

І. Г. Цмоць, А. Є. Батюк, А. В. Яворський, Т. В. Теслюк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизованих систем управління

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ “РОЗУМНОГО ПІДПРИЄМСТВА”

© Цмоць І. Г., Батюк А. Є., Яворський А. В., Теслюк Т. В., 2018

Визначено основні завдання для проведення моніторингу технологічних процесів на підприємстві: збір, збереження, візуалізація, попереднє аналітичне та інтелектуальне опрацювання технологічних даних у реальному часі. Сформовано вимоги та вибрано принципи розроблення системи моніторингу технологічних процесів на підприємстві, основними з яких є модульність, системна інтеграція, відкритість та сумісність. Розроблено систему моніторингу технологічних процесів на підприємстві, основою якої є безпроводні сенсорні мережі та мікроконтролерні засоби, які забезпечують збір та опрацювання технологічних даних у реальному часі.

Ключові слова: моніторинг, реальний час, технологічні процеси, “розумне підприємство”, цифрова економіка.

It is determined that the main tasks for the monitoring of technological processes at an enterprise are the collection, storage, visualization, preliminary analytical and intellectual processing of technological data in real time. The requirements have been formed and the principles of developing a monitoring system for technological processes in the enterprise have been selected, the main ones are modularity, system integration, openness and compatibility. The system of monitoring of technological processes at the enterprise was developed based on wireless sensor networks and microcontrollers, which provide collection and processing of technological data in real time.

Key words: monitoring, real time, technological processes, “smart enterprise”, digital economy.

Постановка проблеми

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасних підприємств є розроблення та використання вискоєфективних інтелектуальних систем для управління економічними, виробничими і технологічними процесами в реальному часі. Для забезпечення такого управління необхідно використовувати технології баз і сховищ даних, інформаційно-комунікаційні технології та інтелектуальні інформаційні технології, які в поєднанні із засобами інтернету речей забезпечують моніторинг роботи обладнання і людей у режимі реального часу. Такі системи управління є основою “розумного підприємства” цифрової економіки, розвиток якої пов’язаний з інформаційно-комунікаційними технологіями, розвитком інформаційного суспільства і його послідовним переходом до суспільства знань. Основною концепцією “розумного підприємства” є забезпечення високої ефективності та динамічності реалізації складних завдань за мінімальних затрат.

Одним із напрямів розвитку “розумного підприємства” є автоматизація моніторингу роботи обладнання і персоналу в реальному часі. Основною вимогою, що ставиться до засобів моніторингу, є мобільність, яка повинна забезпечувати можливість доступу до необхідної інформації у будь-який час з будь-якого місця за допомогою різних засобів. Для такого моніторингу використовують мініатюрні мобільні пристрої, мережі давачів, безпроводні мережі, супутникову навігацію, хмарні технології та сховища даних. Засоби моніторингу повинні забезпечувати

спостереження і прогнозування всіх стадій виробничого процесу з метою підвищення ефективності внесенням необхідних поправок у реальному часі.

Із зростанням конкуренції між підприємствами питання моніторингу стає все актуальнішим. Здебільшого відсутність моніторингу технологічних процесів на підприємстві зумовлена тим, що на стадії проектування не планували впроваджувати такі системи через різноманітні причини, зокрема фінансові. Як наслідок, виникає проблема нераціонального використання ресурсів, що, своєю чергою, призводить, зокрема, і до низької енергоефективності в діяльності підприємстві, а також до проблеми прийняття неефективних управлінських рішень через відсутність актуальних, достовірних і необхідних даних. Однією з основних переваг моніторингу загалом є не лише забезпечення постійного контролю за станом об'єкта, але й можливість залучення технологій передбачення та інтелектуального аналізу даних для покращення технологічних процесів і функціонування підприємства загалом.

