

## **Апаратно-програмне моделювання післяаварійного моніторингу АЕС**

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

З початку XXI століття людство переживає четверту промислову революцію Industry 4.0. Цей процес являє собою масове впровадження кіберфізичних систем, засобів оброблення та аналізу великих масивів даних, використання Internet of Things в промисловості та автоматизації, повсюдне оцифрування [1]. Internet of Things пов'язує різні види і типи пристроїв, підприємств, технологій, мобільний зв'язок тощо [2]. Таке об'єднання в рамках промисловості висуває високі вимоги до безпеки, надійності, швидкодії, безперебійної роботи і захисту пристроїв, а також каналів комунікації між ними. Насамперед високі вимоги стосуються об'єктів із критичною інфраструктурою. До категорії таких відносяться атомні електростанції (АЕС). У цій статті запропоновано модель передачі даних у кризовий центр під час аварії, а також описано програмно-технічну реалізацію цієї моделі. Робота присвячена створенню досвідного екземпляра програмно-апаратного комплексу, що імітує процес моніторингу енергоблока АЕС. Програмно-апаратний комплекс є практичною реалізацією однієї із запропонованих моделей систем післяаварійного моніторингу (ПАМС). Розробка складається із двох рівнів. На нижньому рівні, що являє собою апаратний рівень, знаходяться датчики, мікроконтролер, обладнання, на верхньому рівні – інформаційна система, яка дозволяє в рамках кризового центру отримувати значення показників із датчиків у зручному та наочному вигляді зберігати, архівувати дані. Крім того, кризовий центр має можливість керувати системами стабілізації стану енергоблока під час аварії, наприклад вмикаючи охолоджувальні пристрої. Дані з енергоблока можуть оперативно отримувати зовнішні експерти (ЕЕ), що знаходяться в інших країнах світу, не марнуючи при цьому час на встановлення програмних додатків чи специфічного програмного забезпечення. Кризовий центр і група зовнішніх експертів приймають рішення щодо ліквідації аварії або надзвичайної ситуації. Завдяки запропонованій моделі передачі даних виникає можливість отримати якомога більше даних про стан аварії для подальшої ліквідації. Наведено експериментальну частину роботи.

**Ключові слова:** післяаварійний моніторинг, атомна електростанція, кризовий центр, дрони, датчики, мікроконтролер, Інтернет речей.

### **Вступ**

**Постановка задачі.** Останнім часом після низки відомих планетарних катастроф питаннями безпеки експлуатації атомних електростанцій активно займаються у всьому світі. Як міжнародними, так і вітчизняними організаціями створюються системи аварійного та післяаварійного моніторингу атомних електростанцій. Більшість таких систем побудовані на провідних каналах зв'язку, які, в свою чергу, можуть бути пошкоджені під час аварії.

Безпекою атомної енергетики активно займаються як в Україні, так і далеко за її межами. Як український досвід варто відзначити розробки компанії IMPULSE, що вже сьогодні введені в експлуатацію на енергоблоках кількох електростанцій України. Серед таких розробок система післяаварійного моніторингу (ПАМС) [3]. ПАМС має забезпечувати персонал АЕС інформацією про стан енергоблоку під час аварії.

Міжнародні організації, такі, як The International Atomic Energy Agency (IAEA), також займаються розробленням систем післяаварійного моніторингу. Оператори мають перевіряти параметри, пов'язані з аварією. Це можуть бути: потужність реактора, температура та тиск на виході з реактора і т.д. [4] Крім того, зарубіжні приватні компанії займаються розробленням власних ПАМС. Наприклад, в [5] йде мова про те, що більшість електростанцій побудовані в минулому столітті. І цей факт має враховуватися при створенні ПАМС. У запропонованій структурі системи післяаварійного моніторингу для передачі даних використовують оптоволоконні лінії зв'язку, що дозволяє діагностувати велику кількість показників АЕС. Однак у деяких випадках може виникнути необхідність використовувати інші види ліній зв'язку.

Таким чином, розроблення ПАМС з урахуванням різних способів отримання даних з місця аварії, збереження даних та управління підсистемами щодо зменшення негативних наслідків аварії є дуже актуальною науково-прикладною задачею.

**Існуючі рішення.** Автори роботи [6] вважають необхідним створювати незалежну систему моніторингу аварій, що ізольована від вимірювальної системи та системи управління АЕС. Незалежна система моніторингу повинна мати власне джерело живлення. Серед складових запропонованої системи ПАМС є стаціонарна кімната контролю аварійної ситуації (Main Control Room) і мобільна кімната контролю (Remote Mobile Control Room), які отримують дані від сенсорів та інших видів стаціонарного обладнання. Вимірювальні параметри можуть передаватися віддаленим мобільним пристроям за допомогою безпроводного зв'язку. Мобільна кімната контролю може бути розміщена навіть у вантажному автомобілі. Таким чином, центр управління аварійною ситуацією може знаходитися на безпечній відстані від АЕС.

У рамках роботи [7] наведено п'ять моделей інформаційних систем ПАМС, згідно з якими може здійснюватися збирання та передача даних у центр прийняття рішень – кризовий центр (CC). Схема передачі даних із використанням підсистеми SIT може використовуватися на всіх рівнях пошкоджень, згідно з міжнародною шкалою ядерних подій [8] (рис. 1).

Кризовий центр має забезпечити рішення декількох задач, а саме: отримання даних на рівні сигналів, перетворення даних в інформацію, формування з отриманої інформації знань і прийняття рішень експертами щодо ліквідації аварії.

Суть наведеної схеми полягає в тому, що під час аварії дрони підсистеми STD сідають поблизу енергоблока АЕС, а датчики, що розмішені на дронах, знімають показники радіаційного фону, температури, тощо. Кожний пристрій керується мікроконтролером. Показники передаються в Cloud computing засобами безпроводної передачі даних. В Cloud computing оброблюються показники, що передаються у вигляді електричних сигналів. До оброблених даних має доступ кризовий центр та зовнішні експерти, що працюють в інтересах АЕС.

Мобільні вимірювальні пристрої певним чином вже використовувалися раніше. Так, під час аварії на АЕС Фукусима -1 в одному із блоків для вимірювання температури використовувався датчик, встановлений на рейці мобільної платформи. Але у випадку з Фукусимою система моніторингу для екстрених випадків не була розрахована на такі типи аварій.

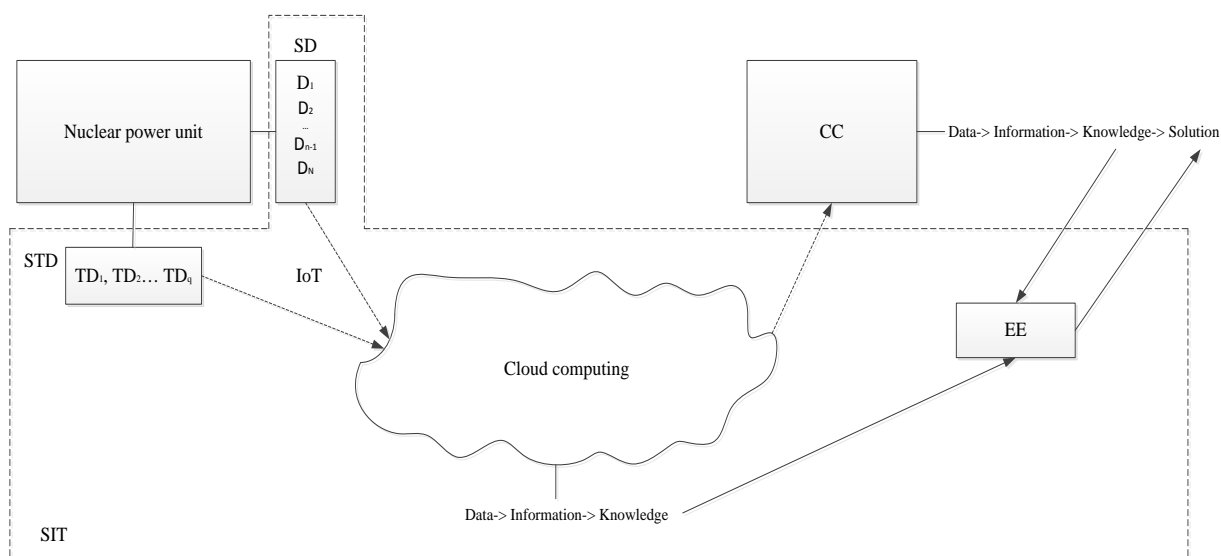


Рис. 1 – Схема передачі даних у кризовий центр

Згідно з наведеною схемою:

