

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр БОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів»

Виконала студентка 3 курсу, групи МІТп-19
(шифр групи)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Оніпко Вікторія Романівна
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

Іван ЛАКТИОНОВ
(підпис)

Рецензент зав. каф. ЕІН, к.т.н., доц. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

Олександр КОЛЛАРОВ
(підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

_____ Олександр БОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
_____ бакалавра _____

Тема: «Розробка комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів»

Спецчастина: _____

Виконавиця, студентка

гр. МІТп – 19

Вікторія ОНІПКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« _____ » 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Онiпко Вікторія Романівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів
керівник проекту (роботи) Лактіонов Іван Сергійович, д.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2022 року № 180

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____
Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз технологічного об'єкту віддаленого моніторингу; постановка завдань і мети роботи; створення структурної схеми інформаційно-вимірювальної технології; опис алгоритмів роботи технології; комп'ютерне моделювання технології; оцінка і аналіз метрологічних характеристик комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології; аналіз отриманих результатів і формулювання висновків.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Опис об'єкта інформаційно-вимірювального моніторингу, аналіз функціональних і метрологічних параметрів прототипу, постановка завдання на розробку	08.05.2022 р.	
2	Розробка структури, обґрунтування алгоритму роботи та вибір апаратних і програмних засобів комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів	28.05.2022 р.	
3	Результати чисельного і комп'ютерного моделювання інформаційно-вимірювальної технології для віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів	11.06.2022 р.	
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві	12.06.2022 р.	

Студент

_____ (підпис)

Вікторія ОНІШКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Іван ЛАКТИОНОВ

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Оніпко, В.Р. Розробка комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів / Development of the computer information-measuring technology on remote monitoring of bulk materials / Випускова кваліфікаційна робота на здобуття ступеня освіти «Бакалавр» зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 62 стор., 29 рис., 18 літ. посилань.

В сьогоденних умовах різних галузей промисловості рекомендованими і доцільними до впровадження і застосування під час зберігання сипких матеріалів є цифрові технології і автоматизовані системи, що виконують адаптивний віддалений аналітичний моніторинг шляхом оперативного і високоточного агрегування вимірювальних даних.

Основні результати: проаналізований об'єкт інформаційно-вимірювального моніторингу; розроблена структура і визначено алгоритмічне забезпечення технології; оцінені кількісні результати придатності до експлуатації, з точки зору метрологічних показників, розробленої технології; виконано чисельне і комп'ютерне моделювання інформаційно-вимірювальної технології, що призначена для віддаленого зонального моніторингу рівня.

Основна мета роботи – розробити структуру і обґрунтувати методики підвищення точності комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, що призначена для віддаленого моніторингу рівня матеріалів. Об'єкт дослідження роботи – структура і алгоритми дії інформаційно-вимірювальної технології задля віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів. Предмет дослідження роботи – методики, програмні та схемотехнічні засоби покращення метрологічних і функціональних показників комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології задля віддаленого моніторингу рівня.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна технологія, рівень, невизначеність, точність, сипкий матеріал, алгоритм, структура.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОПИС ОБ'ЄКТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ, АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОТОТИПУ, ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ.....	11
1.1 Опис об'єкта інформаційно-вимірювального моніторингу та актуальність теми роботи.....	11
1.2 Аналіз методів моніторингу рівня сипких матеріалів.....	13
1.3 Аналіз функціональних і метрологічних параметрів технології-прототипу.....	15
1.4 Опис складових загальної похибки вимірювального моніторингу рівня сипких матеріалів.....	21
1.5 Висновки.....	23
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ, ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА ВИБІР АПАРАТНИХ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	24
2.1 Розробка структурної схеми і формулювання алгоритму роботи комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів.....	24
2.2 Вибір давача, мікроконтролера і засобу бездротового обміну даними до складу комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології.....	30
2.3 Програмні компоненти обробки та індикації даних щодо інформаційно-вимірювального моніторингу рівня сипких матеріалів.....	37
2.4 Висновки.....	40

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	41
3.1 Методика і результати чисельного моделювання метрологічних характеристик комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології.....	41
3.2 Методика підвищення ефективності комп'ютерної інформаційно- вимірювальної технології рівня сипких матеріалів.....	44
3.3 Висновки.....	51
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	56

ВСТУП

Технологічний резервуар або ємність для тривалого зберігання матеріалів і речовин, у тому числі й агресивних дисперсних або сипких, є штучним середовищем. Такі ємності застосовують під час тривалого або короткочасного зберігання за певних виробничих умов. У всьому світі широкої популярності набули габаритні наземні резервуари, до яких завантажуються і потім зберігаються різні за своєю природою речовини: корисні копалини в різному агрегатному стані, хімікати, сільськогосподарська продукція та багато іншого. Від ефективності протікання технологічних процедур завантаження, зберігання і розвантаження в кінцевому випадку залежить ефективність логістичних рішень і всього виробничого процесу конкретного підприємства.

Тому, в сьогоденних практичних випадках, доцільними і рекомендованими до застосування є автоматизовані цифрові пристрої, які реалізують віддалений аналітичний моніторинг шляхом оперативного збору даних під час надійного протікання точної і швидкої вимірювальної процедури, яка, в свою чергу, має реалізовуватись у технологіях і системах з простим монтажем, налаштуванням і подальшим використанням, а також матиме інтегровані адаптивні алгоритми штучного інтелекту, що здатні вирішувати задачі прогнозової аналітики та приймати об'єктивні і доцільні рішення та своєчасно сповіщати у режимі реального часу при виникненні позаштатних і критичних ситуацій.

Основна мета роботи – розробити структуру і обґрунтувати методики підвищення точності комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, що призначена для реалізації віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів.

Щоб досягти зазначену вище мету бакалаврської роботи треба вирішити наступні задачі:

- навести опис і кількісні характеристики об'єкту інформаційно-вимірювального моніторингу, а також навести результати аналізу відносно метрологічних і функціональних параметрів технології, що є прототипом;

– розробити структуру, виконати обґрунтування алгоритмів роботи та реалізувати об’єктивний вибір апаратних й програмних блоків і пристроїв, що входитимуть до складу комп’ютерної інформаційно-вимірювальної віддаленої технології задля оперативного аналітичного моніторингу рівня сипких матеріалів;

– оцінити результати придатності до експлуатації розробленої технології засобами чисельного і комп’ютерного моделювання інформаційно-вимірювальної технології щодо віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів на предмет її метрологічних показників;

– встановити основні кількісні й якісні оцінки розробленої комп’ютерної технології.

Об’єкт дослідження роботи – структура і алгоритми дії інформаційно-вимірювальної технології, що призначена для віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів.

Предмет дослідження роботи – методики, програмні та схемотехнічні засоби покращення метрологічних і функціональних показників комп’ютерної інформаційно-вимірювальної технології задля дистанційного моніторингу рівня сипких матеріалів.

Пояснювальна записка до даної бакалаврської роботи містить наступні структурні елементи: вступна частина, три основні розділи, узагальнюючі висновки по роботі, список використаних літературних джерел та один додаток. Загальний обсяг бакалаврської роботи – 62 сторінки (основна частина – 50 сторінок), 29 рис., 18 літ. посилань, 1 дод.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ, АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОТОТИПУ, ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ

1.1 Опис об'єкта інформаційно-вимірювального моніторингу та актуальність теми роботи

Поняття технологічний резервуар для зберігання речовин і матеріалів із різними характеристиками, у тому числі й сипких (дисперсних), є штучною ємністю, що стиснена середовищем, у якому знаходяться матеріали, та їх використовують для тривалого чи короткочасного зберігання за певних умов. В усьому світі широко використовуваними є габаритні наземні резервуари, що зберігають хімікати, корисні копалини, сільськогосподарську продукцію та інше, як наприклад, наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Приклад зовнішнього вигляду технологічних ємностей для зберігання сипких речовин

Використовувані на сьогодні в широкій практиці ручні методи вимірювання рівня твердих і сипких матеріалів або рідин є трудомісткими, у зв'язку з тим, що фізично резервуари можуть бути розташовані на значних територіях. Тому, в цьому випадку, доречним є застосування автоматичних засобів, що виконують віддалений моніторинг для збору даних у вигляді швидкої й точної вимірювальної процедури, яка реалізується в системах із простою установкою та використанням, а також матиме механізми штучного інтелекту, які здатні приймати об'єктивні рішення та сповіщати у режимі реального часу в разі виникнення такої необхідності. Дані про рівень матеріалу в ємності (рідини в баку) повинні зберігатися в пам'яті системи та мати резервні копії. Додатково сучасні моніторингові системи, в тому числі для отримання даних про рівень, мають надсилатись з промислового мікроконтролера за допомогою бездротових пристроїв, наприклад, GSM-модем, на сервер з можливістю відображення цієї інформації за допомогою інтерактивних веб-сайтів у вигляді графіків (таблиць, діаграм). За умови реалізації подібної організації основних етапів моніторингової процедури у відповідних інформаційно-вимірювальних і комп'ютерних технологіях досягається висока ефективність керування за поточним рівнем матеріалів (речовин), так як відбувається постійна й високоточна оцінка стану, що дозволяє оптимізувати логістичні рішення з поставки та відвантаження продукції і мінімізувати утримання запасів [1].

Також процеси тривалого зберігання речовин (матеріалів) обумовлено значними параметрами споживання енергії. Отже, для зниження (оптимізації) енергоспоживання і збільшення довговічності й надійності за умов використання менших витрат на поточне технічне обслуговування ємностей важливим є ефективне управління живленням вимірювального, а особливо, технічного обладнання. Використання бездротових сенсорних мереж, функціональних і надійних протоколів зв'язку та стабільного універсального програмного забезпечення дозволяє мінімізувати вірогідність виникнення надзвичайних ситуацій. При цьому сьогоднішні темпи і стадії розвитку

бездротових інфокомунікаційних структур характеризуються високою надійністю і оптимальною вартістю, а також використанням малих номіналів споживаних потужностей [2].

На сьогодні автоматизовані й комп'ютеризовані вимірювання рівня матеріалів, як правило, здійснюються за допомогою датчиків, що базуються на фізичному контакті з контрольованим (аналізованим) середовищем. Проте такий підхід є недосить бажаним, адже він може спричинити швидке зношування первинних перетворювачів системи. В даному випадку (особливо в агресивних середовищах) можна і рекомендовано використовувати ультразвукові безконтактні датчики для визначення рівня, які у певній кількості розташовують у певних частинах резервуарів (ємностей). Для отримання точних значень рівня такі сенсори розраховують значення рівня в ємності за показником часу розповсюдження ультразвукової хвилі, що корелює з певними розмірами резервуарів (ємностей) [3].

Таким чином, актуальність досліджень із теми бакалаврської роботи підтверджується необхідністю модернізації технічних контрольно-вимірювальних систем промислових ємностей для зберігання дисперсних матеріалів, що може бути досягнуто за рахунок впровадження сучасних і ефективних інформаційно-вимірювальних технологій рівня сипких речовин. Реалізація цього дозволить здійснювати ефективне і надійне завантаження, відвантаження, зберігання і дозування дисперсних речовин (сипких матеріалів) всередині технологічних ємностей і спеціалізованих резервуарів.

1.2 Аналіз методів моніторингу рівня сипких матеріалів

На сьогоднішній день відомий широкий спектр методів інструментального моніторингу рівня сипких матеріалів, а також відповідних їм датчиків і інших технічних засобів для моніторингу показника рівня в неруйнівному автоматичному режимі. Всі ці методи мають ряд своїх

характерних переваг і недоліків. Найбільш використовувані на сьогодні методи моніторингу рівня наведені на рисунку 1.2 [4].

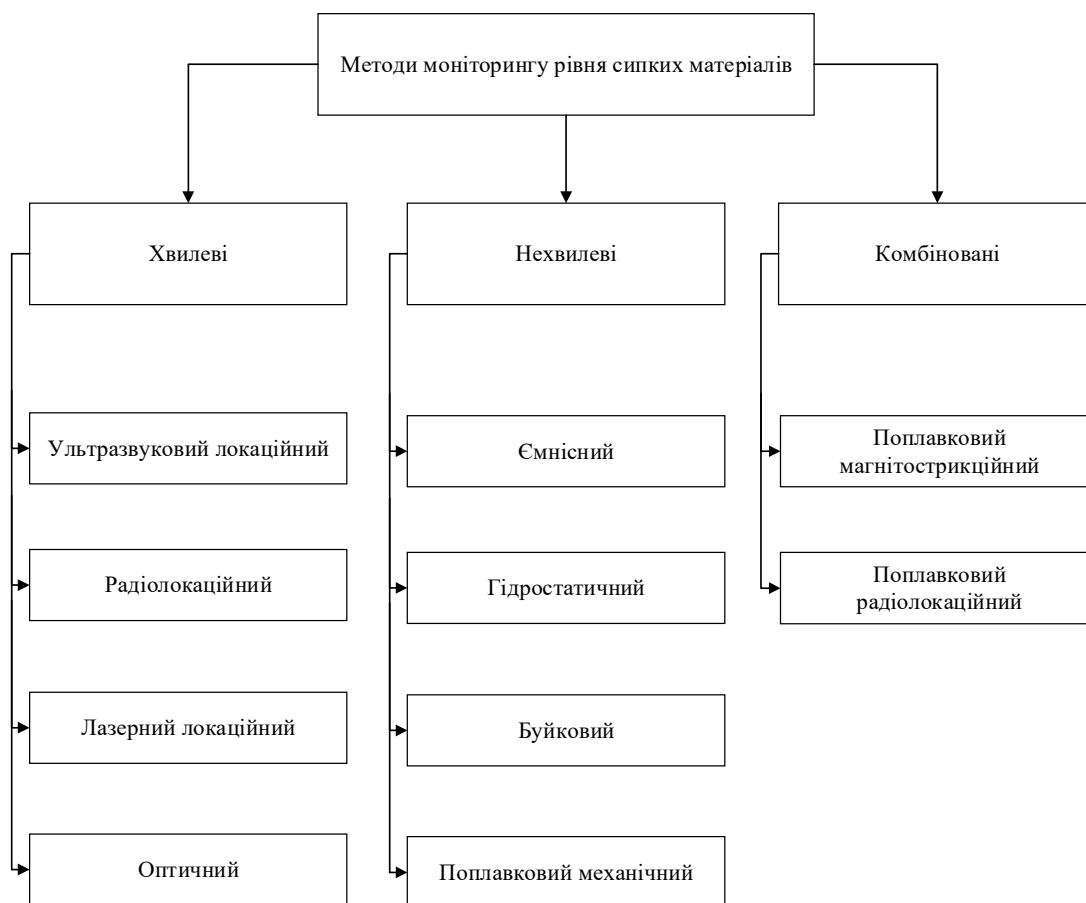


Рисунок 1.2 – Найбільш розповсюджені методи моніторингу рівня сипких матеріалів

Детальний аналіз методів моніторингу рівня [4], які у вигляді схеми представлені на рисунку 1.2, показав, що для умов технологічних доволі габаритних ємностей з урахуванням тривалого зберігання різних видів матеріалів має бути обраний ультразвуковий метод. Цей метод має значну кількість технічних способів реалізації в широкій ціновій категорії датчиків. Базово принцип дії усіх ультразвукових сенсорів рівня полягає в тому, що дані пристрої використовують в якості інформативного сигналу ультразвукові імпульси, які посиляються до поверхні детектованого (контрольованого, аналізованого) середовища передавачем у напрямку матеріалу, а на другому етапі вимірюється параметр часу проходження ультразвукового сигналу від

передавача до матеріалу і в зворотному напрямку. За цим часом після розраховується значення відстані, що і приймається в якості рівня. Принцип вимірювання за допомогою цього методу розкритий графічно на рисунку 1.3.