Тому актуальною проблемою є розроблення системи моніторингу роботи обладнання та персоналу в реальному часі з використанням сучасних інтелектуальних та інформаційно-комунікаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах [1, 2] розглянуто нові підходи до управління підприємством за умов високої динаміки зміни виробничо-технологічних та ділових процесів цифрової економіки, результатом чого була запропонована технологія створення “розумних” підприємств як виробничої інновації, основаної на високому рівні знань про систему, високопродуктивних методах інтелектуалізації процесів управління і моделях образного мислення. Крім цього, запропоновано використання інтелектуальних сенсорних систем як технічної основи “розумного підприємства” цифрової економіки. Проте у вищезгаданих працях не надано конкретних прикладів реалізації запропонованих рішень.

У працях [3, 4] запропоновано архітектури багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону та системи управління енергоефективністю технологічних процесів на підприємстві, а також розглянуто структуру підприємства, яка відповідає критеріям “розумного” і передбачає рівень збору даних та управління виконавчими механізмами, що є основою моніторингу.

У роботах [5–8] розглянуто сучасні мікроконтролери та мікроконтролерні системи, програмовані логічні контролери, давачі, провідні та безпроводні засоби зв'язку, які можна використовувати для збору, накопичення та опрацювання даних.

Наведені вище роботи частково розкривають питання моніторингу технологічних процесів на підприємствах, проте мало уваги приділено питанням розроблення системи моніторингу на основі готових апаратно-програмних компонентів.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розроблення структури системи моніторингу технологічних процесів “розумного підприємства” та вибору апаратно-програмних компонентів для її синтезу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити перелік завдань для системи моніторингу технологічних процесів на підприємстві;
- сформулювати вимоги та вибрати принципи розроблення системи моніторингу технологічних процесів на підприємстві;
- розробити структуру та вибрати апаратно-програмні засоби для синтезу системи моніторингу технологічних процесів на підприємстві.

Виклад основного матеріалу

Завдання моніторингу технологічних процесів “розумного підприємства”. Моніторинг технологічних процесів “розумного підприємства” повинен розв'язувати такі завдання:

- збір технологічних даних у реальному часі;
- збереження та попереднє опрацювання даних з використанням хмарних технологій;
- аналітичне та інтелектуальне опрацювання даних;
- візуалізація накопичених даних про технологічні процеси і подання результатів опрацювання даних у вигляді графіків і діаграм;
- формування сигналів управління для виконавчих механізмів;
- прийняття управлінських рішень для управління технологічними процесами;
- формування звітів про стан технологічного процесу.

Вимоги та принципи розроблення системи моніторингу технологічних процесів. Для упровадження моніторингу технологічних процесів на підприємстві необхідно розглянути дві складові: апаратну та програмну.

В апаратну частину входять пристрої двох напрямів: безпосередньо засоби для накопичення інформації про технологічний процес – давачі, а також пристрої, які будуть отримувати зібрану інформацію, обробляти її та передавати на інші рівні управління. Пропонується використовувати як дротові, так і бездротові технології для взаємодії між цими компонентами. Апаратні компоненти, які використовують для збору та попередньої обробки даних, повинні забезпечувати розв'язання задач у реальному часі. Крім цього, є ще низка вимог, які необхідно врахувати під час вибору апаратних компонент: масогабаритні характеристики, оскільки комп'ютерні компоненти можуть бути розміщені безпосередньо біля давачів і виконавчих механізмів, а також високі вимоги до споживаної потужності, живучості та надійності. Зменшення масогабаритних характеристик, енергоспоживання, підвищення надійності та швидкодії комп'ютерних компонентів можна досягти, реалізуючи їх у вигляді систем на кристалі (SoC) та надвеликих інтегральних схем (НВІС). Програмна складова рішення повинна стабільно підтримувати високонавантажені обчислення, працювати за принципом асинхронності та бути побудованою з використанням відкритого програмного забезпечення.

Розробляючи рішення моніторингу, потрібно звернути увагу на вже готові апаратні та програмні засоби, оскільки розроблення та виготовлення нових потребує значних коштів і часу. Під час вибору компонентів необхідно враховувати множину факторів, а саме: інформацію про готові апаратно-програмні компоненти, їх технічні характеристики, відповідність інтерфейсів стандартам, можливості їх покупки тощо.