$D_1, D_2 \dots D_n$  – стаціонарні датчики АЕС;

$TD_1 \dots TD_q$  – дрони, оснащені датчиками для зняття показників, і відеокамерами;

CC – кризовий центр;

EE – зовнішні експерти.

**Мета роботи.** Однією з важливих задач є розроблення апаратно-програмних систем для аналізу, оброблення і зберігання даних, а також регулювання і управління частинами режимного об'єкта.

Метою даної роботи є створення апаратно-програмного комплексу, який дозволяє приймати значення з вимірювальних датчиків, на основі отриманих даних – керувати системами об'єкта, відображати і протоколювати хід проходження робочого процесу. Датчики можуть знаходитися на дронах, які сідають поблизу енергоблока АЕС, або є стаціонарними датчиками АЕС.

У рамках даної роботи пропонується практично реалізувати схему передачі даних за участю підсистеми SIT, без використання взаємодії з хмарним сховищем (рис. 2).

Основні завдання апаратно-програмного комплексу є такими:

- а) зчитування значень фізичних величин із датчиків;
- б) перетворення аналогових сигналів у цифровий вигляд;
- в) управління системами освітлення і регулювання температури;
- г) організація обміну даними між персональним комп'ютером і пристроєм управління;
- д) графічне відображення і протоколювання ходу роботи режимного об'єкта.

Для створення комплексу слід провести аналіз і вибір необхідних апаратних складових комплексу, а також програмних засобів управління ними.

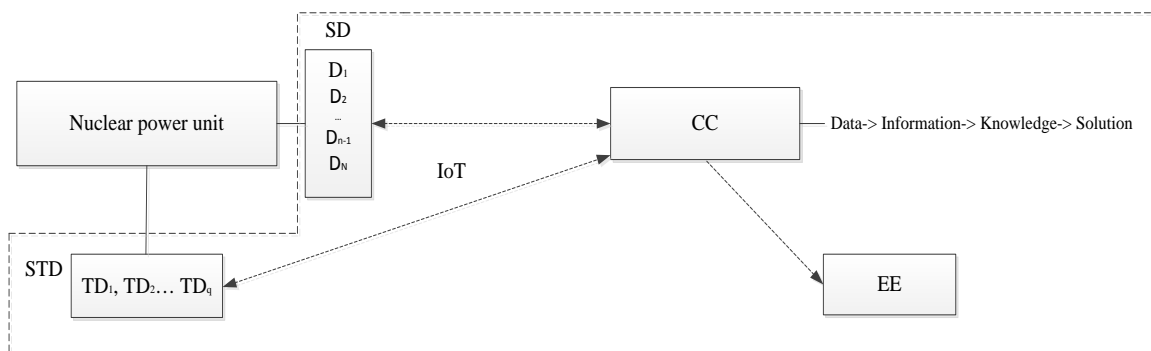


Рис. 2 – Схема передачі даних на основі підсистеми SIT

На основі сформованих вимог до апаратно-програмного комплексу, була створена його структурна схема, що зображена на рис. 3.

У даній системі виконавчими пристроями виступатимуть системи освітлення та регулювання температури. Для імітації роботи виконавчих пристроїв використовують світлодіоди різних кольорів. Для вирішення завдання зчитування, перетворення і вироблення керуючих сигналів застосовано апаратно-програмну платформу Arduino Uno. Для регулювання рівня освітленості і температури режимного об'єкта необхідно мати пристрої, що реєструють дані фізичні явища. Такими пристроями є різні види і типи вимірювальних датчиків. У даній роботі використовували датчики температури і освітленості, але в реальних умовах експлуатації розроблювального програмно-апаратного комплексу можуть бути використані інші види датчиків, у тому числі датчики для вимірювання радіаційного фону. Для організації бездротового обміну даними між платформою Arduino Uno та ПК було вибрано модуль Bluetooth HC-06. Для коректної та правильної роботи датчиків необхідно забезпечити постійність і стабілізацію вхідної напруги. Це досягається шляхом використання постійної напруги 12 В, яка потім понижується за рахунок лінійного стабілізатора напруги L7805CV.

Для правильного функціонування комплексу необхідно програмне забезпечення двох рівнів:

- а) програма керування платформою Arduino Uno;
- б) прикладна програма моніторингу і протоколювання для операційної системи Windows.

Для реалізації прийому і перетворення інформації з датчиків і відправлення отриманих даних на персональний комп'ютер необхідно створити програму управління платформою Arduino Uno.

Для реалізації прийому, оброблення, відображення та зберігання інформації, а також видачі керуючих команд на системи освітлення, обігріву і охолодження режимного об'єкта необхідно створити прикладну програму високого рівня для персонального комп'ютера користувача. Для вирішення даного завдання була вибрана програмна платформа від компанії Microsoft .NET Framework.