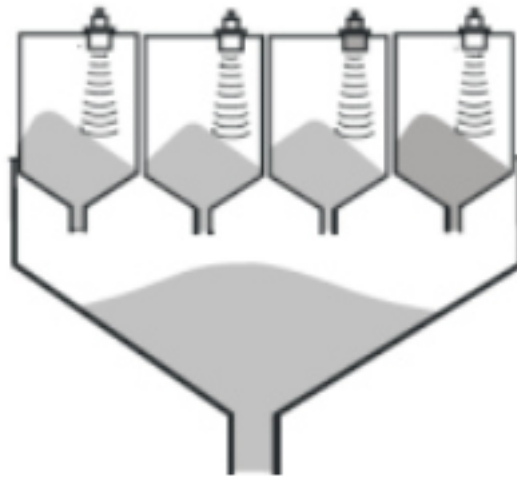


Рисунок 1.3 – Ілюстрація принципу вимірювання сенсорів на базі ультразвукового методу детектування

Отже, обраний ультразвуковий метод для здійснення моніторингу рівня сипких матеріалів буде використовуватись в даній роботі для розробки комп'ютерної інформаційно-вимірювальної моніторингової технології.

1.3 Аналіз функціональних і метрологічних параметрів технології-прототипу

В якості технології-прототипу було детально розглянуто вимірювальну частину системи управління рівнем рідини, яку було створено дослідником у науковій праці [5]. Розробку цього автора умовно можна поділити на чотири базові підсистеми (див. рис. 1.4): мікроконтролер на основі ядра ARM STM32 модифікації F100R8T6B, що використовується для вирішення задачі глобального керування загальною роботою всієї системи та має у своєму

складі АЦП, два модуля USART, а також має програмну підтримку функцій, що дозволяють системі переходити в залежності від конкретних потреб до режиму низького енергоспоживання; ультразвуковий датчик рівня рідини, який виконує задачу детектування глибини в технологічному баку, цей датчик розміщено лицьовою частиною до поверхні аналізованого середовища рідини і підключено за дротовими технологіями до мікроконтролера; модуль передачі на базі протоколу GSM моделі Huawei-MG323B, який використовує послідовний канал синхронного зв'язку і при його налаштуванні на GPRS-режим стає можливою відправка і отримання пакетів даних за бездротовим способом; веб-сервіс, на який виконується відправка даних про вимірювання рівня за допомогою GSM-модуля, і який після цього і певної обробки даних представляє їх графічно на веб-сторінці з доступом через Інтернет. Всі компоненти даної системи узагальнено автором були під час деталізованих досліджень поділені на програмні та апаратні блоки.

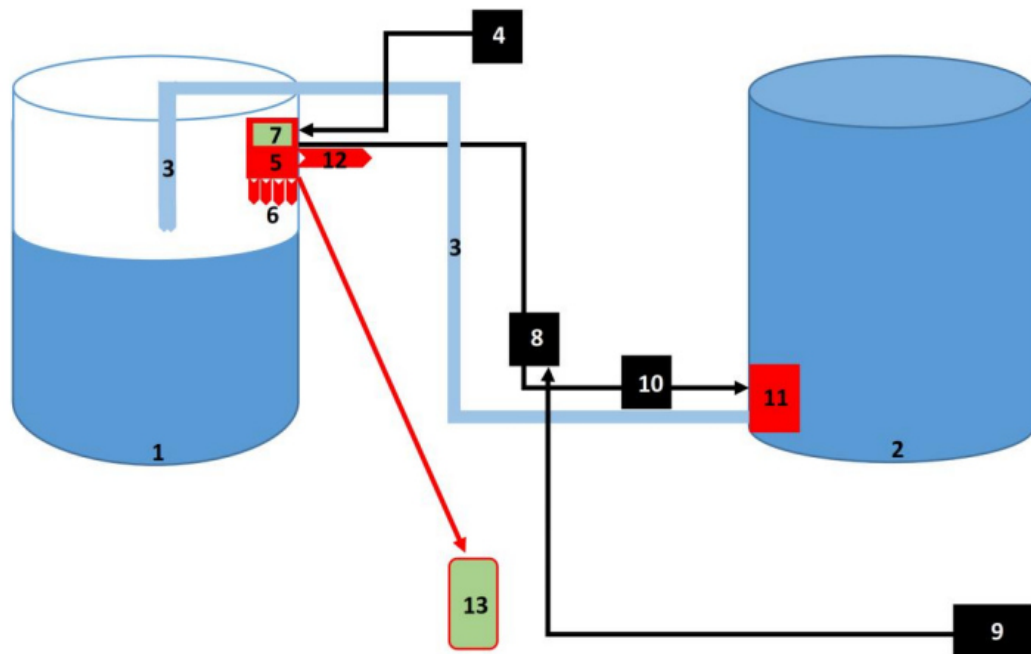


Рисунок 1.4 – Архітектура системи блоку неруйнівного моніторингу рівня речовин у технологічній промисловій ємності [5]

На даному рисунку 1.4 вище позначено:

- 1 – головний резервуар, що аналізується;
- 2 – допоміжна технологічна ємність;
- 3 – труба;
- 4 – джерело постійної напруги для живлення вимірювальної апаратури з номіналами 5 В / 9 В / 12 В;
- 5 – мікроконтролерний обчислювальний пристрій Arduino UNO;
- 6 – датчик рівня моделі HC-SR04 Ultra Sonic;
- 7 – модуль зв'язку типу GSM SIM900;
- 8 – вимикач джерела живлення;
- 9 – джерело змінної напруги живлення силового обладнання з номіналом 220 В / АС;
- 10 – функціональний перетворювач змінного струму (напруги) в постійний;
- 11 – насос;
- 12 – зумер і світлодіодні індикатори;
- 13 – мобільні засоби користувачів.

У своїй роботі [5] автор-дослідник для визначення поточного рівня речовини з подальшим перерахунком цього значення в кількість матеріалу, що зберігається в технологічній ємності, використовував ширококорозповсюджений ультразвуковий сенсор моделі HC-SR04 Sonic Ultra. Основна техніка його роботи полягає в генеруванні і відправці високочастотних радіо-хвиль, що відбиваються і надходять до детектора сенсора назад після вдаряння від поверхні аналізованого матеріалу. Час польоту (проходження) хвилі використовується безпосередньо для визначення параметра відстані, яка пройдена згенерованою хвилею, і наступного екстраполювання глибини в баку від локації, де розташований відповідний датчик-перетворювача, як це представлено на рисунку 1.5. В цій системі мікроконтролер посилає імпульси до ультразвукового сенсора за допомогою програмного коду, які, в свою чергу, впливають на форму і частоту хвилі. При цьому контролер розпочинає і продовжує цикл роботи вбудованого таймеру до тих пір, поки не отримано

вихідний інформаційний сигнал від сенсора в зворотному напрямку. Після отримання цього сигналу датчик рівня надсилає сигнал до відповідного входу мікроконтролера, отже, таким чином може бути виконаний підрахунок значення часу від таймера та однозначно обчислений параметр відстані (рівня). В програмному коді мікропроцесора враховано три характерні діапазони для формалізації розрахунку відстані: коротка, середня і далека. Таким чином, показник глибини (для рідких середовищ) розраховується відповідно до цього програмного коду та зберігається у флеш-пам'яті мікроконтролера, що доступна для оперативної передачі на веб-сервер за рахунок наявності в складі системи спеціалізованого GSM-модуля [5].

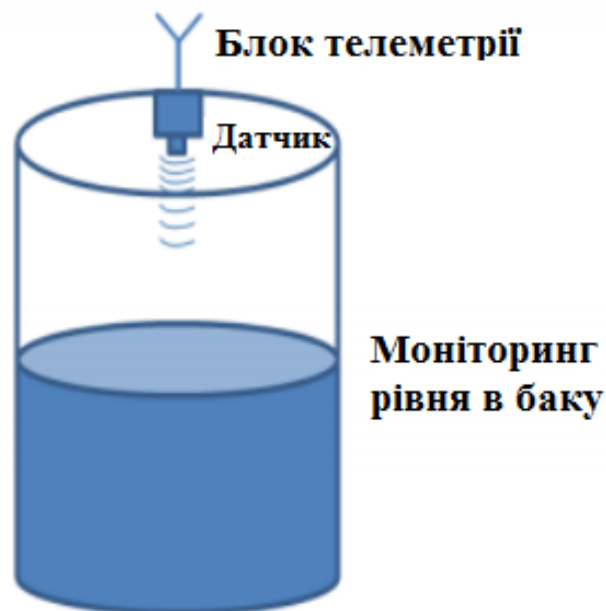


Рисунок 1.5 – Графічна схема процедури визначення рівня матеріалів за допомогою ультразвукового сенсора

В апаратну основу моніторингового процесу визначення рівня матеріалів в технологічній ємності автором роботи [5] було покладено ультразвуковий сенсор рівня матеріалів типу HC-SR04 Ultra Sonic.

Цей варіант ультразвукового перетворювача відстані типу HCSR-04 виконує функцію хвильового безконтактного вимірювання параметра відстані

(дальності, рівня) в діапазоні від 2 см до 4 м. Загальна точність детектування такої моделі датчика складає до $\pm 0,3$ см. До конструктивного складу датчика входить чутливий елемент ультразвукового передавача, ланцюг керування параметрами сигналів і приймач. Принцип роботи полягає у генеруванні і випромінюванні коротких імпульсних сигналів у вигляді сплесків звуку і наступному прослуховуванні показника його відбиття поблизу від аналізованих об'єктів. Ця модель датчика використовує ультразвукові хвилі в якості інформативного сигналу для встановлення відстані. Типовий ультразвуковий сигнал цього датчика генерується з частотою на рівні 40 кГц. Зовнішній вид такого виду датчика наведений на рисунку 1.6.

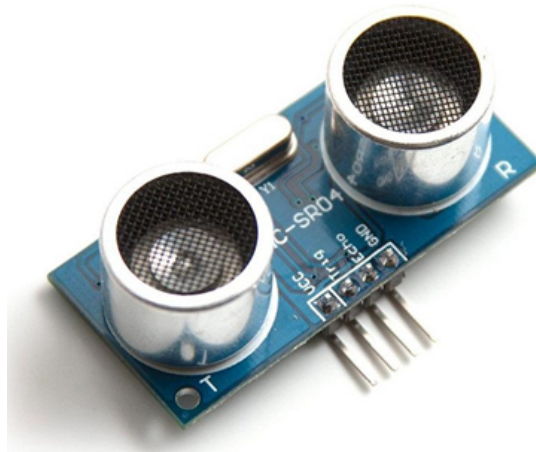


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд датчику HCSR04

Цей датчик у своїй основі оперує з поняттями тривалість або відстань, які визначаються опосередковано через час від відправлення ультразвукового сигналу до його повернення після відбиття. Формула, що описує основний принцип дії даного виду сенсора є наступною [6]:

$$L = \frac{T \cdot V}{2}, \quad (1)$$

де: L – параметр відстані, у даному випадку – рівня, м;

T – час детектування між надісланим і прийнятим сигналом, с;

V – швидкість розповсюдження звуку в повітрі, м/с.

У формулі (1.1) функція ділення добутку на два є необхідною для врахування того, що звукова хвиля має проходити одну й ту ж відстань двічі: від датчика до аналізованої поверхні та назад, як це графічно проілюстровано на рисунку 1.7.

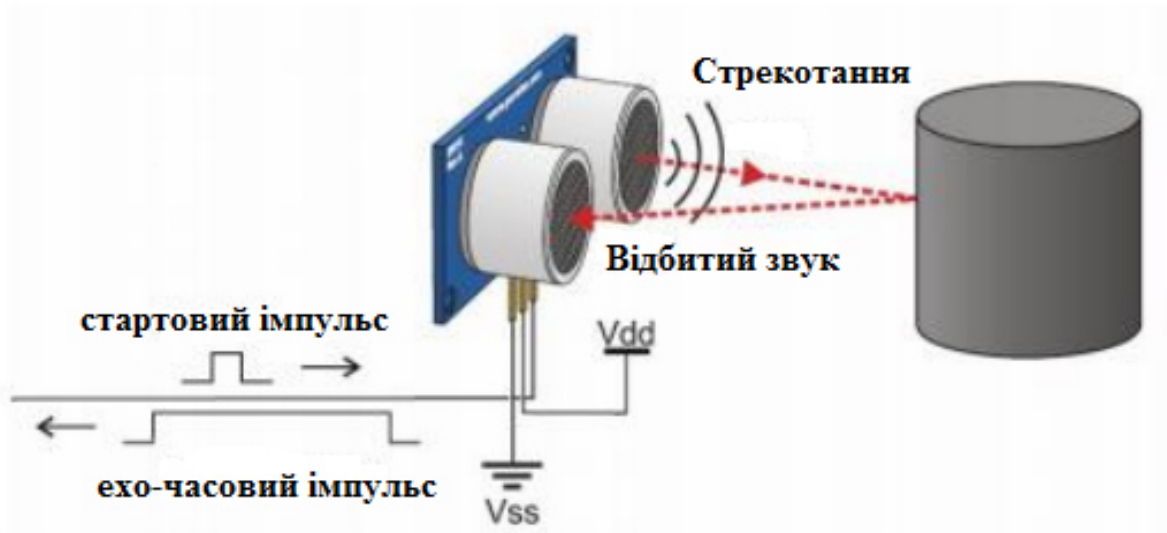


Рисунок 1.7 – Схема, що демонструє принцип роботи ультразвукового датчика типу HCSR04

До головних параметрів HCSR04 ультразвукового датчика можна віднести [6]:

- схема підключення (типова): живлення +5 В, вхід тригера – імпульсний, вихід – ехо-імпульси, загальний дріт – Gnd (0 В);
- робочий струм і робоча напруга: 15 мА і 5 В (постійні);
- типова робоча частота: 40 ± 2 кГц;
- мінімальна відстань детектування: 0,02 м;
- максимальна відстань детектування: 4,0 м.

Таким чином, використаний автором наукової праці [5] підхід на базі сенсора HCSR-04 є задовільним із точки побутового використання в незначному динамічному діапазоні об'ємів технологічних ємностей. Проте дана

бакалаврська робота в основному націлена на промислові потреби, а отже й апаратні компоненти і засоби, що входять до архітектури проектованої інформаційно-вимірювальної моніторингової технології мають мати більш якісні метрологічні й експлуатаційні характеристики.