Розроблення засобів моніторингу повинно ґрунтуватися на таких принципах:

- системної інтеграції, що використовує як горизонтальну, так і вертикальну інтеграцію компонентів моніторингу технологічного процесу;
- інтеграції комп'ютерних, комунікаційних і програмних компонентів;
- модульності, який передбачає використання функціонально завершених компонентів з виходом на стандартний інтерфейс;
- відкритості, за яким запропоноване рішення передбачає можливості нарощування та оновлення функцій;
- сумісності, який передбачає використання стандартних провідних і безпровідних інтерфейсів для зв'язку між компонентами.

Розроблення структури та вибір апаратно-програмних компонентів системи моніторингу технологічних процесів на підприємстві. Під час моніторингу роботи підприємства, зокрема і технологічних процесів, формується первинна інформація, яка попередньо опрацьовується, накопичується та надходить на засоби контролю. Ця інформація може бути використана для формування сигналів для прийняття різнорідних управлінських рішень. Проаналізувавши типові виробничі технологічні процеси діючого виробництва, наведемо низку особливостей, які необхідно враховувати під час розроблення рішення моніторингу технологічних процесів:

- бажано застосовувати технології, прості в розгортанні та підтримці;
- архітектура рішення має бути відкрита, з можливістю масштабування, оскільки кількість точок вимірювання параметрів може змінюватися;

- апаратна частина системи повинна розроблятися на основі сучасних типових рішень для забезпечення простоти та низької вартості;
- необхідне широке застосування базових телекомунікаційних протоколів.

За принципом роботи технічною основою для моніторингу можуть бути безпроводні сенсорні мережі. І хоча мережі такого типу не є новинкою, останнім часом використовується все більше рішень у різних сферах людської діяльності, у яких використовуються сенсорні мережі. В контексті інтернету речей сенсорні мережі володіють такими важливими властивостями, як самоорганізація і адаптивність до змін навколишніх умов та інфраструктури, а апаратне забезпечення бездротових вузлів і протоколи мережевої взаємодії між ними оптимізовані за енергоспоживанням для забезпечення тривалого терміну експлуатації системи з автономними джерелами живлення. В інтелектуальних сенсорних системах функції сенсорів і їх інтерфейсів об'єднано в загальну систему, яка здійснює первинне перетворення параметра середовища, формування електронного сигналу, аналого-цифрове перетворення, сполучення з шиною і обробку даних. У цю сукупність можуть входити також функції вищого ієрархічного рівня, наприклад, самотестування, автокалібрування, оцінка та ідентифікація даних. Для сенсорної системи, в якій застосовують функціонально складні компоненти, наприклад, мікроконтролери, персональні комп'ютери, а також сенсорні інтерфейси, використання пам'яті в мікроконтролері дає можливість акумулювати дані, отримані від декількох сенсорів, протягом тривалого періоду. У загальному випадку бездротова сенсорна мережа – це автономна самоорганізовувана система, яка є розподіленою та складається з малогабаритних інтелектуальних (не завжди) сенсорних пристроїв, які обмінюються інформацією по бездротових каналах зв'язку. Сенсорна мережа має чотири базових компоненти [2]:

1. Сукупність сенсорів (просторово розподілених або локалізованих).
2. Мережу, в яку об'єднані використовувані сенсори (зазвичай, але не завжди, безпроводну).
3. Центральний вузол збору інформації.
4. Сукупність обчислювальних ресурсів для зіставлення даних, аналізу подій і вилучення інформації.

У цьому контексті обчислювальні елементи вважаються частиною сенсорної мережі: фактично ж деякі обчислення можуть здійснюватися безпосередньо всередині вузлів мережі – самих сенсорів або назовні. Обчислювальна та комунікаційна інфраструктура сенсорних мереж найчастіше доволі специфічна, орієнтована на конкретну сферу застосування.

Описані вище структура і принцип роботи безпроводних сенсорних мереж частково допомагають вирішити проблему моніторингу технологічних процесів. Проте для дотримання всіх вимог, поставлених перед розробкою, потрібно ввести деякі зміни в структуру та принцип роботи цих мереж.

Для забезпечення моніторингу технологічних процесів на підприємстві у реальному часі розроблена структура системи, яка наведена на рис. 1.