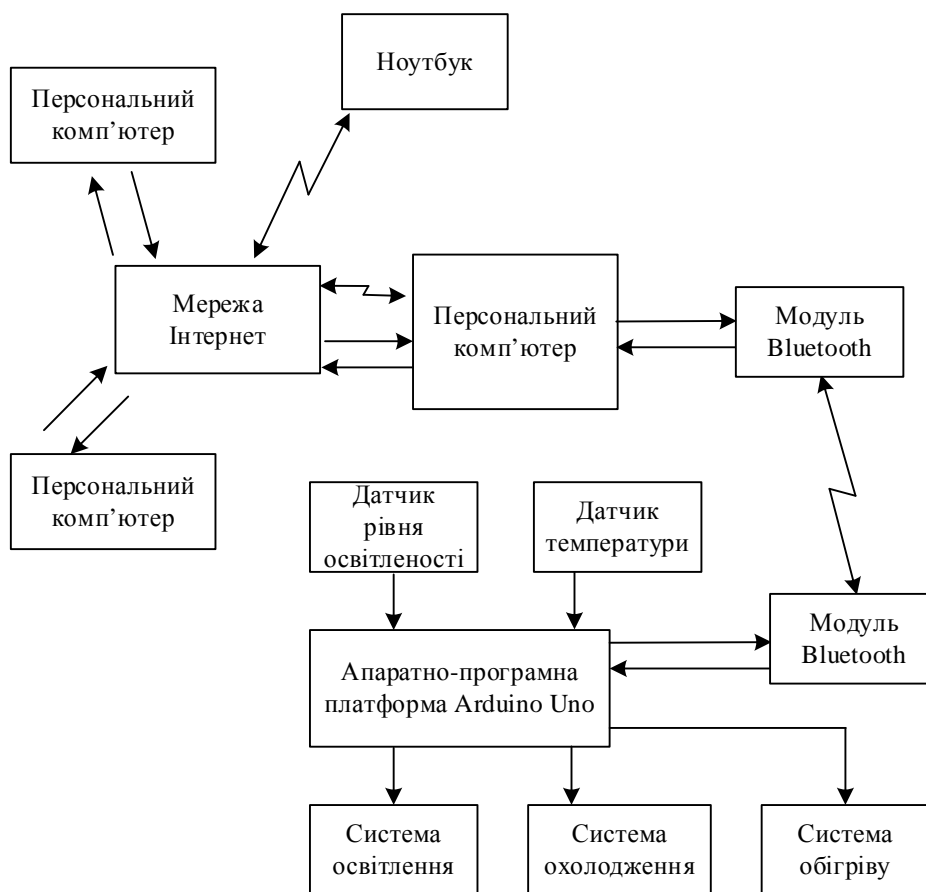


Рис. 3 – Структурна схема комплексу

### 1 Конструкція та принцип роботи апаратної частини комплексу

Електрична-принципова схема (рис. 4) складається з платформи Arduino Uno D2, яка живиться через конектор X1 моделі AMT 171822-4 постійною напругою 5В. До платформи через виводи 6,7 підключений модуль Bluetooth D4 моделі HC-06, він живиться постійною напругою 3.3 В.

Датчик температури D1 підключений до виводу A0, датчик освітленості R1 – до виводу A1, які є аналоговими входами платформи Arduino Uno. Живлення до датчиків подається від конектора X1 AMT1718122-4 через лінійний стабілізатор D3 LM7805CV.

Світлодіоди VD1..VD3, що імітують роботу систем режимного об'єкта, підключені через резистори R3..R4 до дискретних виводів 3,5,6.

Робоча модель зображена на рис. 5.

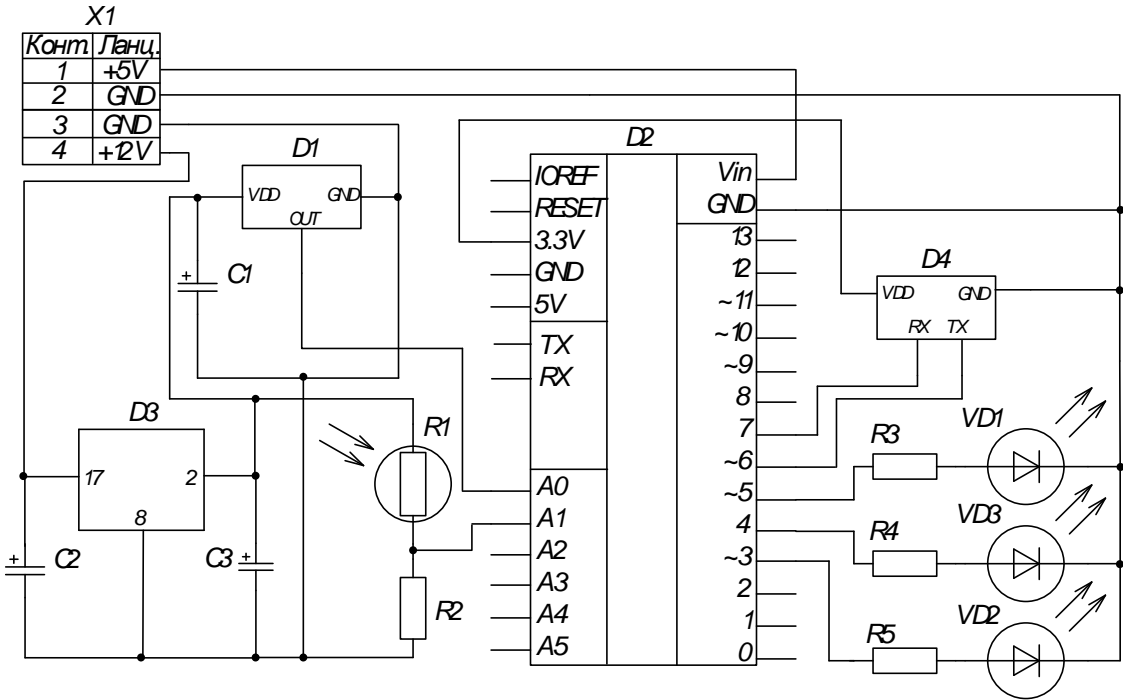


Рис. 4 – Електрична-принципова схема



Рис. 5 – Робоча модель апаратної частини комплексу

Для організації одноманітного способу передачі даних необхідно створити мову, яку «розуміють» ПК оператора і платформа Arduino Uno. Протокол передачі даних – набір угод опису команд, які визначають обмін даними між різними програмами/пристроями. Загальна структура розробленого способу зображена на рис. 6.

Код функції	Блок даних	Блок виявлення помилок
-------------	------------	------------------------

Рис. 6 – Структура протоколу обміну даними

Код функції являє собою ціле невід'ємне число розміру 1 байт. Задачі, що реалізує кожна з функцій, описано в таблиці 1.

Опис роботи функцій

Таблиця 1

Код функції	Задачі
1	Почати роботу комплексу
2	Зупинити роботу комплексу
3	Автоматичне регулювання рівня освітленості (задати порогове значення освітленості)
4	Ручне регулювання рівня освітленості (ввімкнути/вимкнути систему освітлення)
5	Автоматичне регулювання температури (задати максимальне значення температури)
6	Автоматичне регулювання температури (задати мінімальне значення температури)
7	Ручне регулювання температури (ввімкнути/вимкнути систему обігріву)
8	Ручне регулювання температури (ввімкнути/вимкнути систему охолодження)
9	Почати відправлення даних із датчиків на ПК оператора
10	Зупинити відправлення даних із датчиків на ПК оператора

## 2 Розроблення програми управління платформою Arduino Uno

Програма управління мікроконтролерним пристроєм Arduino має вирішувати такі завдання:

- а) зчитування значень із датчиків;
- б) перетворення отриманих даних до необхідного вигляду (перетворення напруги в освітленість и т.д.);
- в) вибір автоматичного або ручного режиму регулювання параметрів системи відповідно до команд програми верхнього рівня;
- г) обмін даними за послідовним інтерфейсом між ПК і платформою Arduino Uno.

Програма управління реалізує кілька завдань різного призначення і спрямованості. Такими завданнями є робота з послідовним інтерфейсом, а також робота з датчиками.

З метою підвищення швидкості роботи програмного забезпечення нижнього рівня було прийнято рішення використовувати техніку асинхронних викликів методів (багатопоточність). С-подібна мова Processing-Wiring має багатий функціонал і містить у собі вбудовані бібліотеки для роботи з багатопоточністю.

У першому потоці виконується зчитування набору байтів із послідовного інтерфейсу, вироблення команди на основі отриманих даних і виконання дій відповідно до команди. У другому потоці відбувається зчитування значень датчиків і відправлення цих даних по послідовному інтерфейсу на персональний комп'ютер користувача.

Загальний алгоритм роботи програми управління платформою Arduino Uno показаний на рис. 7.