1.4 Опис складових загальної похибки вимірювального моніторингу рівня сипких матеріалів

При аналізі технології-прототипу досліджуваної моніторингової системи, що наведено п. 1.3 роботи, та відомих способів моніторингу (вимірювання і контролю) рівня сипких матеріалів, що представлені в п. 1.2, з точки зору метрологічного забезпечення, було виявлено основні наступні фактори і складові загальної невизначеності моніторингу рівня, що суттєво впливають на точність комп'ютерного інформаційно-вимірювального детектування рівня в технологічних ємностях для різних матеріалів і речовин [7, 8]:

- основна складова невизначеності: від технологічної недосконалості сенсора, АЦП, мікроконтролера та інших апаратних компонент комп'ютерної технології (інструментальна складова), а також ультразвукового методу вимірювання (методична складова);

- додаткова складова невизначеності від зміни зовнішніх умов вимірювання, в основному, від дії вологості, тиску й температури всередині технологічної ємності;

- додаткова складова невизначеності від нерівномірності поверхні детектованого (аналізованого) матеріалу в ємності;

- додаткова складова невизначеності від типу й гранулометричного складу аналізованої речовини (сипкого матеріалу);

- динамічна додаткова складова похибки, що виникає під час моніторингу при протіканні технологічних процедур розвантаження й завантаження ємностей.

Більш деталізований вигляд сумарного впливу заявлених вище процесів і факторів на кінцеву точність комп'ютерного інформаційно-вимірювального детектування рівня сипких матеріалів під час їх зберігання в технологічних ємностях наведений на рисунку 1.8.

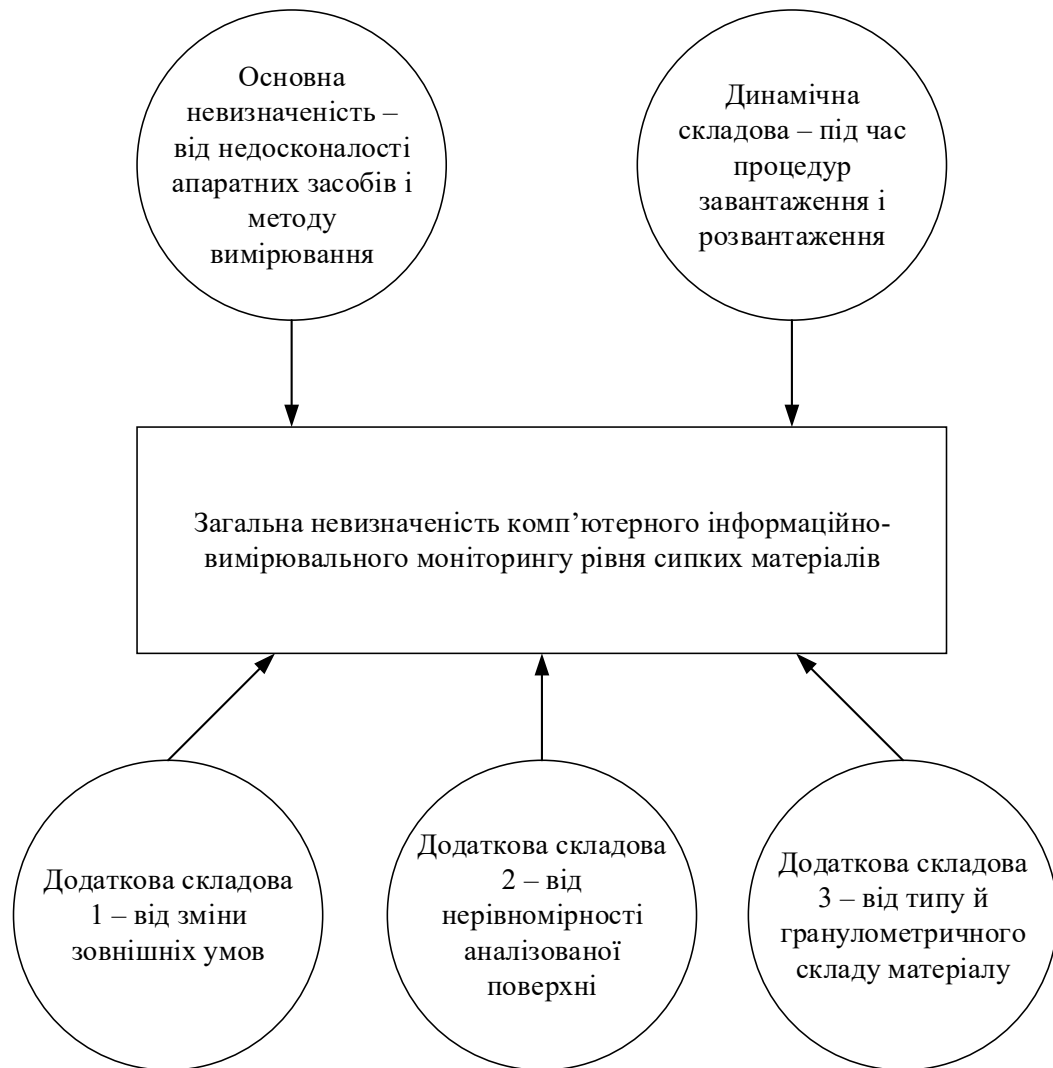


Рисунок 1.8 – Блок-діаграма впливу факторів і складових невизначеності на загальну точність інформаційно-вимірювального моніторингу рівня сипких матеріалів у технологічних ємностях промислового призначення

У результаті виконаного аналізу негативних впливів і складових сумарної невизначеності було встановлено, основний напрямок досліджень у цій роботі, який націлено на мінімізацію складової невизначеності, що обумовлена негативним впливом нерівномірності під час розподілу дисперсних речовин

(сипких матеріалів) у внутрішньому просторі технологічних ємностей з урахуванням типів і складу матеріалів, які в них зберігаються.

1.5 Висновки

Цей розділ бакалаврської роботи був спрямований на розв'язання задачі відносно опису об'єкта інформаційно-вимірювального комп'ютерного моніторингу, аналізу методів вимірювання (контролю, моніторингу) рівня інструментальними підходами, а також аналізу основних метрологічних та функціональних параметрів типової технології-прототипу. В результаті отримано наступну інформацію:

- проведено опис технічного об'єкта, який підлягає інформаційно-вимірювальному моніторингу;
- визначено й доведено актуальність теми даної роботи;
- виконано критичний огляд і обрано базовий метод ультразвукового моніторингу рівня сипких (дисперсних) речовин у технологічних промислових ємностях;
- детально розглянуто будову й визначено позитивні й негативні сторони комп'ютерної технології-прототипу для реалізації відповідного інформаційного моніторингу;
- встановлено головні негативні фактори й складові загальної невизначеності інструментального комп'ютерного моніторингу рівня сипких (дисперсних) речовин.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ, ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА ВИБІР АПАРАТНИХ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Розробка структурної схеми і формулювання алгоритму роботи комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів

В умовах значної динаміки технологічних виробництв, які пов'язані з транспортуванням, переробкою і зберіганням сипких матеріалів, як наприклад, аграрні елеватори зернових сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь, насіння соняшника і інше), потрібно враховувати ряд виробничих особливостей і специфіку управлінських рішень і задач щодо логістики тих чи інших підприємств. Технічні засоби задля моніторингу рівня заповнення сховищ та технологічних ємностей мають виконувати високоточний і оперативний контроль, а також надавати доступ до інформації відповідним користувачам із певними правами доступу в будь-який час і з будь-якого місця. Адже, через такі фактори залежить кінцевий економічний ефект виробництв та ефективність адміністративних рішень і логістика готового продукту. Додатково до всього потрібно брати до обліку те, що моніторингова процедура інформаційно-вимірювального аналізу рівня сипких матеріалів є лише частиною складного технологічного процесу зберігання, завантаження і транспортування продукції, а отже, розроблювана технологія має бути модульною та мати можливість інтегрування до комп'ютеризованих засобів загального автоматичного керування виробничими потужностями підприємств, як наприклад, EPR-комплекси та / або SCADA-технології.

Таким чином, можна констатувати факт того, що до подібних комп'ютерних інформаційно-вимірювальних моніторингових технологій

пред'являються високі вимоги відносно їх швидкості, точності, надійності й масштабності збору даних і їх аналітичного аналізу, а також апаратно-програмної сумісності з іншими технічними пристроями і підсистемами комплексів промислової автоматизації відповідних підприємств.

Ще одним фактором, який необхідно врахувати при розробці структурної схеми комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, яка реалізує віддалений моніторинг рівня сипких матеріалів, з точки зору техніки виконання первинних вимірювальних процедур, є те, що під час завантаження і розвантаження ємностей, у яких зберігаються сипкі речовини і матеріали, доволі часто виникають локації з нерівномірним розподілом цих речовин (матеріалів) в об'ємі ємності. Такі аналізовані поверхні можуть характеризуватись значними впадинами та / або високими піковими площинами, як показано на рисунку 2.1 [9]. Даний факт ще раз підтверджує значну кількість наявних, упроваджених і використовуваних на сьогоднішній день у промисловості засобів і технік вимірювання рівня дисперсних речовин у технологічних ємностях.

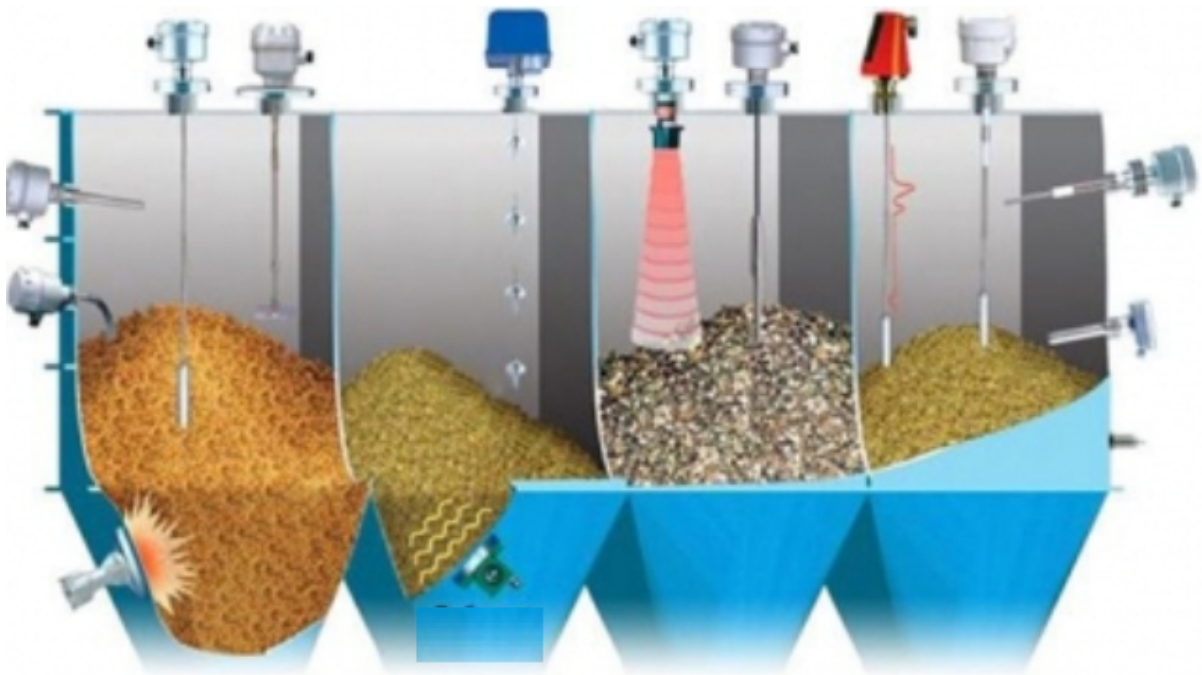


Рисунок 2.1 – Приклад технологічних особливостей, що пов'язані з інструментальним моніторингом рівня сипких матеріалів та / або речовин [9]

Таким чином, на сьогодні найбільш досконалим підходом до реалізації інструментального комп'ютеризованого моніторингу рівня сипких матеріалів у динамічному режимі під час їх завантаження, зберігання і транспортування є використання технологій на базі групи 3D-радарних датчиків, які дозволяють отримувати диференційовані за аналізованим об'ємом значення рівня сипких речовин (матеріалів), як показано на рисунку 2.2.

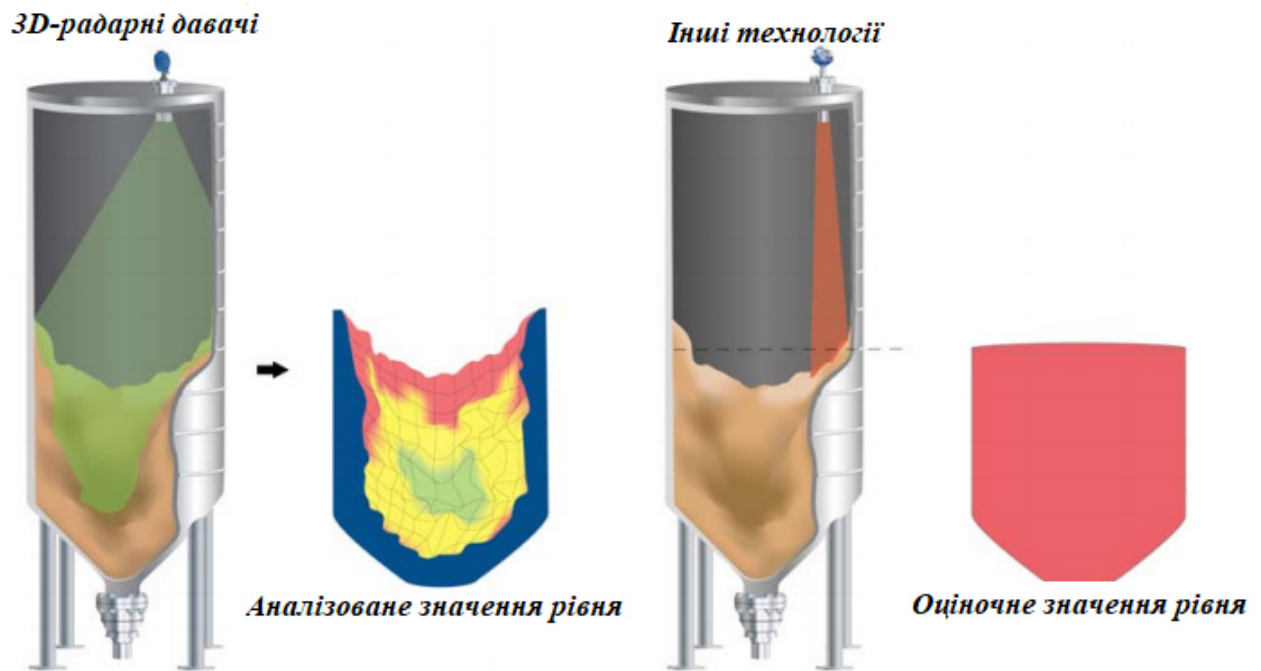


Рисунок 2.2 – Графічне порівняння використовуваних у промисловій практиці технологій для моніторингу рівня сипких речовин (матеріалів)

Отже, техніка вимірювань рівня на основі групи однотипних 3D-радарних датчиків може бути використана в якості основної під час розробки структурної схеми і формулювання алгоритму роботи комп'ютерної моніторингової інформаційно-вимірювальної технології аналізу рівня сипких матеріалів.