Система моніторингу технологічних процесів на підприємстві складається зі сховища даних у хмарному сервісі, підсистеми збору технологічних даних і аналітичної підсистеми. Основою підсистеми збору технологічних даних є розподілена безпроводна сенсорна мережа, яка складається з просторово розподілених датчиків, засобів зв'язку та мікроконтролерних засобів. Всередині кожного вузла мережі є необхідний набір засобів для здійснення моніторингу: різноманітні датчі/пристрої, а також вузол збору інформації та управління, який координує роботу конкретного вузла мережі.

Сховище даних у хмарному сервісі має відкриті інтерфейси для доступу та публікації інтегрованих даних, управління якими здійснюється хмарним сервісом. Доступ до цих даних може отримати будь-який користувач мережі інтернет за допомогою публічних, документованих інтерфейсів доступу, які надає хмарний сервіс. За накопичення даних у хмарному сервісі безпосередньо відповідає підприємство. Технологічні дані з підприємства записуються у сховище даних у хмарному сервісі за допомогою інтерфейсів, які базуються на HTTP протоколі. Для роботи зі сховищем даних у хмарному сервісі запропоновано використати інтерфейс з HTTP REST протоколом, який є простим і уніфікованим інтерфейсом для роботи у мережі. Цей інтерфейс

забезпечує користувачам можливість як напряму публікувати чи читати дані із сервісу, так і робити запити на керуючі дії. Прикладом таких дій може бути запит на встановлення сервісом потокового читання даних на основі TCP сокетів. Сервіс може надавати файлові інтерфейси для публікації файлів з даними. Такими інтерфейсами можуть бути FTP сервери, локальні файлові системи чи хмарні файлові системи, наприклад, такі як AWS S3. Реалізувати сховища даних у хмарному сервісі можливо за допомогою популярних хмарних сервісів, таких як AWS, Azure і Google Cloud.