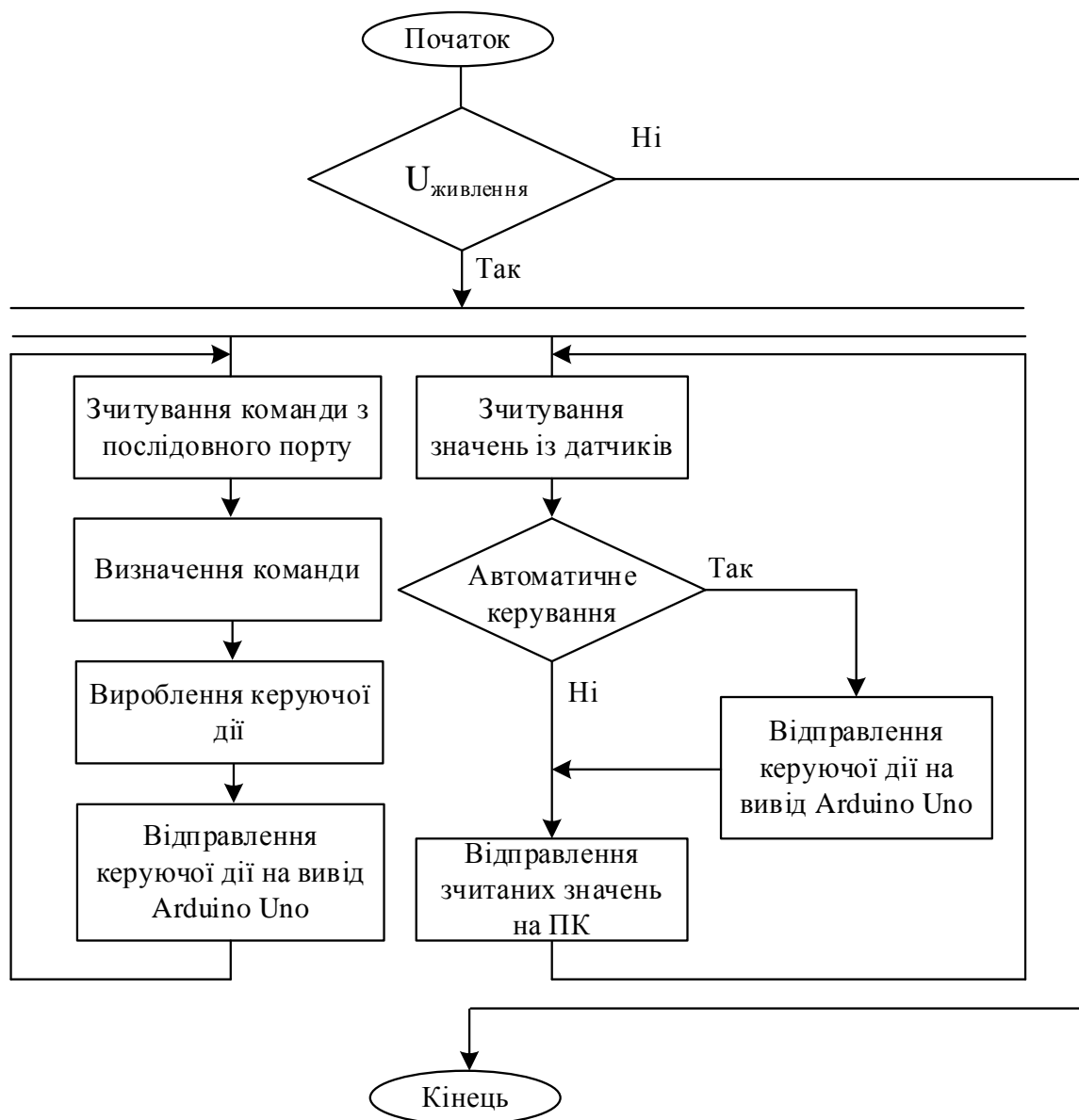


Рис. 7 – Блок-схема алгоритму роботи програми управління платформою Arduino Uno

### 3 Створення програми моніторингу та протоколювання

Програмне забезпечення верхнього рівня має вирішувати такі завдання:

- а) організовувати обмін даними за послідовним інтерфейсом між ПК і платформою Arduino Uno;
- б) організовувати виведення отриманої за послідовним інтерфейсом інформації у вигляді таблиць і графіків;
- в) надавати зручний і зрозумілий користувачеві інтерфейс взаємодії з комплексом;
- г) виконувати протоколювання ходу роботи технологічного процесу в базу даних;
- д) надавати можливість віддаленого доступу до ПК оператора засобами мережі Інтернет. Реалізація наведеного завдання дозволить швидко отримувати



результати протоколювання та моніторингу зовнішніми експертами, що можуть бути залучені навіть з інших країн світу.

Реалізація завдань, наведених в пунктах а – г, призначена для кризового центру, що знаходиться неподалік АЕС, але на безпечній відстані від енергоблоків.

Програмне забезпечення верхнього рівня було написано мовою програмування C# у середовищі розробки Visual Studio 2017.

Для створення програми використовували технологію Windows Forms, яка призначена для створення віконних додатків операційної системи Windows. Вона має великий набір готових компонентів і рішень для роботи з таблицями та графіками.

Таким чином, програма моніторингу і управління має виконувати наступні дії:

- а) встановлювати з'єднання з платформою Arduino Uno через USB порт;
- б) формувати команди управління, що «розуміє» програма управління платформи Arduino Uno;
- в) відправляти команди управління по послідовному інтерфейсу;
- г) приймати потоки вхідних значень із послідовного порту USB;
- д) перетворювати отримані значення в зрозумілий користувачеві вид;
- е) відображати у вигляді таблиць і графіків динаміку зміни показників освітленості і температури об'єкта в режимі реального часу;
- ж) зберігати отримані з послідовного порту дані в файл Excel у вигляді таблиць і результуючих графіків;
- з) за необхідності створювати веб-службу для створення можливості віддаленого доступу до отримуваних даних, що в разі необхідності будуть використовувати зовнішні експерти.

Загальний алгоритм роботи програми моніторингу та протоколювання показаний на рис. 8.

У ході роботи над проектом було розроблено програмне забезпечення двох рівнів: програма керування платформи Arduino Uno та високорівневий додаток моніторингу і протоколювання роботи режимного об'єкта.

Був створений .exe файл додатка для операційної системи Windows, а також .ino файл, призначений для прошивки платформи Arduino Uno. Головне вікно додатка для оператора кризового центру зображено на рис. 9. Для використання розробленого програмного забезпечення необхідно відкрити файл TempLightControl.ino і виконати прошивку мікроконтролера. Після цього оператор кризового центру має запустити додаток TempLightControl.exe і виконати певні дії для налаштування моніторингу:

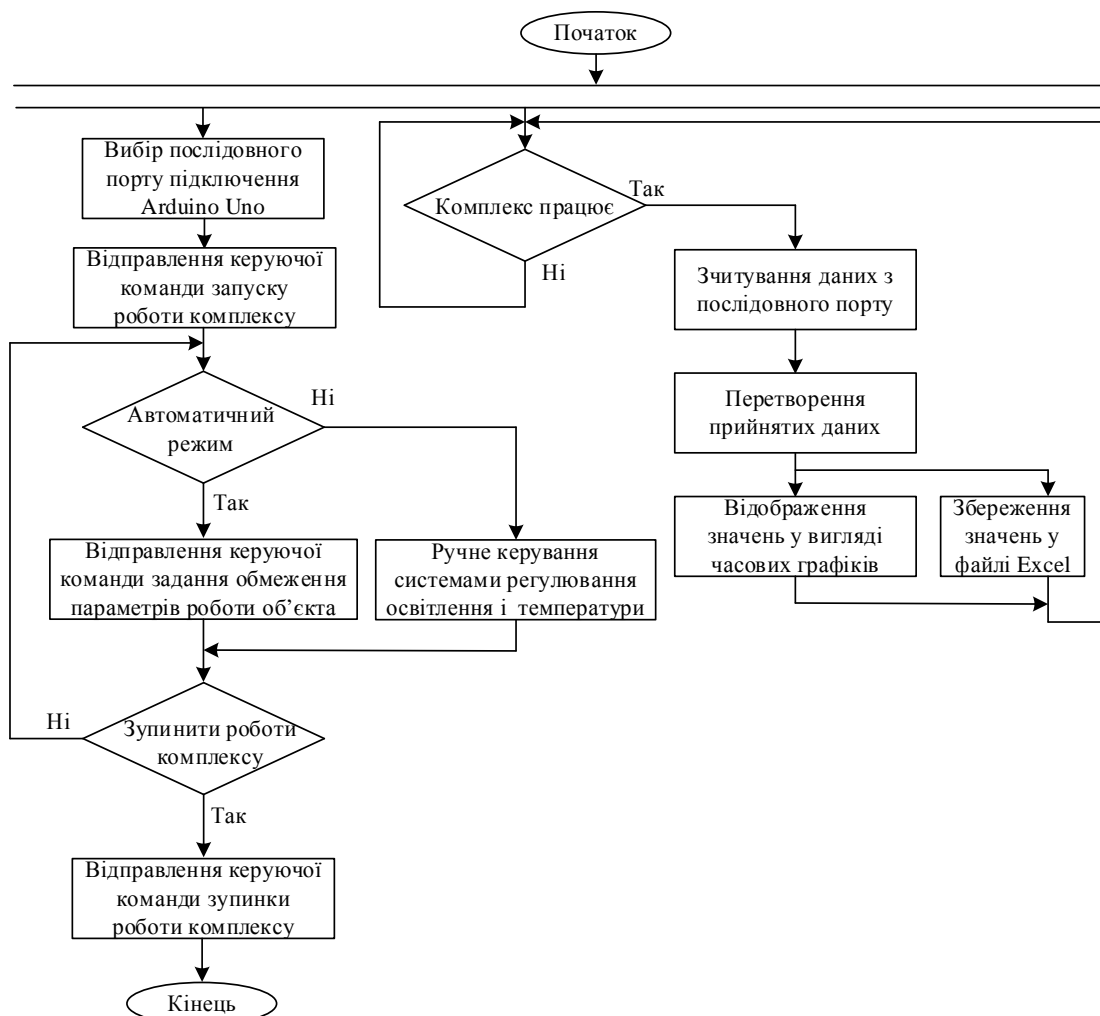


Рис. 8 – Блок-схема алгоритму роботи програми моніторингу та протоколювання

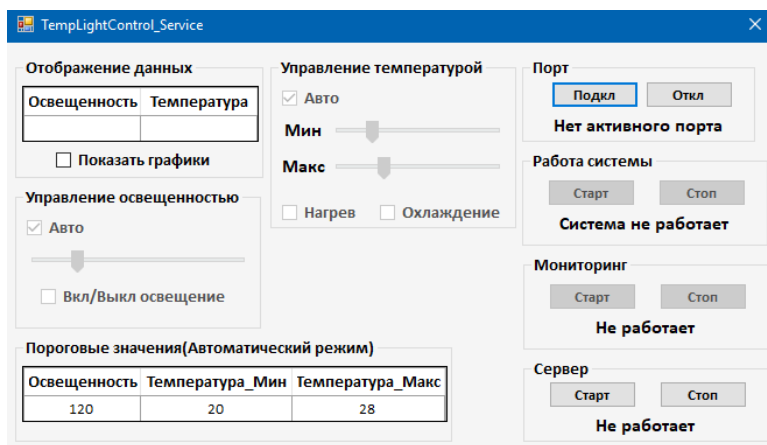


Рис. 9 – Рабочее окно додатка TempLightControl.exe – Використовуючи Bluetooth модуль, підключитися до платформи Arduino (рис. 10).

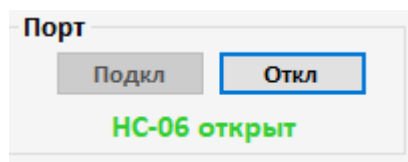


Рис. 10 – Вибір необхідного USB порту

– Почати/зупинити роботу комплексу (див. рис. 11).

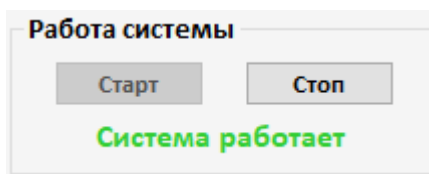


Рис. 11 – Почати / зупинити роботу комплексу

– Використовуючи елементи множинного вибору CheckBox, вибрати необхідний режим роботи систем комплексу (рис. 12):

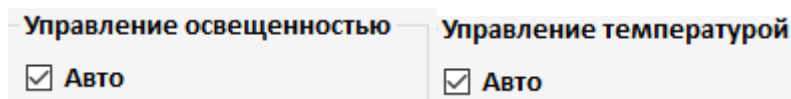


Рис. 12 – Вибір необхідного режиму роботи комплексу

– Використовуючи «бігунки» в автоматичному режимі, задати порогові значення температури (від 0 до +100 °C) і освітленості (від 0 до 600 лк) режимного об'єкта (див. рис. 13).

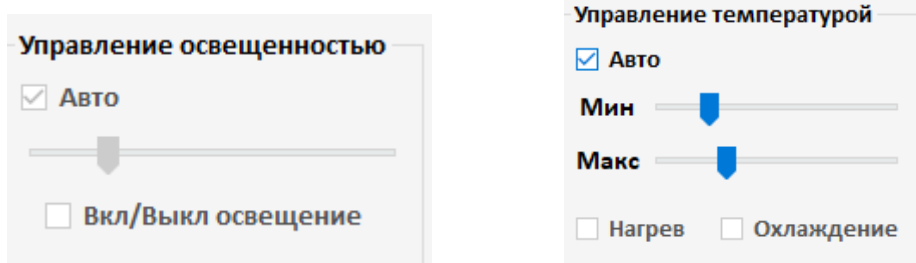


Рис. 13 – Завдання порогових значень температури і освітленості в автоматичному режимі

– Використовуючи «бігунки» в ручному режимі, можна керувати системою освітлення, а також вмк/вимк системи нагрівання і охолодження (рис. 14).

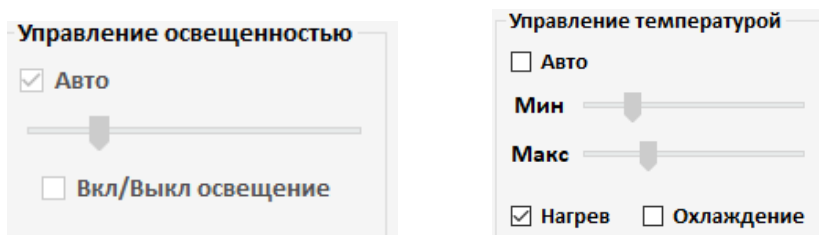


Рис. 14 – Вмк/вимк системи регулювання температури і яскравості системи освітлення

– Увімкнути/вимкнути моніторинг роботи комплексу. При активації моніторингу актуальні значення, одержувані з платформи Arduino Uno, відображаються в таблиці і на графіках Chart (рис. 15, 16, 17);