Додатково до комп'ютерної технології, яка досліджується і проєктується, на підставі аналізу сучасних всесвітньо визнаних тенденцій розвитку інформаційно-вимірювальної техніки [10] пред'являються наступні базові функціональні вимоги:

– реалізація багатозонних диференційованих вимірювань рівня сипких

матеріалів (дисперсних речовин);

- мікропроцесорна обробка даних, які надходять від групи однотипних давачів;

- статистичний і аналітичний аналіз отриманої інформації, в тому числі й у динамічному режимі;

- реалізація бездротового надійного промислового обміну даними, як в локальній мережі підприємства, так і з віддаленим хмарним середовищем;

- резервне копіювання і зберігання даних на хмарному веб-сервері;

- надання різних прав доступу на візуалізацію результатів інформаційно-вимірювального моніторингу на мобільних пристроях працівників і адміністрації підприємства;

- реалізація можливості використання отриманої інформації щодо рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин) у якості додаткової під час керування виробничим процесом підприємства і його логістики.

До основних функцій, які покладено до алгоритму роботи досліджуваної комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, що виконує моніторинг у бездротовому форматі, відносяться:

- синхронні високоточні вимірювання рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин) у декількох зонах аналізованої ємності;

- обмін даними з мікроконтролером системи та цифрова мікрокомп'ютерна обробка отриманих результатів вимірювань;

- бездротовий мікропроцесорний синхронізований обмін даними в локальній мережі відповідного підприємства;

- відправлення даних до хмарного веб-сервера з метою їх резервного копіювання, архівування та детального математичного опрацювання (графічна інтерпретація, прогнозування і класифікація режимів роботи);

- передавання даних і отримання зворотного зв'язку від комплексу автоматизації підприємства;

- надання інформації за відповідним запитом від мобільних пристроїв користувачів і адміністрації.

Таким чином, створена структурна схема і сформульований алгоритм роботи для інформаційно-вимірювальної комп'ютерної технології задля віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин), яка в якості підсистеми може входити до комплексів технічних засобів і пристроїв автоматизації відповідних підприємств, наведені на рисунках 2.3 і 2.4, відповідно.

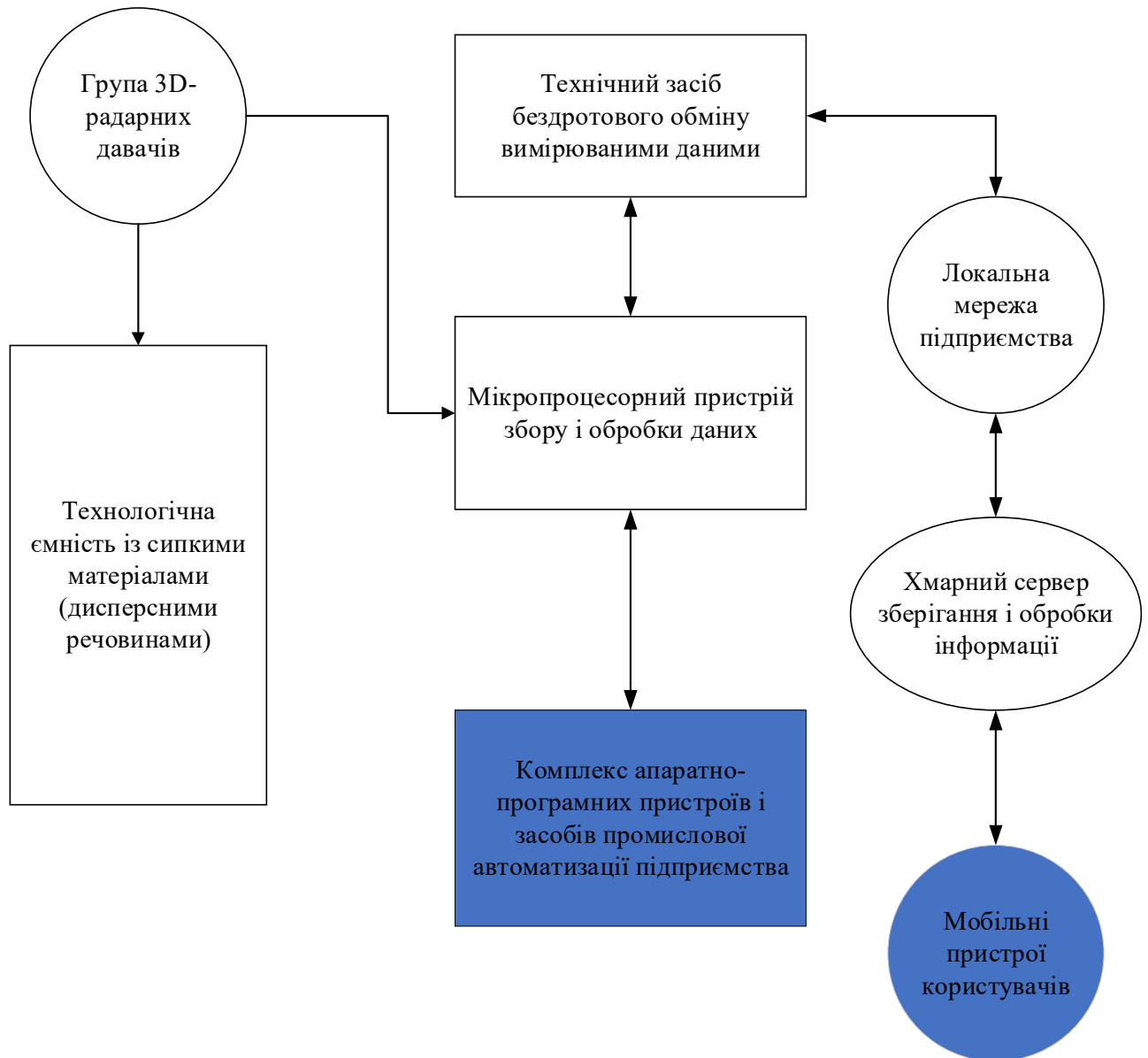


Рисунок 2.3 – Структурна схема комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, що виконує віддалений бездротовий сенсорний контроль за рівнем сипких матеріалів (дисперсних речовин) для умов сільськогосподарських і промислових виробництв



Рисунок 2.4 – Блок-схема сформульованого алгоритму роботи комп'ютерної технології моніторингу рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин)

Отже, розроблені і наведені на рисунках 2.3 і 2.4 структурна і блок-схема комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, яка реалізує віддалений багатозонний бездротовий онлайн моніторинг рівня дисперсних матеріалів (сипких речовин), можуть бути використані на першому етапі досліджень для цілей автоматизації та цифровізації виробничих процедур в умовах агротехнічних і промислових підприємств.

2.2 Вибір давача, мікроконтролера і засобу бездротового обміну даними до складу комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології

Як було встановлено і задекларовано в п. 2.1 «Розробка структурної схеми і формулювання алгоритму роботи комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів» бакалаврської роботи, в якості основного типу давача пропонується використовувати 3D-радарні сенсори.

Задля підвищення загальної ефективності процедури комп'ютеризованого моніторингового аналізу рівня сипких матеріалів та / або дисперсних речовин також пропонувалось використовувати не один давач, а їх групу (кількість визначається безпосередніми умовами вимірювань: обсяги ємності, кінцева точність, швидкодія вимірювань і аналізу).

В якості конкретної моделі був обраний промисловий спеціалізований перетворювач рівня EchoTREK, що функціонує на основі ультразвукового методу, та призначений для контролю показників рівня і об'ємів різних видів твердих, дисперсних і рідких речовин [11].

Зовнішній вид ультразвукового перетворювача рівня EchoTREK наведений на рисунку 2.5. Додатково на рисунку 2.6 наведений графік, який демонструє технічні вимірювальні можливості заявленої в роботі моделі датчика рівня сипких матеріалів, а на рисунку 2.7 – типовий приклад його використання в промислових умовах [12].



Рисунок 2.5 – Фото варіантів конструкцій перетворювача рівня дисперсних (сипких) речовин і матеріалів моделі EchoTREK

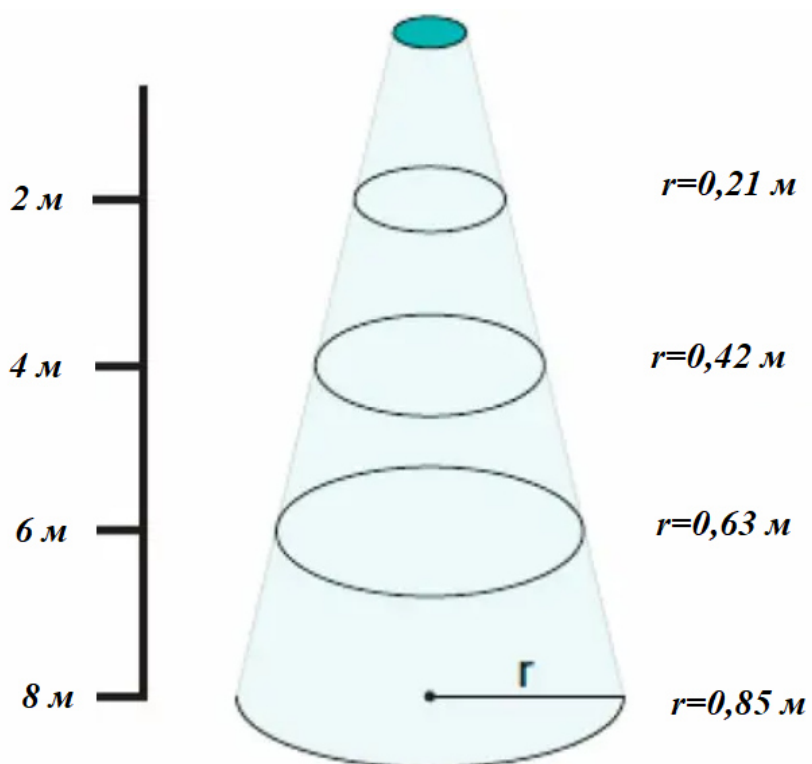


Рисунок 2.6 – Графік, що пояснює основні функціональні характеристики перетворювача рівня моделі EchoTREK

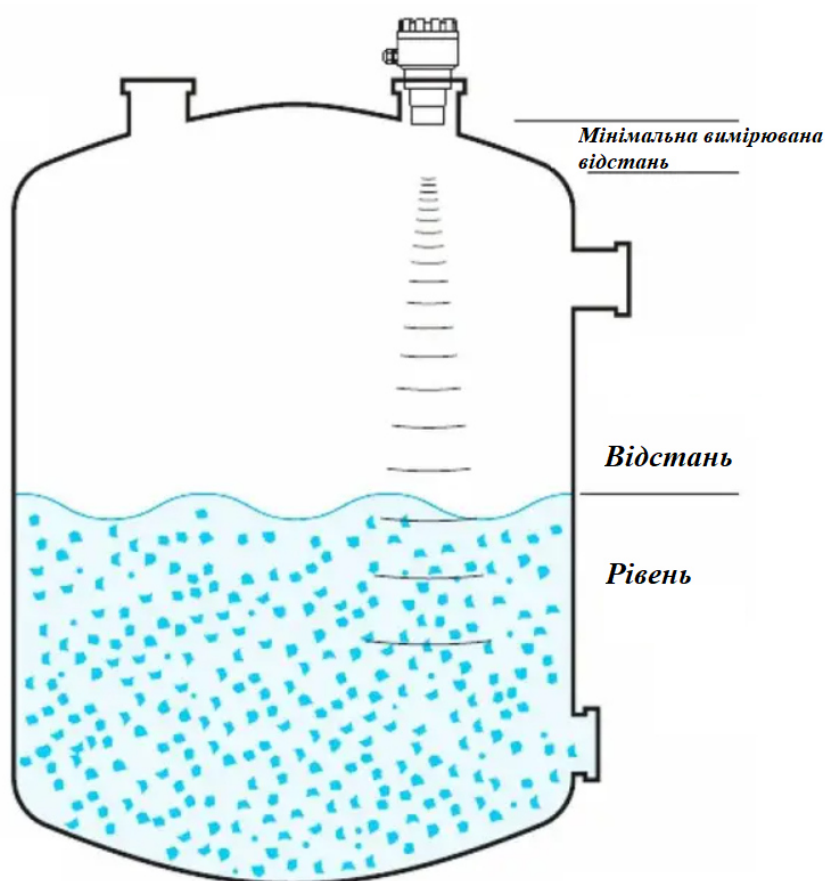


Рисунок 2.7 – Типовий приклад використання давача рівня EchoTREK у промислових умовах

До основних параметрів техніко-функціонального призначення давача рівня сипких речовин EchoTREK відносяться наступні [11, 12]:

- принцип вимірювання рівня: ультразвуковий (безконтактний, неруйнівний);
- технологія підключення: 2- або 4-дротова;
- кут розсіювання: 5 град.;
- тиск у внутрішньому середовищі роботи: від 0,3 bar до 3,0 bar;
- температура внутрішнього середовища роботи: від -30°C до $+100^{\circ}\text{C}$;
- можливі варіанти вихідного сигналу: струмовий сигнал (від 4 мА до 20 мА), цифровий релейний у вигляді напруги, уніфікований (Profibus PA, HART, RS 485);
- допустимі границі діапазону вимірювання для сипких речовин: від 0,5 м до 60 м;

– наявність сертифікації: тип 1 – АТЕХ II G 1 EEx ia T6 IIB, тип 2 – АТЕХ II D ½ IP65 T 130;

– основна відносна невизначеність вимірювального контролю: не більше $\pm 1\%$.

Отже, обраний тип первинного перетворювача (давача) рівня сипких матеріалів та / або дисперсних речовин моделі EchoTREK може бути використаний у групі відповідних сенсорів для реалізації комп'ютерного інформаційно-вимірювального моніторингу рівня та об'єму в промислових умовах, у тому числі, – жорстких (агресивних).

Як встановлено з аналізу блок-схеми досліджуваної моніторингової технології, яку наведено на рисунку 2.4, то для визначення рівня сипких матеріалів у середині технологічних ємностей, наступним етапом після вимірювальних спостережень є мікроконтролерна обробка даних, які надходять від групи функціональних перетворювачів рівня. При виборі конкретної моделі був врахований ряд як технічних, так і економічних показників серійних промислових логічних контролерів і більш простих користувацьких мікропроцесорних платформ. Через те, що робота присвячена вирішенню саме задач інструментального комп'ютерного інформаційно-вимірювального моніторингу, то в роботі на підставі обліку таких факторів, як: простота налаштування / роботи, адаптивність до різних масштабів реалізації, серійна доступність на компонентному ринку, задовільні функціональні і надійність параметри та незначна вартість, був обраний мікроконтролерний пристрій Arduino у версії збірки Itearduino ADK [13].