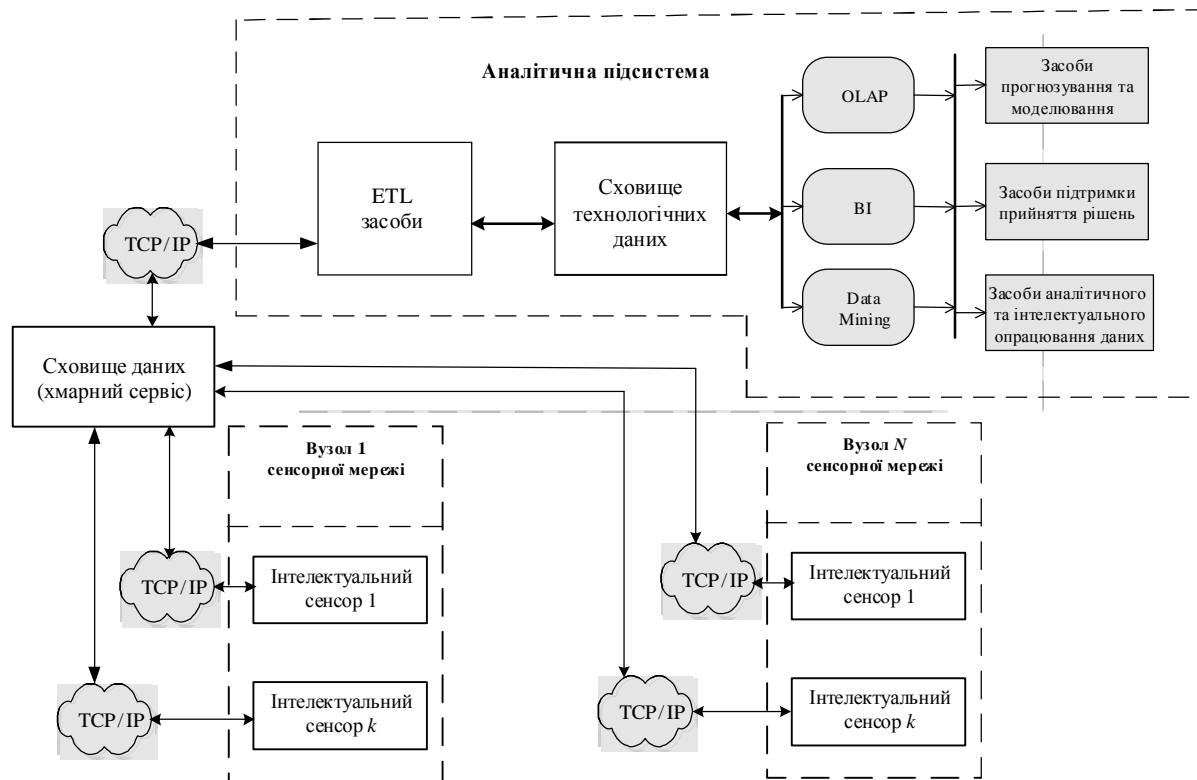


Рис. 1. Система моніторингу технологічних процесів на підприємстві:

TCP/IP – стек протоколу обміну; ETL – виймання, перетворення та завантаження (Extract, Transform and Load); OLAP – інтерактивна аналітична обробка (online analytical processing); BI – бізнесова аналітика (Business Intelligence); N – кількість вузлів сенсорної мережі

Аналітична підсистема складається зі сховища технологічних даних, засобів ETL, аналітичного та інтелектуального опрацювання даних, прогнозування та моделювання і підтримки прийняття рішень.

Сховище технологічних даних надає OLAP та BI засоби, які забезпечують опрацювання і візуалізацію даних. Для реалізації та надання доступу до OLAP технології у сховищі використовують OLAP сервери. Користувачі можуть отримати доступ до цих засобів як прямо через інтерфейси, так і через програмні додатки (десктопні, веб чи мобільні). Сховища даних можна будувати на основі Big Data технологій, які забезпечують можливість ефективно зберігати, опрацьовувати та надавати доступ до великих об'ємів даних у розподіленому режимі. Крім того, ці технології забезпечують ефективне опрацювання неструктурованих даних.

Для попереднього опрацювання даних із давачів і управління виконавчими механізмами доцільно використовувати максимально прості апаратні засоби, виконані у вигляді готових промислових компонентів. Для створення цього рівня системи моніторингу технологічних процесів варто зосередити увагу на однокристальних мікроконтролерах, SoC та ПЛІС.

Клас однокристальних мікроконтролерів, на основі яких виготовляють доступні модулі для створення широкого кола систем, представлений сьогодні засобами фірм ST Microelectronics, Atmel, STMicro, Microchip, TI та інших. Це, як правило, восьмибітні програмовані мікроконтролери з архітектурою RISC або CISC і тактовою частотою у десятки МГц, вбудованим ОЗП, Flash-

пам'яттю, Еергом та периферією, що підтримує інтерфейси UART, SPI, CAN, I2C. Обсяг вбудованої пам'яті для зберігання даних та програм невеликий і забезпечує реалізацію простих функцій вимірювання, передавання даних по відповідному інтерфейсу та елементарного керування. До переваг цих мікроконтролерів належить насамперед низька вартість готових промислових модулів на їх основі, відлагоджувальних плат, програматорів та налагоджувачів. Останнім часом на ринку з'явилися 32-бітні мікроконтролери та готові модулі на їх основі, наприклад, на основі ARM архітектури компанії ST Microelectronics. Тактова частота у сотні МГц, ОЗП близько сотень Кбіт, вбудована Flash-пам'ять та інтерфейси UART, SPI, I2C, CAN забезпечують створення засобів збору даних та управління, що дають змогу реалізувати достатньо складні алгоритми обробки. Вказані 8- і 32-бітні мікроконтролери забезпечують легку інтеграцію у систему різноманітних давачів і засобів керування, оскільки містять основні промислові інтерфейси.

Для створення мікропрограм, як правило, застосовують мови C, C++ та асемблер. Для деяких мікроконтролерів розроблено безкоштовні бібліотеки драйверів периферії та програмний фреймворк (software framework), що істотно полегшує створення програмного забезпечення.