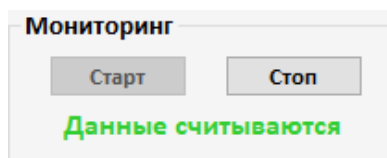


Рис. 15 – Вмк/вимк моніторинг роботи комплексу

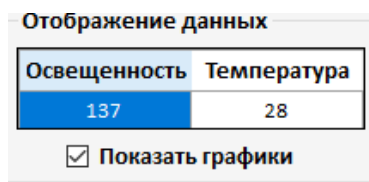


Рис. 16 – Відображення значень фізичних величин у табличному вигляді

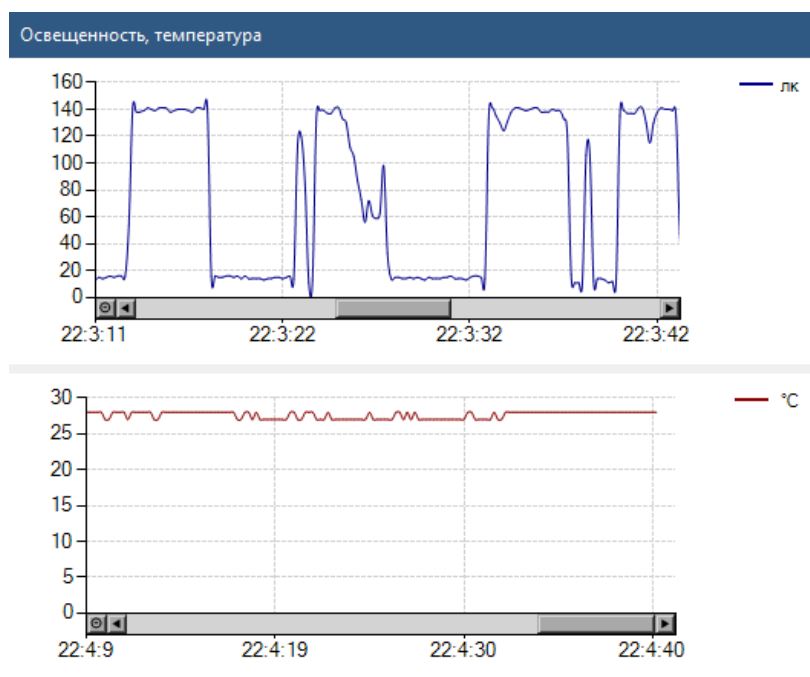


Рис. 17 – Відображення значень фізичних величин у вигляді графіків

– Після зупинки моніторингу або закриття програми TempLightControl.exe в каталозі з файлом створюється папка Result, що містить протоколи з інформацією про роботу проведених процесів у вигляді таблиць і графіків Excel (див. рис. 18, 19, 20).

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
Result	03.12.2017 22:08	Папка с файлами	
TermoLightControl.exe	12.11.2017 18:58	Приложение	44 КБ

Рис. 18 – Каталог з .exe файлом

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
Date-03.12.2017_time-22.4.43.xlsx	03.12.2017 22:04	Лист Microsoft Ex...	51 КБ
Date-29.11.2017_time-12.53.54.xlsx	29.11.2017 12:53	Лист Microsoft Ex...	30 КБ
Date-29.11.2017_time-13.1.28.xlsx	29.11.2017 13:01	Лист Microsoft Ex...	58 КБ

Рис. 19 – Протоколы роботи режимного об'єкта у форматі .xlsx

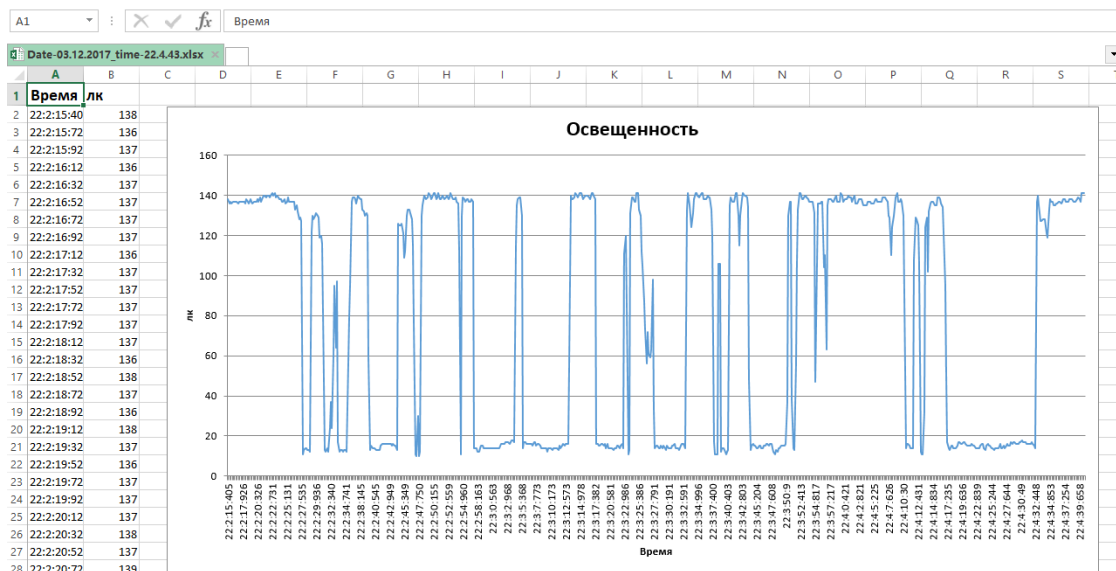


Рис. 20 – Отримані і перетворені з вимірювальних датчиків дані

– Для отримання віддаленого доступу до показань датчиків освітленості і температури зовнішні експерти мають скористатися додатком ClientCharts.exe. Для використання цієї програми не потрібно установлювати спеціальне програмне забезпечення. Достатньо лише запустити додаток. У полі введення ввести ір адресу серверного ПК (комп'ютера оператора кризового центру) і, таким чином, підключитися до веб-служби (рис. 21, 22).

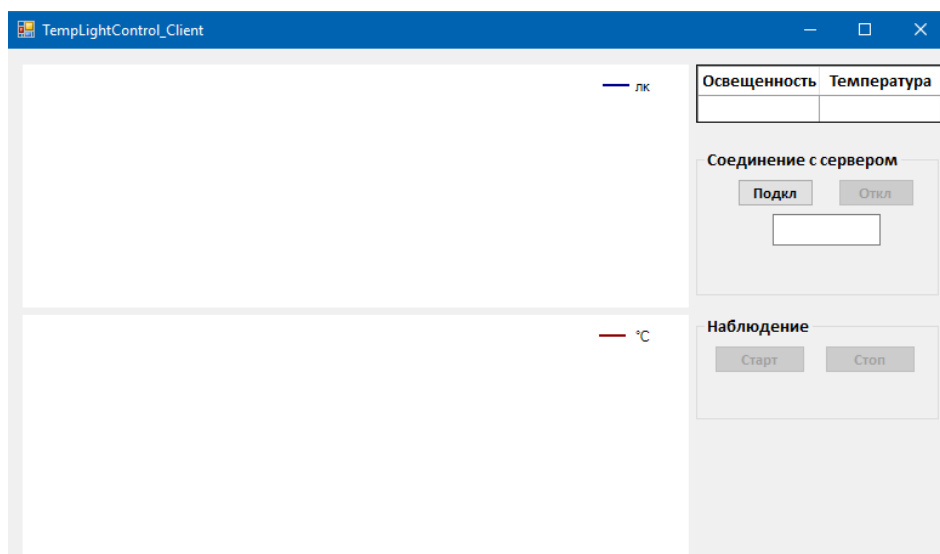


Рис. 21 – Зовнішній вигляд додатка при підключенні до веб-служби

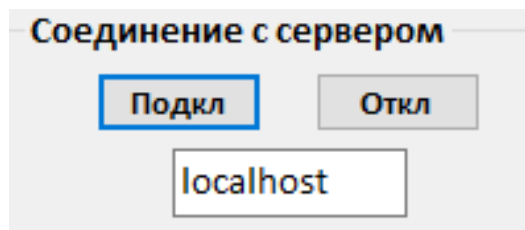


Рис. 22 – Підключення до веб-служби

Після ввімкнення спостереження на графіках та у табличному вигляді почнуть відображатися актуальні дані (рис. 23).

