiley, New York, NY, 2002.
- 4 Апостолюк В. О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій [Текст] / В. О. Апостолюк, О. С. Апостолюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с.
- 5 Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навчальний посібник / В. М. Антоненко, С. Д. Мамченко, Ю. В. Рогушина. – Ірпінь : Національний університет ДПС України, 2016. – 212 с. ISBN 978-966-337-418-5
- 6 Інтелектуальні системи управління: Експертні системи - основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.
- 7 Giese H., Rumpe B. Science and Engineering of Cyber-Physical Systems (Dagstuhl Seminar 11441), Dagstuhl Reports, vol. 1, no. 11, pp. 1–22, 2012.
- 8 Conti M. Looking ahead in pervasive computing: challenges and opportunities in the era of cyber-physical convergence,” Pervasive and Mobile Computing, 2011.
- 9 Sha L., Gopalakrishnan S. Cyber-physical systems: A new frontier, Machine Learning in Cyber Trust, pp. 3–13, 2009.
- 10 Horváth I., Gerritsen B. Cyber-physical systems: Concepts, technologies and implementation principles, in Tools and Methods of Competitive Engineering Symposium (TMCE), 2012, pp. 19–36.
- 11 Lee E., “Computing needs time,” Communications of the ACM, vol. 52, no. 5, pp. 70–79, 2009.