Останнім часом засоби передавання даних на підприємствах створюють на основі технологій Ethernet та Wi-Fi, що зумовлено доступністю та широкою номенклатурою кабельних систем, активного і пасивного мережевого обладнання. Технологія безпроводних мереж Wi-Fi найзручніша в умовах виробництва, коли ставляться вимоги мобільності, простоти встановлення і використання (звичайно, за умови врахування електромагнітної сумісності з наявним технологічним обладнанням і за відсутності завад з його боку та впливу на функціонування мережі). Перевагами є гнучкість архітектури мережі з можливістю динамічної зміни топології мережі, швидкість проектування і реалізації, що критично у разі жорстких вимог до тривалості побудови мережі, відсутність потреби у розводці та прокладанні кабелів, підтримка стека телекомунікаційних протоколів TCP/IP. Для передавання даних по безпроводній мережі необхідний спеціальний радіомодем, щоб забезпечити функціонування фізичного та каналного рівнів моделі OSI у безпроводній мережі, а для підтримки старших рівнів моделі OSI продуктивності цього мікропроцесора недостатньо внаслідок складних обчислень. Сьогодні випускають спеціалізовані пристрої – модулі RS232-Wi-Fi, проте їх вартість може бути порівнюваною з вартістю основної мікроконтролерної системи [9].

Однак протягом останніх років з'явився новий клас спеціалізованих мікроконтролерів, що забезпечують повну підтримку Wi-Fi і стека протоколів TCP/IP. Крім того, на кристалі розміщується доволі потужний процесор, ОЗП та доволі розвинена периферія з підтримкою протоколів SPI, I2C та UART. На основі такого пристрою можна створити повноцінний безпроводний пристрій, який зможе отримати дані з давача, здійснити попередню обробку та передати одержану інформацію за допомогою телекомунікаційних протоколів на локальний або віддалений сервер. Такі засоби дали новий поштовх розвитку технології інтернету речей. Крім того, на основі вказаних спеціалізованих мікроконтролерів вже пропонують готові промислові модулі, що можуть знайти застосування під час реалізації завдань моніторингу. Серед таких засобів виділимо мікроконтролер NL6621 фірми Nufront [10], RTL8710 фірми Realtek [11], ESP8266 фірми Espressif [12]. Наприклад, ESP8266 забезпечує повну підтримку функцій Wi-Fi (режим хоста та точки доступу із забезпеченням протоколів аутентифікації WEP та WPA/WPA2) та стека протоколів TCP/IP. ESP8266 має вбудований 32-бітний RISC процесор Tensilica Xtensa LX106 з тактовою частотою 80 МГц, 64 кБ ОЗП команд та 96 кБ ОЗП даних, підтримує зовнішню Flash-пам'ять зберігання мікропрограм від 512 кБ до 16 МБ. Чип забезпечує підтримку інтерфейсів UART, SPI, I2C та містить одноканальний 10-бітний АЦП.

Для створення мікропрограм доступний програмний фреймворк, бібліотеки підтримки широкого кола давачів. Для розроблення можна застосовувати мову C, JavaScript. У деяких випадках розроблення спрощується завдяки використанню інтерпретатора мови LUA.

Розглянутих вище однокристальних мікроконтролерів іноді недостатньо для розроблення вузла збору інформації та управління, тому для реалізації складніших завдань роботи з даними можна застосувати одноплатні комп'ютери на основі спеціалізованих процесорів SoC (система-на-чипі). Одноплатний мікрокомп'ютер є перспективною платформою для систем автоматизації, він

має відкриту архітектуру, низьку ціну і використовує операційну систему Linux. Один з перших у цьому класі мікрокомп'ютер Raspberry Pi з'явився у 2012 р. і побудований на системі (SoC) Broadcom BCM2835, в яку входить процесор ARM із тактовою частотою 700 МГц, графічний процесор VideoCore IV, і 512 або 256 МБ оперативної пам'яті, як додаткова пам'ять використовується SD картка [13]. Мікрокомп'ютер випускають у декількох версіях: молодша (А) (тактова частота 700 МГц, 256 МБ ОЗП, один USB-порт), старша (В) (тактова частота до 1,2 ГГц, з Ethernet, до 1 ГБ ОЗП, до 4 USB-портів), з'явилася також дешева версія – Zero (тактова частота до 1 ГГц, 512 МБ ОЗП, один мікро-USB порт). Найостанніша версія 3В побудована на процесорі ARM Cortex-A53 x64, частота 1,2 ГГц, 4 ядра, вбудований WiFi модуль і 1ГБ ОЗП. Raspberry Pi має порти GPIO, підтримку інтерфейсів UART, SPI, I2C, які можна задіяти для під'єднання датчиків та керування.