Додатково до всього вищеописаного цю модель серед широкої лінійки пристроїв Arduino було обрано за критерієм апаратно-програмних рішень інтеграції до сервісу Android Open Access Kit Development (ADK), що дозволяє без додаткової апаратної і програмної надлишковості використовувати даний пристрій Itearduino ADK від Arduino під час реалізації концептуальних засад Інтернету речей в інформаційно-вимірювальній техніці.

Зовнішній вигляд мікроконтролерного пристрою Arduino у версії збірки

Iteaduino ADK наведений на рисунку 2.8, а також на рисунку 2.9 представлена схема розташування і функціонального призначення конкретних виводів даного пристрою.

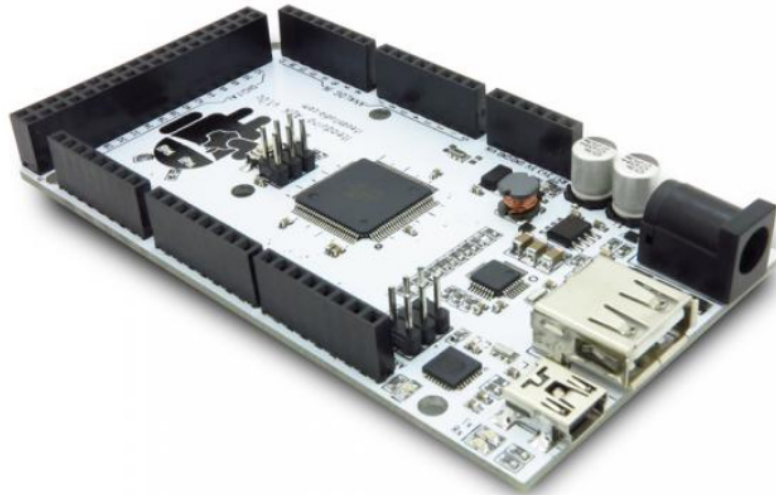


Рисунок 2.8 – Фото мікроконтролерного пристрою Arduino у версії збірки Iteaduino ADK [13]

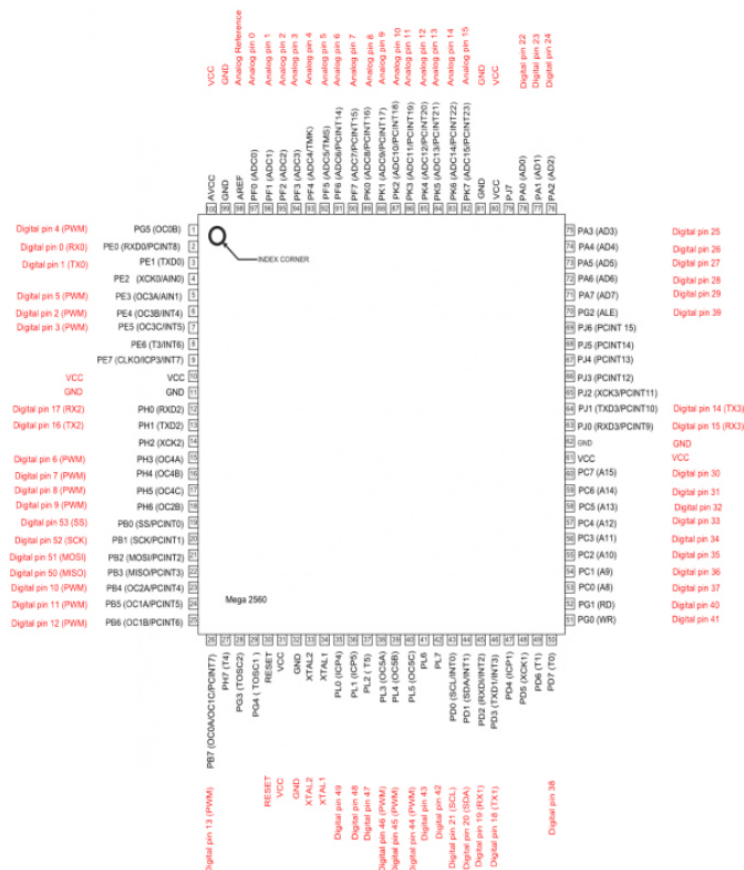


Рисунок 2.9 – Схема розташування і призначення виводів Iteaduino ADK [13]

До основних параметрів і характеристик мікроконтролерного пристрою Arduino у версії збірки Iteaduino ADK [13] належать наступні:

- програмна функціональна сумісність із комплектами і середовищем розробки Android Kit Open (ADK);
- інтегрована підтримка мобільних пристроїв із прошивкою Android v. 2.3 та вище;
- апаратна мережева сумісність із мікроконтролерним пристроєм типу Arduino Mega;
- може працювати в звичайному мікропроцесорному режимі, як пристрій Arduino Mega;
- містить: 16 аналогових входів і 56 цифрових двонаправлених портів (14 підтримують режим ШІМ);
- оснащений надійним мініатюрним стабілізатором напруги номіналом 5,0 В – 2,0 А;
- вбудований на платі USB-хост;
- модель мікросхеми процесора – MAX 3421;
- габарити плати: ширина – 55 мм і довжина – 102 мм.

Для виконання основної функції розроблюваної комп'ютерної технології щодо бездротового обміну результатами неруйнівних сенсорних спостережень даний мікроконтролерний пристрій Iteaduino ADK від Arduino має функціонувати в парі з відповідним пристроєм, який включено до локальної мережі підприємства. Така процедура передавання даних може бути реалізована за рахунок поєднання Iteaduino ADK зі спеціалізованим Wi-Fi Shield для Arduino, який показаний на рисунку 2.10.

Дана плата розширення Wi-Fi for Aduino спроектована на базі мікромодуля типу HDG 104, який є пристроєм на одному кристалі, що реалізує підключення різних моделей пристроїв Arduino до Інтернет мережі за рахунок бездротового інтерфейсу з'єднання LAN (Wi-Fi) 802.11b / g. В свою чергу, мікропроцесор ATmega32UC3, який вбудовано до такого Wi-Fi пристрою, здатен підтримувати стек протоколів мережі (IP) та одночасно дозволяє

працювати як із протоколами типу UDP і TCP, що робить даний пристрій багатофункціональним під час досить динамічних мережеских обмінів вимірювальними даними в різних режимах [14].

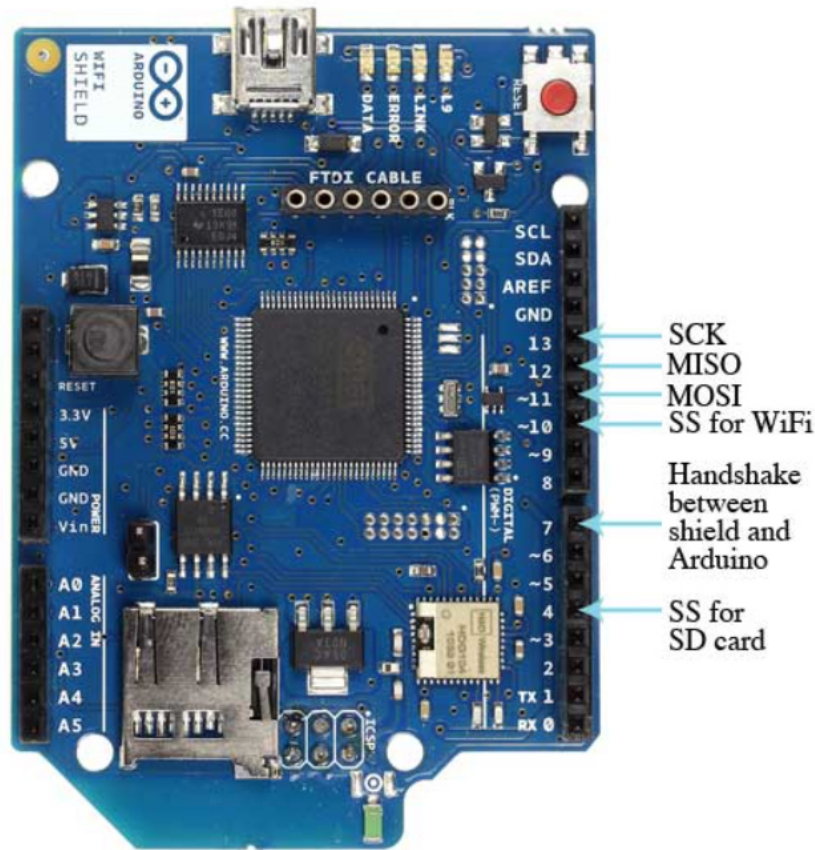


Рисунок 2.8 – Фото мікропроцесорного мережевого Wi-Fi пристрою для Arduino

Базові заводські характеристики даного мережевого Wi-Fi пристрою для Arduino є такими [14]:

- модульний принцип підключення до серійних плат Arduino у більшості модифікацій;
- принцип обміну даними з мікроконтролером Arduino базується на стандартному інтерфейсі SPI;
- можливі варіанти типів шифрування даних: WEP і Personal WPA-2;
- протоколи підключення до мережі: 802.11 b / g;
- модуль кристала процесора: HDG 104.

Таким чином, описані вище мікропроцесорні пристрої Iteaduno ADK у поєднанні з відповідним Wi-Fi Arduino Shield дозволяють виконувати заявлені базові функції з мікропроцесорної цифрової обробки даних від групи датчиків рівня та бездротового передавання обробленої інформації від мікроконтролера до локальної мережі відповідного підприємства, що згодом можуть бути надіслані до хмарних web-серверів.

2.3 Програмні компоненти обробки та індикації даних щодо інформаційно-вимірювального моніторингу рівня сипких матеріалів

Як було попередньо відмічено на блок-схемі алгоритму роботи комп'ютерної технології (див. рис. 2.4), то до основних функцій розробки відносяться: індикація результатів на мобільних пристроях адміністрації і користувачів та статистична поглиблена обробка даних, у тому числі на основні веб-технік хмарних обчислень. Отже, глобально розроблюване програмне забезпечення можна поділити на дві категорії, як у вигляді структури показано на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Структура етапів розробки програмного забезпечення комп'ютерної моніторингової технології для визначення рівня сипких і дисперсних матеріалів

Як зазначалось у п. 2.2 «Вибір датчика, мікроконтролера і засобу бездротового обміну даними до складу комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології», в якості мікропроцесорного обчислювального засобу був обраний мікроконтролер Iteaduino ADK від Arduino [13], що підтримує можливість інтеграції мобільних додатків на основі середовища Android Kit Open. Такий підхід дозволяє синтезувати програмний продукт для індикації результатів вимірювань на мобільних засобах за наступною ієрархічною послідовністю, як показано на рисунку 2.10.

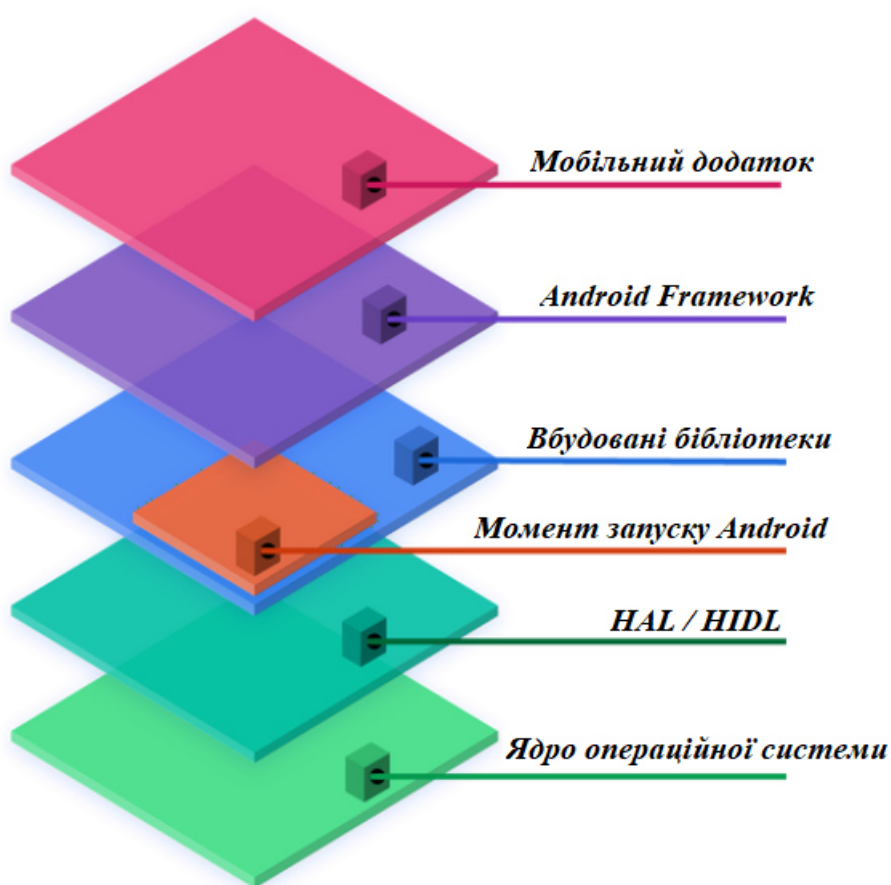


Рисунок 2.10 – Ієрархія розробки програмного забезпечення для досліджуваної технології на основі Android Kit Open

В якості середовища для розробки аналітичного програмного забезпечення з можливістю вирішення задач класифікації і прогнозування вимірювальних даних і генерування на їх основі автоматичних експертних рішень запропоновано використовувати середовище Matlab & Simulink, яке має

версію хмарних обчислень MATLAB Server of the Distributed Computing. Основний принцип функціонування даного програмного сервісу полягає в наступному: дослідники / розробники створюють власну обчислювальну комп'ютерну модель та / або програму в персональній системі на базі спеціалізованого продукту-клієнта Toolbox of Parallel Computing. Після власних тестувань отриманий програмний додаток переноситься і масштабується на інших комп'ютерах, що дозволяє значно оптимізувати, адаптувати і вдосконалити обчислювальні процедури [15], як це у вигляді блок-діаграми в графічному виді наведено на рисунку 2.11.