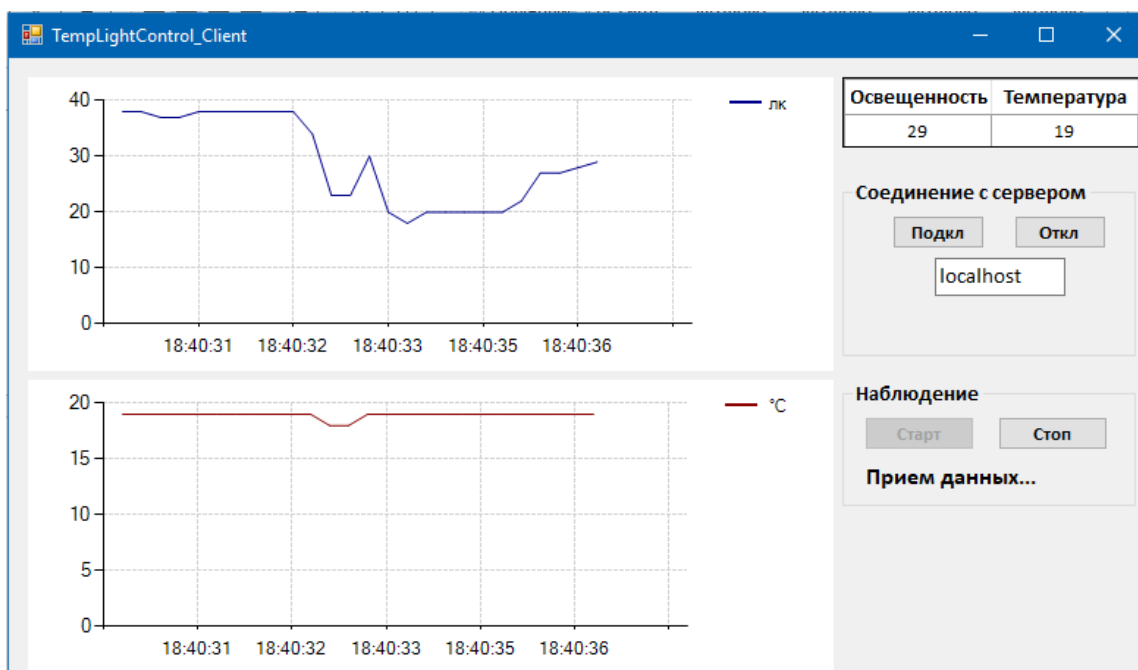


Рис. 23 – Відображення значень фізичних величин у вигляді графіків

Даний апаратно-програмний комплекс був протестований в штучних умовах.

### Висновки

Розроблена інформаційна система для ПАМС відповідає певним вимогам, сформульованим у статті [9], а також забезпечує зберігання (архівування) інформації під час проектних і запроектних аварій; передбачає інформаційну підтримку зовнішнього і внутрішнього кризових центрів за рахунок реєстрації та відображення інформації. Даних ПАМС достатньо для відтворення низки подій, що спричинили аварію. Серед вимог ПАМС має складатися з програмно-технічного комплексу, що забезпечує оброблення і подання параметрів моніторингу працівників кризових центрів.

Створений програмно-апаратний комплекс є експериментальним зразком і тому має певні вади. Інтервал часу між зняттям показників із кожного датчика становить менше секунди. В реальних умовах кількість різноманітних датчиків для зняття показників перевищує десятки тисяч, що призводить до появи величезних масивів даних. Такі дані навіть у графічному вигляді в реальному

режимі часу погано сприймаються операторами. З точки зору норм щодо інформаційної системи ПАМС [10] наведена інформація не має бути надлишковою. Для досягнення цього мають бути використані певні технології та методи, що зменшують об'єми даних, але при цьому не впливають на точність відображення картини аварійної ситуації, крім того, дозволяють спрогнозувати перебіг подій через певний проміжок часу. Серед засобів оброблення таких даних у статті [11] запропоновано використовувати: Naive Bayes, AdaBoostM1, PART (Partial Decision Trees), Random Forest, Genetic Algorithm. Наведені алгоритми на даний момент уже використовують для аналізу даних дорожньо-транспортних пригод і автомобільних аварій.

Серед можливих технологій оброблення даних можна відмітити алгоритм, де система моніторингу сповіщає операторів кризового центру, не про всі показники [12]. Система порівнює сигнал із пороговими значеннями, які зберігаються в системі, і аварійні попередження генеруються у випадку, коли параметри перевищують порогові значення. Сигнали можуть бути наведені як у цифровому, так і в аналоговому вигляді. В статті виділено певний список найважливіших параметрів для моніторингу, але запропонована ПАМС не передбачає використання засобів IoT для отримання сигналів. Але в цей час засоби IoT з поєднанням мікроконтролерних пристроїв активно використовується як для моніторингу аварійних ситуацій, так і для попередження аварій чи інцидентів, що можуть спричинити загибель людей [13].

### Список літератури

1. Чеклецов, В. Четвёртая революция: Интернет вещей [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ncca.ru/file?Files&141>.
2. Industry 4.0 landscape of Ukraine. Available at: <https://appau.org.ua/publications/industry-4-0>
3. Accident and post-accident monitoring system (PAMS). Available at: <http://imp.lg.ua/index.php/en/pamas-2>.
4. Accident monitoring systems for nuclear power plants. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015, 100 p.
5. Common Q™ Post-accident Monitoring System Solution. Westinghouse Electric Company, 2018. Available at: [http://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/adam/Content/\\_ELxuCCzU0SgJEI8-X1vcg/PDF/NA-0008%20Common%20Q%20Postaccident%20Monitoring%20System.pdf](http://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/adam/Content/_ELxuCCzU0SgJEI8-X1vcg/PDF/NA-0008%20Common%20Q%20Postaccident%20Monitoring%20System.pdf).
6. Chang-Hwoi Kim, Sup Hur, Kwang-Sub Son, Tong-II Jang «Development of Post-Accident Monitoring System for Severe Accidents», Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM, Honolulu, Hawaii, 2014, No. 12.
7. Expert assessment of post accident monitoring systems with multi-version structures, L. Lutai, V. Kharchenko, R. Fedorenko, M. Fedorenko the 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, 2018.
8. International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), IAEA. Available at: <https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines>.
9. Трубчаников, С.А. Сопоставление требований к системам послеаварийного мониторинга атомных электростанций, Aerospace Engineering and Technology. – 2013. – No. 5(64). – p. 100 –104.

10. Норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій [Текст] / проект Госатомрегулювання України, 66 с.

11. S. Krishnaveni, Dr.M. Hemalatha "A Perspective Analysis of Traffic Accident using Data Mining Techniques", International Journal of Computer Applications, 2011. – No. 7(23). – p. 40–48.

12. M. Sivaramakrishna, C. P. Nagaraj, K. Madhusoodanan "Post Accident Monitoring in PFBR—Safety in Nuclear Power Plant", Engineering Management Research, Published by Canadian Center of Science and Education, 2014. – No. 2(3). – p. 47–51.

13. S.R. Aishwarya, Rai Ashish, Charitha, M.A. Prasanth, S.C. Savitha "An IoT Based Accident Prevention & Tracking System for Night Drivers", International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 2015, No. 3(4), pp. 3493–3499.

### References

1. Chekletsov, V. Chetvërtaya revolyutsyya: Ynternet veshchey [Fourth Revolution: Internet of Things]. — Available at: <http://www.nttsa.ru/file?Files&141>.