Протягом останнього часу перелік одноплатних комп'ютерів на SoC значно розширився, це, наприклад, BeagleBone Black на процесорі AM3359 ARM Cortex-A8 фірми Texas Instruments [14]; Intel Edison на процесорі Intel Atom [15]; pcDuino на процесорі ARM A10 фірми AllWinner [16]; Cubieboard2 A20 на процесорі ARM A20 [17], ціла лінійка OrangePI на процесорі H3, H2+ фірми AllWinner [18]. Всі ці одноплатні комп'ютери мають розвинену периферію, до них можна підключити різноманітні датчики та забезпечити роботу в безпроводній мережі.

З погляду розробки це повноцінні Linux системи. Розробляючи їх, застосовують мови С, С++, Python. Проблемою може стати відсутність програмного фреймворка для конкретного одноплатного комп'ютера, однак допомогти вирішити цю проблему може проект Armbian [19], що займається розробленням дистрибутивів на базі Debian для SoC на основі ARM, а кожен комп'ютер вже містить встановлені й готові для використання засоби розроблення.

Для безпосереднього управління виконавчими механізмами використовують програмні засоби DCS – Distributed Control System (розподілена система керування) та PLC – Programmable Logic Controller (програмований логічний контролер).

Важливе питання, яке виникає за наявності великої кількості різнорідних апаратних засобів, полягає в тому, як об'єднати наявні апаратні засоби в одну інфраструктуру та надати зручні інтерфейси для роботи з ними. Однією із пропозицій є розроблення та імплементація власного рішення, проте, беручи до уваги всі вимоги до нього, можна зробити висновок, що це потребуватиме занадто багато фінансових та часових ресурсів. Тому, проаналізувавши ринок, ми виявили чимало готових рішень для згаданої вище проблеми. Наприклад, такі провідні фірми, як Google, Oracle, Amazon, надають рішення для реалізації обміну даними розосереджених мікроконтролерних пристроїв та систем [20]. Нині доволі популярна відкрита платформа обміну даними Device Hive від DataArt. Ця технологія гнучка, масштабована та проста у використанні й забезпечує обмін даними між апаратними компонентами за принципом M2M. Застосування технології Device Hive забезпечує формування комунікаційного середовища, програмний контроль і використання мультиплатформових бібліотек для розроблення засобів віддаленого управління та моніторингу, телеметрії, дистанційного управління та контролю. З технологією Device Hive можна працювати, використовуючи широкий спектр технологій, наприклад “embedded Linux”, Python, бібліотеки С++, протокол JSON, або підключати AVR, Microchip мікроконтролери. Особливістю роботи з Device Hive є передусім організація доступу до мережі, а потім програмування конкретних застосувань, що зменшує тривалість проектування способів передавання даних.

Хоча і Device Hive має доволі широкий спектр функцій і застосувань, беручи до уваги архітектуру запропонованого рішення, необхідний ще один сервер – головний модуль управління мережею, який відповідатиме передусім за організаційні функції, такі як: керування вузлами мережі, візуалізацію даних, управління сповіщеннями. Необхідна аплікація легко реалізується із використанням популярних веб-фреймворків Django, ASP. NET і подібних.

Оскільки накопичується багато даних, необхідне сховище, яке буде легко масштабуватися, з високою пропускнуою здатністю, зручним інтерфейсом для комунікації, а також високою швидкістю виконання операцій зчитування та запису. Ці вимоги задовольняють сховища даних, які використовують для збереження часових рядів. Серед найпопулярніших сьогодні – OpenTSDB, InfluxDB, Prometheus.