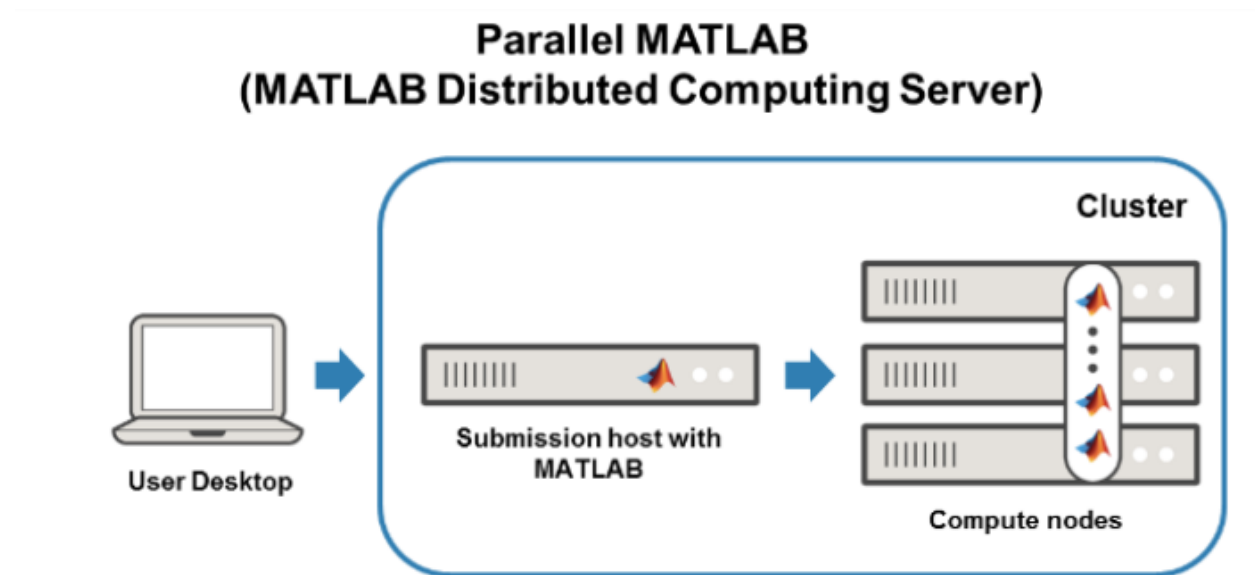


Рисунок 2.11 – Графічна форма принципу дії сервісу Matlab Server of the Distributed Computing

Головною перевагою даного програмного сервісу є уніфікованість, яка полягає в можливості підтримки більшості серійних апаратних засобів і відомих операційних систем, які дозволяють працювати з настільними версіями MATLAB і Simulink.

Таким чином, описані в даному пункті і представлені на рисунках 2.10 і 2.11 підходи до створення і вдосконалення програмних засобів із обробки і індикації вимірюваних даних відносно інформаційно-вимірювального

моніторингу рівня сипких речовин і матеріалів, дозволяють досить ефективно використовувати розроблювану комп'ютерну технологію.

2.4 Висновки

1. Розроблена структурна схема та сформульований алгоритм роботи комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, що реалізує основні етапи з віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин) на базі техніки вимірювань 3D-радарних давачів і сучасних технологій генерування і обробки вимірюваних даних.

2. Вибрано: модель ультразвукового давача рівня EchoTREK і описано його принцип дії; мікроконтролерний пристрій Iteaduino ADK від Arduino та Wi-Fi-передавач для нього задля мікрокомп'ютерної обробки і бездротової передачі отриманих результатів.

3. Обґрунтовано доцільність із вибору програмних компонент обробки та індикації результатів із інформаційно-вимірювального моніторингу рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин), а саме: Android Kit Open – для зручної і функціональної індикації результатів вимірювань на мобільних засобах та Matlab Server of the Distributed Computing – для оптимізованої аналітичної обробки отриманої вимірювальної інформації про поточний рівень із можливістю класифікації і прогнозування даних.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Методика і результати чисельного моделювання метрологічних характеристик комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології

Ідею чисельного моделювання, яке було виконане в даній роботі, є генерування послідовностей результатів інструментальних спостережень із нормальним законом імовірнісного розподілу за рівнем сипких матеріалів у трьох зонах за допомогою 3D-радарних давачів, а після цього аналізу отриманих спостережень за методикою обробки сукупностей нерівноточних результатів вимірювань із багаторазовими спостереженнями. Структура, яка ілюструє модель процедури детектування рівня сипких речовин наведена на рисунку 3.1.

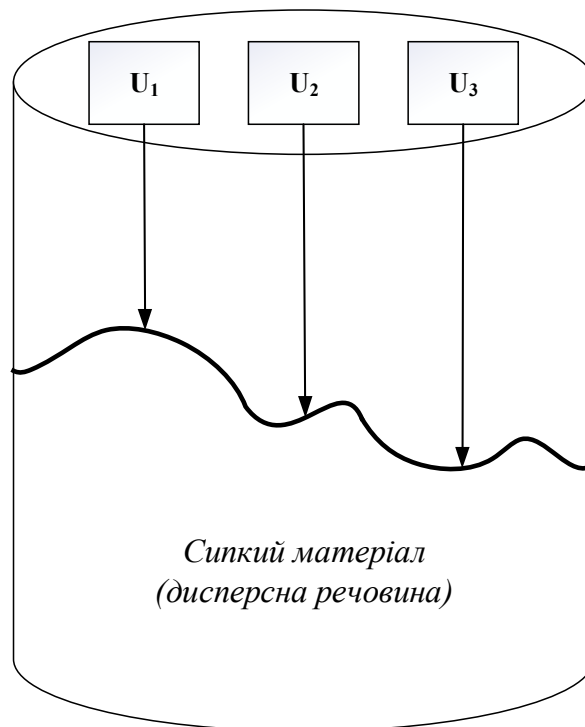
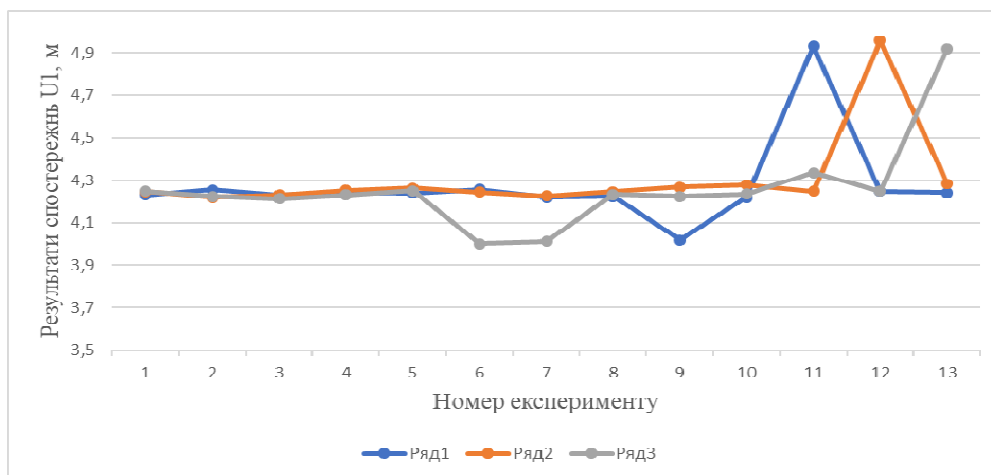
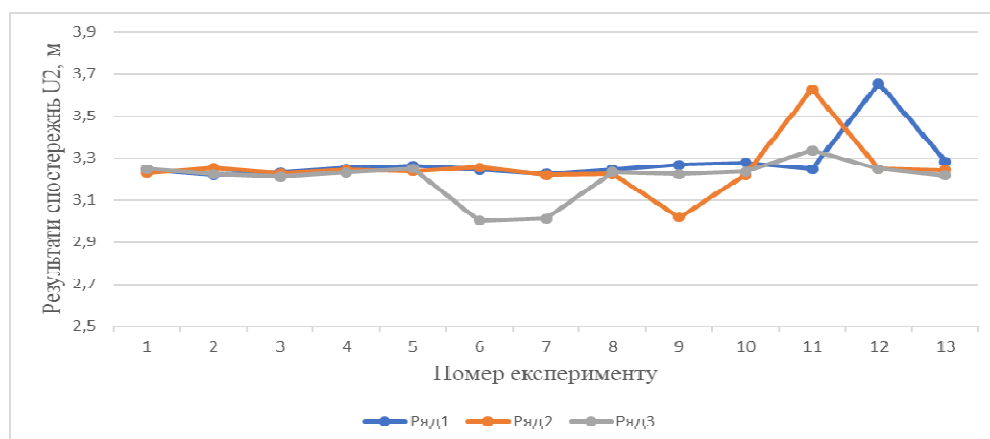


Рисунок 3.1 – Схема моделювання процедури вимірювань рівня сипких матеріалів

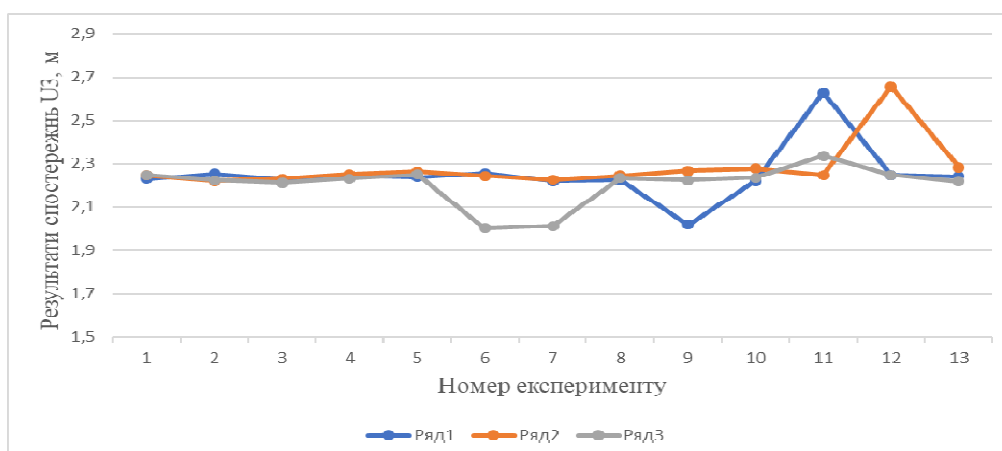
На наступному етапі були згенеровані три групи (по три серії в кожній) результатів спостережень за рівнем сипких матеріалів (дисперсних речовин), як показано на рисунку 3.2.



а) Результати спостережень за рівнем в зоні U_1



б) Результати спостережень за рівнем в зоні U_2



в) Результати спостережень за рівнем в зоні U_3

Рисунок 3.2 – Згенеровані модельні результати спостережень за рівнем

Наступним кроком була обробка даних, які наведені на рисунку 3.2, за стандартною методикою щодо опрацювання груп нерівноточних багаторазових вимірювань [16, 17], як у форматі блок-схеми алгоритму обчислювальних процедур показано на рисунку 3.3.

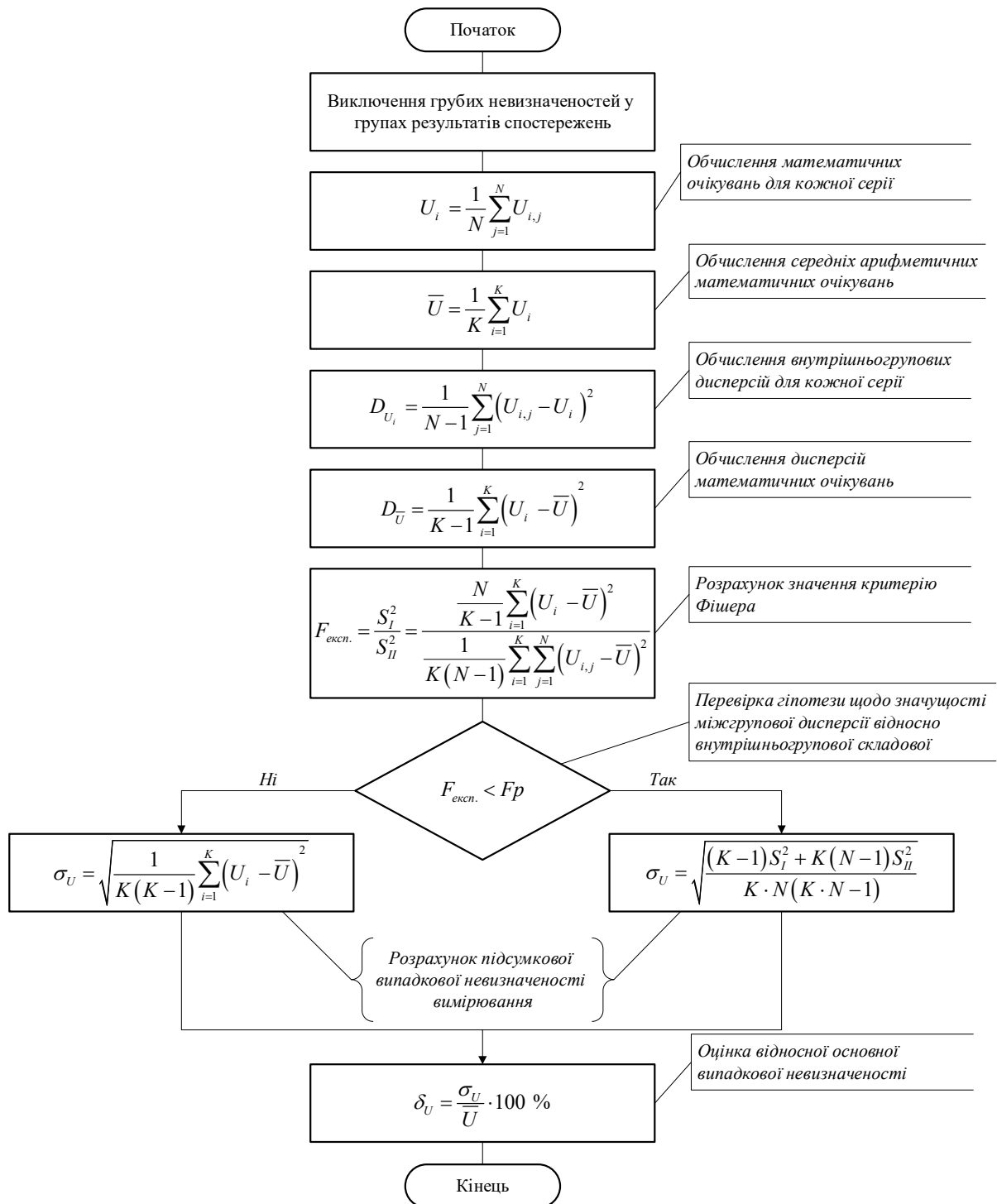


Рисунок 3.3 – Методика оцінки метрологічних характеристик технології моніторингу рівня сипких матеріалів під час чисельного моделювання

Отримані метрологічні характеристики на підставі методики (див. рис. 3.3) та прийнятого значення стандартної інженерної довірчої вірогідності – 0,95, є наступними:

– середні (найбільш імовірні) значення та абсолютні невизначеності вимірювань за кожною зоною: $U_1 \pm \Delta U_1 = 4,2 \pm 13 \cdot 10^{-3}$ м, $U_2 \pm \Delta U_2 = 3,3 \pm 49 \cdot 10^{-3}$ м і $U_3 \pm \Delta U_3 = 2,3 \pm 42 \cdot 10^{-3}$ м;

– основні випадкові відносні невизначеності за кожним 3D-радарним давачем: $\delta_{U1} = \pm 0,3$ %, $\delta_{U2} = \pm 1,4$ % і $\delta_{U3} = \pm 1,8$ %.