3. Industry 4.0 landscape of Ukraine. Available at: <https://appau.org.ua/publications/industry-4-0>

3. Accident and post-accident monitoring system (PAMS). Available at: <http://imp.lg.ua/index.php/en/pamas-2>.

4. Accident monitoring systems for nuclear power plants. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015, 100 p.

5. Common Q™ Post-accident Monitoring System Solution. Westinghouse Electric Company, 2018. Available at: [http://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/adam/Content/\\_ELxuCCzU0SgJEI8-X1vcg/PDF/NA-0008%20Common%20Q%20Postaccident%20Monitoring%20System.pdf](http://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/adam/Content/_ELxuCCzU0SgJEI8-X1vcg/PDF/NA-0008%20Common%20Q%20Postaccident%20Monitoring%20System.pdf).

6. Chang-Hwoi Kim, Sup Hur, Kwang-Sub Son, Tong-II Jang «Development of Post-Accident Monitoring System for Severe Accidents», Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM, Honolulu, Hawaii, 2014, No. 12.

7. Expert assessment of post accident monitoring systems with multi-version structures, L. Lutai, V. Kharchenko, R. Fedorenko, M. Fedorenko the 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, 2018.

8. International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), IAEA. Available at: <https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines>.

9. Trubchanykov, S.A. Sopostavlenye trebovaniy k systemam posleavariynoho monitorynha atomnykh elektrostantsiy [Comparison of requirements for systems of post-accident monitoring of nuclear power plants], Aerospace Engineering and Technology. – 2013. – No. 5(64). – p. 100 –104.

10. Normy ta pravyla z yadernoyi ta radiatsiynoyi bezpeky. Vymohy z yadernoyi ta radiatsiynoyi bezpeky do informatsiynykh i keruyuchykh system, vazhlyvykh dlya bezpeky atomnykh stantsiy [The norm that the rules of nuclear and radio security. Vimogs from nuclear and radio security to information systems



and smart systems that are important for nuclear security stations] / *proekt Hosatomrehulyuvannya Ukrayiny*, 66 p.

11. S. Krishnaveni, Dr.M. Hemalatha “A Perspective Analysis of Traffic Accident using Data MiningTechniques”, *International Journal of Computer Applications*, 2011. – No. 7(23). – p. 40–48.

12. M. Sivaramakrishna, C. P. Nagaraj, K. Madhusoodanan “Post Accident Monitoring in PFBR—Safety in Nuclear Power Plant”, *Engineering Management Research*, Published by Canadian Center of Science and Education, 2014. – No. 2(3). – p. 47–51.

13. S.R. Aishwarya, Rai Ashish, Charitha, M.A. Prasanth, S.C. Savitha “An IoT Based Accident Prevention & Tracking System for Night Drivers”, *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 2015, No. 3(4), pp. 3493–3499.

Поступила в редакцию 22.05.2019, розглянута на редколегії 23.05.2019

## **Программно-техническая модель поставарийного мониторинга АЭС**

С начала XXI века человечество переживает четвертую промышленную революцию Industry 4.0. Этот процесс представляет собой массовое внедрение киберфизичних систем, систем обработки и анализа больших массивов данных, использование InternetofThings в промышленности и автоматизации, повсеместная оцифровка [1]. InternetofThings тесно связывает различные виды и типы устройств, предприятия, технологии, мобильная связь и т.д. [2]. Такое объединение в рамках промышленности предъявляет высокие требования к безопасности, надежности, быстродействию, бесперебойной работе и защите устройств, а также каналов коммуникации между ними. Прежде всего высокие требования касаются объектов с критической инфраструктурой, к категории которых относятся атомные электростанции (АЭС). В данной статье предложена модель передачи данных в кризисный центр во время аварии, а также представлена программно-техническая реализация предложенной модели. Данная работа посвящена созданию исследовательского экземпляра программно-аппаратного комплекса, имитирующего процесс мониторинга энергоблока АЭС. Программно-аппаратный комплекс является практической реализацией одной из предложенных моделей систем послеаварийного мониторинга (РАМС). Разработка состоит из двух уровней: на нижнем уровне –представляет собой аппаратный уровень, находятся датчики, микроконтроллер, оборудования. На верхнем уровне находится информационная система, которая позволяет в рамках кризисного центра получать значения показателей с датчиков в удобном и наглядном виде, хранить, архивировать данные. Кроме того, кризисный центр имеет возможность управлять системами стабилизации состояния энергоблока при аварии, например, включая охладительные устройства. Данные об энергоблоке могут оперативно получать внешние эксперты (ЕЕ), находящиеся в других странах мира, не теряя при этом время на установку приложений или специфического программного обеспечения. Кризисный

центр и группа внешних экспертов принимают решения по ликвидации аварии или чрезвычайной ситуации. Благодаря предложенной модели передачи данных появляется возможность получить как можно больше данных о состоянии аварии для дальнейшей ликвидации. В статье также представлена экспериментальная часть работы.

**Ключевые слова:** послеаварийный мониторинг, атомная электростанция, кризисный центр, дроны, датчики, микроконтроллер, Интернет вещей.

## **Software and technical model of post-emergency monitoring of nuclear power plants**

From the beginning of the XXI century mankind is experiencing the fourth Industrial Revolution Industry 4.0. This process is a massive introduction of cyber-physics systems, systems for processing and analysis of large data arrays, the use of Internet of Things in industry and automation, and widespread digitization [1]. Internet of Things closely connects various types and types of devices, enterprises, technology, mobile communications, etc. [2]. Such an association within the industry poses high requirements for safety, reliability, speed, uninterrupted work and protection of devices, as well as communication channels between them. On its own, high requirements apply when it comes to objects with critical infrastructure. The category of such include nuclear power plants (NPPs). In this article, a model for data transmission to a crisis center in the event of an accident is proposed. Also presented software and technical implementation of the proposed model. This work is devoted to the creation of a prototype of a software and hardware complex simulating the process of monitoring the NPP power unit. Software-hardware complex is a practical implementation of one of the proposed models of systems after emergency monitoring (RAMS). The development consists of two levels. At the lower level, which is the hardware level, there are sensors, microcontroller, hardware. At the upper level is the information system, which allows within the crisis center to get the values of indicators from the sensors in a convenient and visual form, to store, archive data. In addition, the crisis center has the ability to control the system stabilization of the power unit during an accident, for example, by switching on cooling devices. Data from the power unit can be quickly received by external experts (EEs) located in other countries of the world, without losing time to install software applications or specific software. Crisis center and a group of external experts take decisions on the elimination of the accident or through the usual situation. Due to the proposed model of data transmission, it is possible to obtain as much data as possible about the state of the accident for further liquidation. The article also presents the experimental part of the work.

**Keywords:** after emergency monitoring, nuclear power plant, crisis center, drone, sensors, microcontroller, Internet of things.

**Відомості про авторів:**

**Лутай Людмила Миколаївна** – к.т.н., доцент кафедри Мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, Ludmila.Lutay17@gmail.com, ORCID 0000-0003-1822-8938.

**Добросол Кирило Андрійович** – студент 359 групи, кафедри Мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, kirill.dobrosol@gmail.com.

**About the authors:**

**Lutai Liudmyla** – Ph.D, Associate Professor, Department of Mechatronics and electrical engineering, National Aerospace University, M. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, ORCID 0000-0003-1822-8938.

**Dobrosol Kyrylo** – student 359 group, Department of Mechatronics and electrical engineering, National Aerospace University, M. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, kirill.dobrosol@gmail.com.