Висновки

Рішення для впровадження моніторингу технологічних процесів “розумного підприємства” запропоновано реалізувати, дотримуючись таких принципів: масштабованості, використання готових компонентів і базових проектних рішень, модульності, відкритості та сумісності.

Апаратно-програмні компоненти повинні забезпечувати опрацювання даних у реальному часі з урахуванням обмежень щодо габаритів, енергоспоживання та вартості.

Основою системи моніторингу технологічних процесів на підприємстві є безпроводні сенсорні мережі, які забезпечують збір технологічних даних у реальному часі.

Для програмування одноплатних комп’ютерів/мікроконтролерів доцільно використовувати сучасні засоби розроблення, зокрема редактори та налагоджувальні засоби, які ґрунтуються на принципах середовищ професійного програмування.

Об’єднання давачів, мікроконтролерних систем і виконавчих механізмів між собою провідними та безпроводними каналами та під’єднання їх до мережі Інтернет запропоновано здійснювати за технологію Device Hive, яка у поєднанні з допоміжним програмним рішенням дасть змогу керувати моніторингом технологічних процесів.

1. Гриценко В. И., Тимашова Л. А. “Умное предприятие” как базовый объект цифровой экономики // УСиМ. – 2016. – № 5. – С. 54–66. 2. Гриценко В. И., Тимашова Л. А. Интеллектуальные сенсорные системы – техническая основа “Умного предприятия” цифровой экономики // УСиМ. – 2017. – № 1. – С. 23–24. 3. Цмоць І. Г., Скорохода О. В., Роман В. І. Сховища даних багаторівневих систем управління енергоефективністю // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. – 2016, Вип 77. – С. 192–197. 4. Цмоць І. Г., Теслюк Т. В., Машевська М. В., Теслюк В. М. Модель організації обміну та збереження даних у багаторівневих системах управління технологічними процесами // Науковий вісник Нац. лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2017. – т. 27, № 1. – С. 197–202. 5. Теслюк Т., Цмоць І., Опотяк Ю., Теслюк В. Архітектура багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів, 2017. – № 864. – С. 201–209. 6. Цмоць І., Стрямець С. П., Зербіно Д. Д. Багаторівнева система управління технологічними процесами // Вісник Хмельницького нац. ун-ту, 2016. Технічні науки. – С. 139–145. 7. Медиковський М. О., Цмоць І. Г., Цимбал Ю. В. Інформаційно-аналітична система для управління енергоефективністю підприємств Львова // Актуальні проблеми економіки: наук. екон. журнал. – № 1(175) 2014. – К., 2016. – С. 379–384. 8. Teslyuk Taras, Tsmots Ivan, Teslyuk Vasyly, Medykovsky Mykola and Opotyak Yuriy. Architecture and Models for System-Level Computer-Aided Design of the Management System of Energy Efficiency of Technological Processes at the Enterprise // Advances in Intelligent Systems and Computing II, Advances in Intelligent Systems and Computing 689. Springer International Publishing AG 2018. P. 538–557. 9. Модулі RS232-Wi-Fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.usconverters.com/serial-rs232-pci-card>. 10. Огляд NL6621 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nufrontsoft.com/index.php/project/index/id/30.html>. 11. WiFi модуль RTL8710BN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.realtek.com/products/productsView.aspx?Langid=1&PFid=45&Level=4&Conn=3&ProdID=361>. 12. WiFi модуль ESP8266 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://esp8266.ru/>. 13. Одноплатний комп’ютер Raspberry Pi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.raspberrypi.org/archives/2180>. 14. BeagleBone Black [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://beagleboard.org/black>. 15. Обчислювальна платформа від Intel [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://software.intel.com/en-us/iot/hardware/edison>. 16. AllWinner pcDuino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.linksprite.com/linksprite-pcduino/>. 17. Cubieboard2 is here [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cubieboard.org/2013/06/19/cubieboard2-is-here/>. 18. OrangePi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.orangepi.org/>. 19. Проект Armbrian [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.armbian.com/>. 20. Платформи для реалізації IoT рішень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-platforms/> – iot-device-connectivity-platform.com.