Таким чином, отримані методами чисельного моделювання результати щодо оцінки основних метрологічних показників, підтверджують спроможність і адекватність запропонованого підходу щодо диференційованого зонального детектування рівня дисперсних речовин (сипких матеріалів) у технологічних ємностях на виробництвах.

Проте даний підхід може бути вдосконалений за рахунок використання сучасних інтелектуалізованих алгоритмів, як це буде доведено в наступному пункті роботи.

3.2 Методика підвищення ефективності комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології рівня сипких матеріалів

Головною ідеєю щодо методики підвищення ефективності досліджуваної комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології у розрізі аналізу рівня сипких матеріалів є забезпечення надійного автоматизованого опрацювання результатів вимірювань у реальному часі з генеруванням рекомендацій до адміністрації і користувачів під час завантаження / розвантаження технологічних ємностей. В якості математичної основи такої методики може бути використаний сучасний функціональний базис Fuzzy логіки [18], що дозволяє на основі диференційного аналізу результатів зонних вимірювань рівня сипкого матеріалу (дисперсної речовини) формулювати вимоги до

забезпечення рівномірного розподілу матеріалів / речовин у середині технологічної ємності.

Логіка роботи розробленої моделі у вигляді блок-схеми методики наведена на рисунку 3.4.

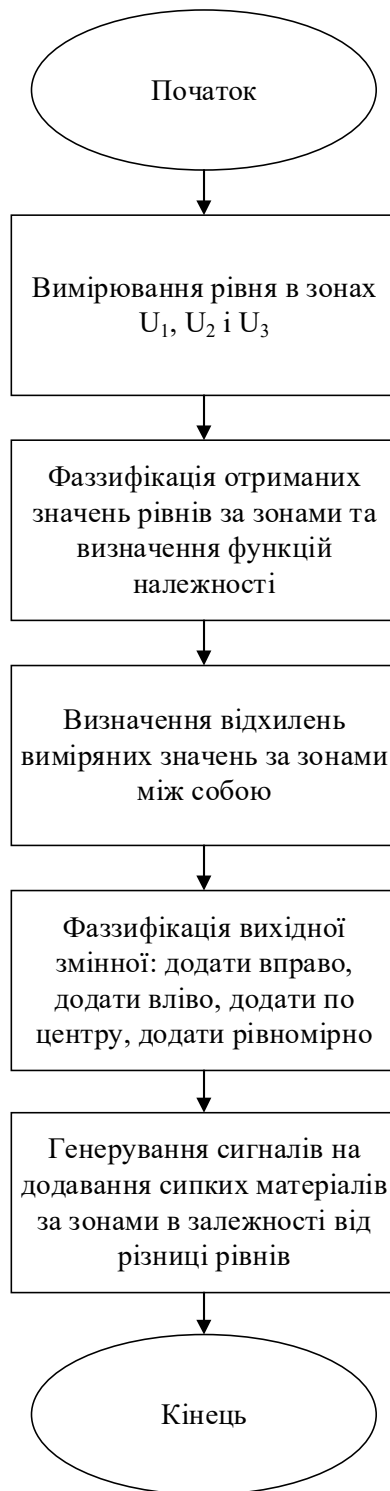


Рисунок 3.4 – Блок-схема методики моделі автоматичної обробки результатів зонних вимірювань рівнів сипкого матеріалу в ємності

Задля вирішення цієї задачі була створена модель FIS у середовищі Simulink, як це показано на рисунку 3.5.

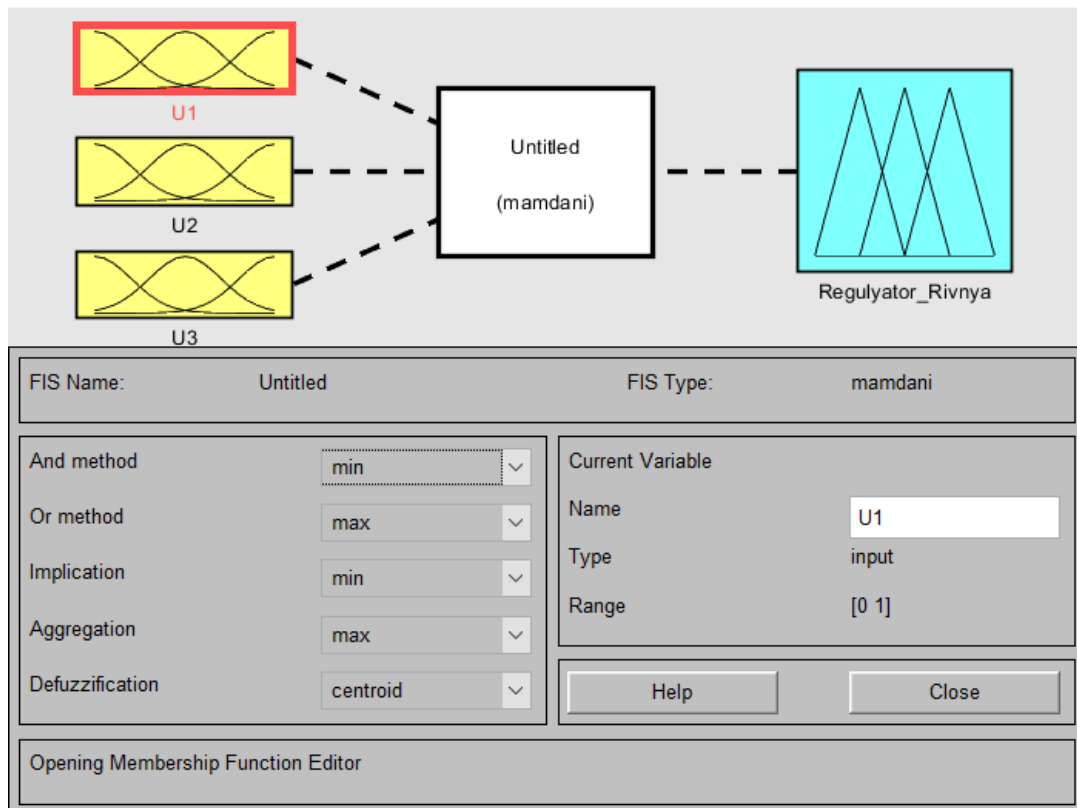


Рисунок 3.5 – Fis-модель опрацювання результатів зонного детектування рівнів сипких матеріалів

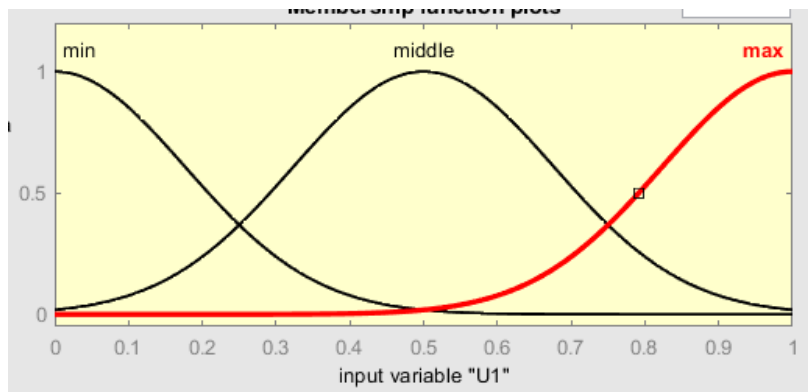
У даній Fis-моделі (див. рис. 3.5) використано наступне:

- алгоритм Fuzzy-виведення: Мамдані;
- входні змінні: кількість – 3 шт. (U_1 – рівень в зоні зліва, U_2 – рівень в центральній зоні, U_3 – рівень у зоні справа), кількість логічних рівнів – 3 (max – значно вище середини ємності, middle – приблизно посередині ємності, min – значно нижче середини ємності), тип функцій – gaussmf (рівень у більшості випадків не змінюється стрипкоподібно);
- вихідні змінні: кількість – 1 (сигнал вмикання приводів регулювання рівня), кількість логічних рівнів – 3 (Left – додати сипкий матеріал вліво від центру, якщо U_1 менше U_2 ; Centre – додати сипкий матеріал до центральної зони, якщо U_2 менше U_1 і U_3 одночасно; Right – додати сипкий матеріал вправо

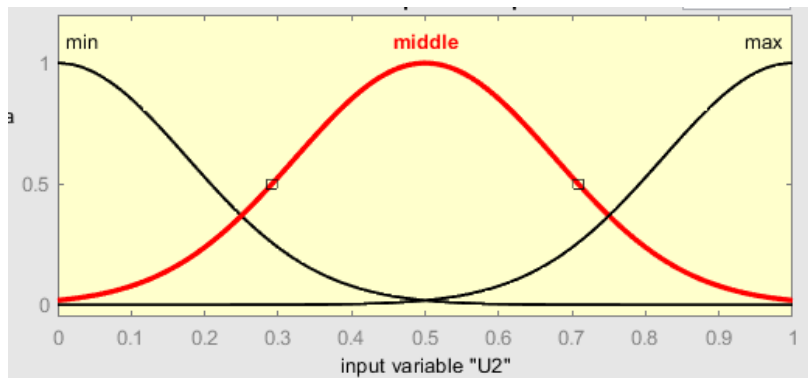
від центру, якщо U_3 менше U_2), тип функції – `trapmf` (відповідає за логікою принципу ШІМ-керуванню);

– усі змінні приведені до нормованого вигляду відносно максимальної висоти та / або об'єму технологічної ємності, отже, змінні U_1 , U_2 і U_3 змінюються в інтервалі від 0 до 1.

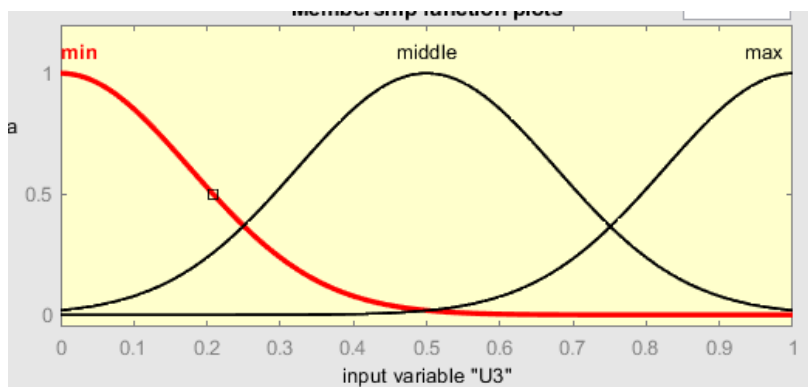
Етапи створення термів і фаззифікації вхідних змінних (зонних рівнів U_1 , U_2 і U_3) наведено на рисунку 3.6.



а) результати фаззифікації рівня U_1



б) результати фаззифікації рівня U_2



в) результати фаззифікації рівня U_3

Рисунок 3.6 – Вхідні змінні рівнів сипких матеріалів у фаззифікованому виді

Процедура створення термів та фазифікації вихідної змінної (сигнал вмикання приводів регулювання рівня) наведена на рисунку 3.7.

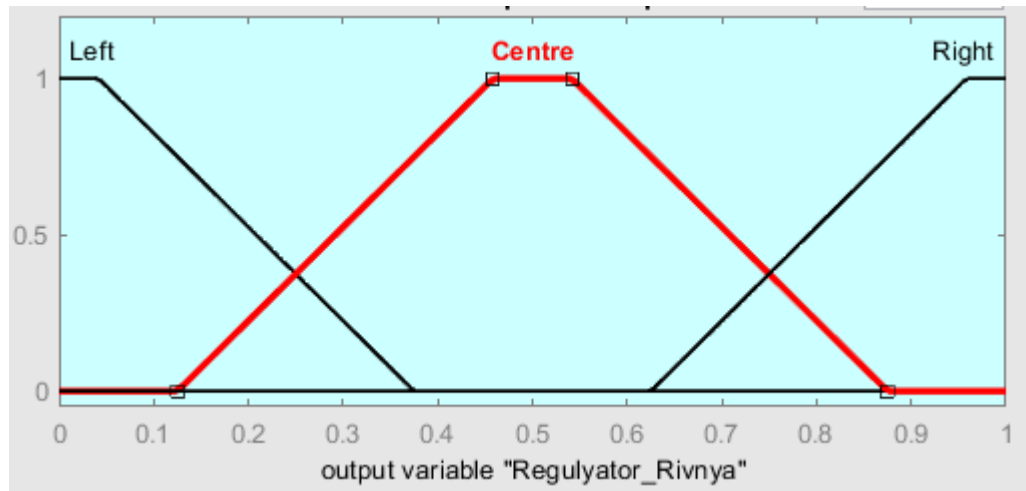


Рисунок 3.7 – Вихідна змінна (керуючий ШІМ-сигнал вмикання приводів регулювання рівня) у фазифікованому виді

Отримані результати фазифікації та встановлення функцій належності вхідних і вихідної лінгвістичних змінних досліджуваної комп'ютерної технології дозволили створити базу нечітких правил керування, яку показано на рисунках 3.8 і 3.9 в інтерактивному і словесному форматах, відповідно. Усі правила керування є рівнозначними і їх вага прийнята рівною одиниці.

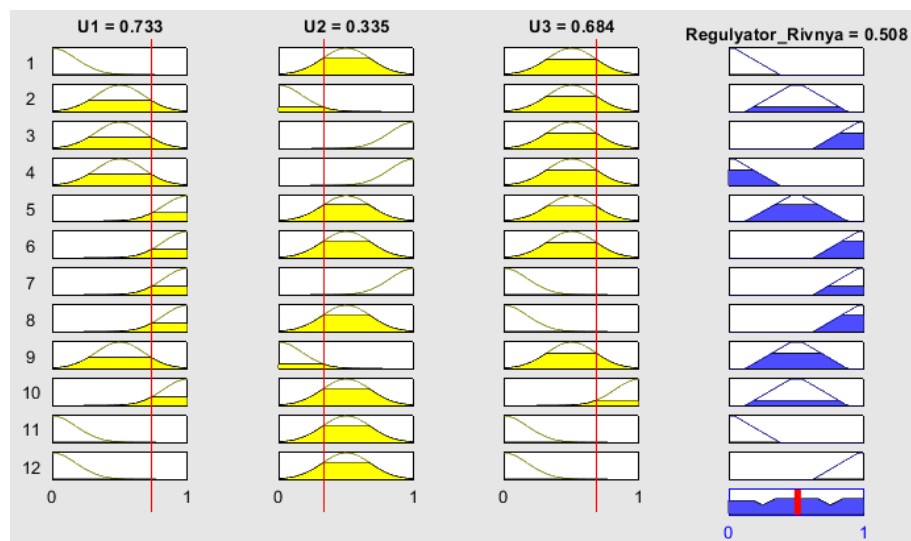


Рисунок 3.8 – Інтерактивний (графічний) вид правил керування рівнем сипких матеріалів (дисперсних речовин)

1. If (U1 is min) and (U2 is middle) and (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Left) (1)
 2. If (U1 is middle) and (U2 is min) and (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Centre) (1)
 3. If (U1 is middle) or (U2 is max) or (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Right) (1)
 4. If (U1 is middle) or (U2 is max) or (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Left) (1)
 5. If (U1 is max) or (U2 is middle) or (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Centre) (1)
 6. If (U1 is max) or (U2 is middle) or (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Right) (1)
 7. If (U1 is max) or (U2 is max) or (U3 is min) then (Regulator_Rivnya is Right) (1)
 8. If (U1 is max) or (U2 is middle) or (U3 is min) then (Regulator_Rivnya is Right) (1)
 9. If (U1 is middle) or (U2 is min) or (U3 is middle) then (Regulator_Rivnya is Centre) (1)
 10. If (U1 is max) and (U2 is middle) and (U3 is max) then (Regulator_Rivnya is Centre) (1)
 11. If (U1 is min) and (U2 is middle) and (U3 is min) then (Regulator_Rivnya is Left) (1)
 12. If (U1 is min) and (U2 is middle) and (U3 is min) then (Regulator_Rivnya is Right) (1)

If U1 is and U2 is and U3 is Then Regulator_Rivnya

min middle min middle min middle Left
 middle middle max none max none Centre
 max max none none none none Right
 none none none none none none none

☐ not ☐ not ☐ not ☐ not

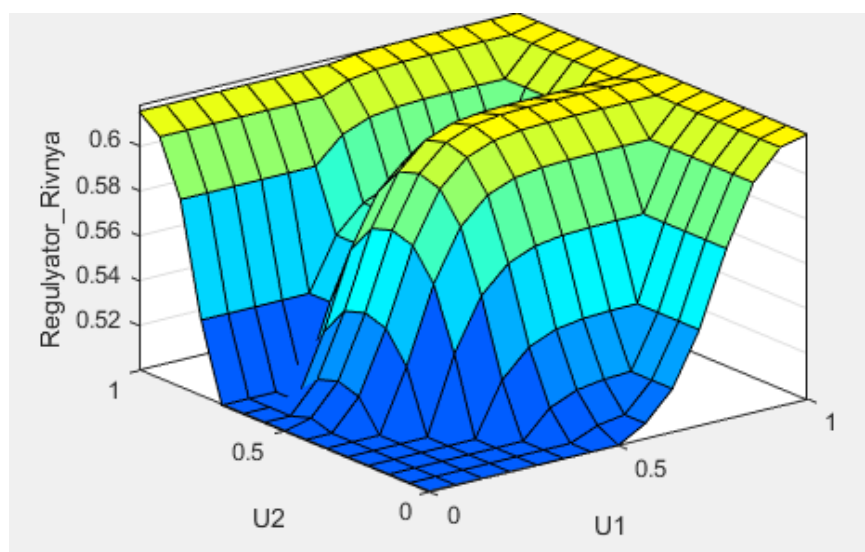
Connection Weight:
☐ or ☒ and 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

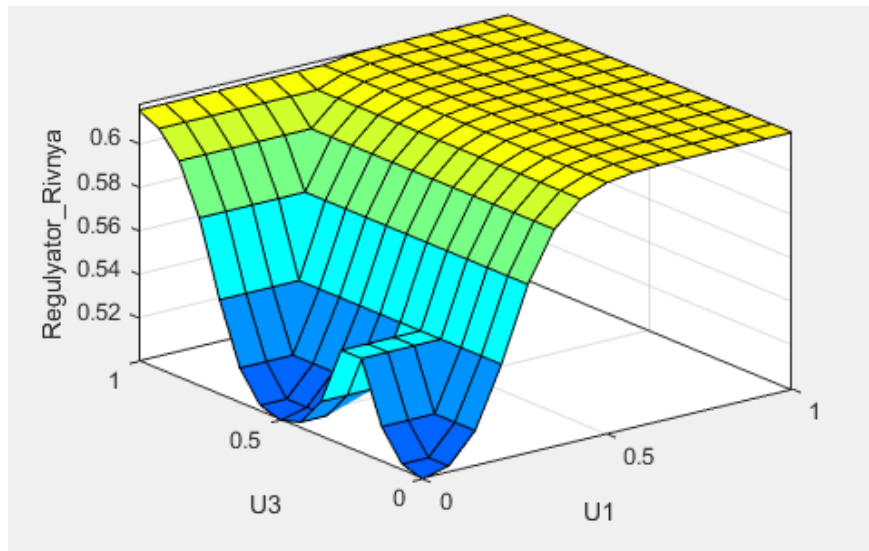
The rule is added Help Close

Рисунок 3.9 – Словесний вигляд правил керування рівнем сипких матеріалів (дисперсних речовин)

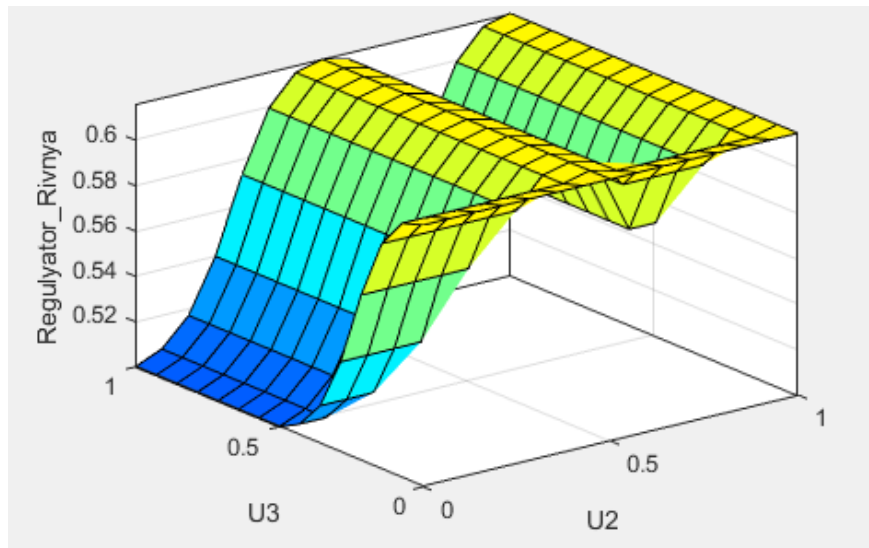
Фінальним етапом досліджень правил керування, які покладені в основу взаємодії розробленої комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, яка призначена задля віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів із комплексами промислової автоматики відповідних підприємств, стали графіки, які показують можливі варіанти під час зонного керування рівнями сипких матеріалів, що показано на рисунку 3.10.



а) Залежність ступенів ШІМ-сигналів регулювання рівнів від U_1 (рівень зліва) і U_2 (рівень по центру)



б) Залежність ступенів ШІМ-сигналів регулювання рівнів від U_1 (рівень зліва) і U_3 (рівень справа)



в) Залежність ступенів ШІМ-сигналів регулювання рівнів від U_2 (рівень по центру) і U_3 (рівень справа)

Рисунок 3.10 – Результати комп'ютерного моделювання інформаційно-вимірювальної технології щодо генерування сигналів ШІМ-керування рівнем сипких матеріалів (дисперсних речовин)

В результаті комп'ютерного моделювання і аналізу отриманих даних відносно досліджуваної моніторингової інформаційно-вимірювальної технології була розроблена і доведена первинна спроможність використання запропонованої вище методики підвищення ефективності комп'ютерної

інформаційно-вимірювальної технології рівня сипких матеріалів (дисперсних речовин) різної природи, що базується на теоретичних положеннях Fuzzy логіки. Отримані результати доводять можливість впровадження реалізованої технології до засобів автоматичного керування рівнем сипких матеріалів та / або дисперсних речовин під час комплексного вирішення задачі автоматизованого рівномірного розподілу матеріалів і речовин за всією поверхнею технологічних ємностей.

3.3 Висновки

Даний розділ був присвячений вирішенню задачі дослідження інформаційно-вимірювальної технології, яка призначена задля віддаленого моніторингу рівня сипких матеріалів та / або дисперсних речовин за допомогою використання методів чисельного і комп'ютерного моделювання. В результаті було отримано наступне:

- описана методика і отримані відповідні результати з чисельного моделювання комп'ютерної моніторингової інформаційно-вимірювальної технології щодо визначення її метрологічних характеристик за окремими вимірювальними каналами;

- запропонована методика і доведена її первинна спроможність щодо підвищення ефективності комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, яка виконує безперервний моніторинг рівня сипких матеріалів та / або дисперсних речовин у дистанційному форматі, що дозволяє рекомендувати її для подальшого впровадження до промислових і сільськогосподарських засобів автоматизації.

ВИСНОВКИ

Дану бакалаврську роботу було присвячено розв'язанню важливого науково-прикладного завдання, яке полягало в розробці структурної схеми і алгоритмічного забезпечення, а також обґрунтуванні методики з поліпшення точності комп'ютерної інформаційно-вимірювальної технології, що призначена задля віддаленого зонального моніторингу рівня сипких матеріалів. До головних результатів роботи відносяться:

1. Перший розділ було спрямовано на вирішення задачі з опису технологічного об'єкту інформаційно-вимірювального комп'ютерного контролю – промислові ємності для зберігання сипких (дисперсних) матеріалів і речовин різної природи й гранулометричного складу, якісного аналізу методів і підходів до проведення вимірювань рівня сипких матеріалів за рахунок використання сенсорних сучасних засобів, а також аналізу головних метрологічних та типових функціональних параметрів комп'ютерної технології-прототипу. В результаті в першому розділі були встановлені домінуючі фактори і складові загальної невизначеності комп'ютерного неруйнівного багатозонного моніторингу рівня дисперсних (сипких) матеріалів і речовин.

2. В другому розділі досягнуто таких результатів: була розроблена структура і сформульований алгоритм дії інформаційно-вимірювальної комп'ютеризованої технології, що виконує дистанційний постійний моніторинг за рівнем сипких матеріалів та / або дисперсних речовин на основі техніки вимірювань за допомогою 3D-радарних давачів та відомих методів і засобів генерування і обробки вимірювальних даних; було обрано модель давача рівня ультразвукового типу EchoTREK й обґрунтовано його принцип дії, а також мікроконтролерний засіб Itearduino ADK Arduino і модуль Wi-Fi-передавача задля можливості реалізації мікрокомп'ютерної обробки та бездротової локальної і віддаленої передачі отриманих результатів моніторингу; були обґрунтовані програмні компоненти для обробки й індикації отриманих

результатів щодо інформаційно-вимірювального зонного моніторингу показників рівня сипких матеріалів та / або дисперсних речовин.

3. Третій розділ роботи було присвячено розв'язанню задачі щодо дослідження інформаційно-вимірювальної комп'ютеризованої технології, що виконує віддалений моніторинг рівня сипких матеріалів та / або дисперсних речовин за рахунок використання способів і алгоритмів числового та комп'ютерного моделювання: встановлена і обґрунтована методика та отримані відповідні кількісні результати з числового моделювання інформаційно-вимірювальної моніторингової технології на предмет визначення її метрологічних параметрів за кожним вимірювальним каналом, що входять до її структури; запропонований алгоритм і доведена ефективність методики відносно удосконалення інформаційно-вимірювальної моніторингової комп'ютеризованої технології рівня дисперсних речовин та / або сипких матеріалів, що, в свою чергу, дозволяє пропонувати розроблену технологію для наступного упровадження до сільськогосподарських і промислових засобів комплексної цифровізації й автоматизації виробничих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Islam N.S., Wasi ur Rahman M. An intelligent SMS-based remote water metering system / Computers and Information Technology. – Bangladesh, 2019. – Conference Edition. – P. 443 – 447.
2. Shaker M., Imran A.A. Greenhouse Micro Climate Monitoring Based On WSN with Smart Irrigation Technique / World Academy of Engineering, Science and Technology, Int. Journal of Electrical, Energetic, Computer, Electronic and Communication Engineering. – Bantul, 2013. – Vol. 7 (12). – P. 1566 – 1571.
3. Johari A., Wahab M.H.A. et al. Tank Water Level Monitoring System using GSM Network / Int. J. Computer Sci. and Info. Tech. – New Delhi, 2021. – Vol. 2 (3). – P. 1114-1120.
4. Live Jurnal. Level meter: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://level-meter.livejournal.com/5358.html>. – Загл. з екрану.
5. Kindawi S., Mahdi A. Remote Monitoring and Automatic Controlling of Water Tank Level Based on GSM: project report / S. Kindawi, A. Mahdi. – Najaf: University College of Humanity Studies, 2017. – 36 p.
6. Arduino. Ультразвуковий сенсор HC-SR-04: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://level-meter.livejournal.com/5358.html>. – Загл. з екрану.
7. Лактіонов І.С. Комп'ютеризовані вимірювачі комплексу фізичних параметрів ґрунтів та мікроклімату промислових теплиць: монографія / І.С. Лактіонов, О.В. Вовна, А.А. Зорі. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 336 с.
8. Вовна О.В. Комп'ютерно-інтегрований моніторинг та керування в промислових теплицях: поточні результати і перспективи досліджень: монографія / О.В. Вовна, І.С. Лактіонов, В.А. Лебедєв. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2020. – 255 с.
9. Давачі рівня сипких речовин. UB: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://analitic.ub.ua/ru/34569-datchiki-urovnya-sypuchih-materialov-raznovidnost-i-preimushchestva-ispolzovaniya.html>. – Загл. з екрану.

10. Теоретические основы информационно-измерительных систем: учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Еременко и др. – Киев: КПИ им. Игора Сикорского, 2014. – 832 с.

11. REMIX: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: – <https://remix.in.ua/ua/p25276200-preobrazovatel-urovnya-ultrazvukovoj.html>. – Загл. з екрану.

12. Перетворювач рівня ультразвуковий. Profikom: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: – <https://profikom.com.ua/ua/p976862702-ultrazvukovoj-preobrazovatel-urovnya.html>. – Загл. з екрану.

13. Arduino.ua. Контроллер Iteaduno ADK Arduino від Itead: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: – <https://arduino.ua/prod3643-kontroller-iteaduno-arduino-adk-ot-itead>. – Загл. з екрану.

14. Arduino. Wi-Fi плата розширення: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: – <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/WiFiShield>. – Загл. з екрану.

15. Matlab. Axoft: [Електронний ресурс]: – Режим доступу: – <https://axoft.com/vendors/Mathworks/MATLAB-Distributed-Computing-Server/>. – Загл. з екрану.

16. Методичні вказівки до розрахунково-графічної та курсової робіт із дисципліни «Метрологія та вимірювальна техніка» [Електронний ресурс] / укладач І.С. Лактіонов. – Покровськ: ДонНТУ, 2021. – 25 с.

17. Поджаренко В.О., Васілевський О.М., Кучерук В.Ю. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності: навч. посібник / В.О. Поджаренко, О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук В.Ю. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.

18. Кирик В.В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В.В. Кирик. – Київ: КПІ ім. Ігора Сікорського, 2019. – 224 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (A.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{HAД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$