

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Автоматизація процесу збору показів лічильників води  
на основі штучного інтелекту»**

Виконав: студент 4 курсу групи Акт-41

Спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва)

Добрянський Назарій Андрійович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор Тригуба А.М.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент Шолудько Я.В.  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А. М. Тригуба

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Добрянському Назарію Андрійовичу

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту»

Керівник роботи Тригуба Анатолій Миколайович, професор  
затверджені наказом по університету від 27.11.2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: вимоги до процесу збору показів лічильників води; методика автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

Вступ.

1. Аналіз стану збору показів лічильників води та обґрунтування доцільності його автоматизації зазначеного на основі штучного інтелекту.

2. Аналіз об'єкту керування та вибір засобів.

3. Узгодження складових автоматизованого процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

4. Охорона праці.

5. Економічна ефективність від автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): аналіз стану збору показів лічильників води та обґрунтування доцільності його автоматизації зазначеного на основі штучного інтелекту; вибір засобів для процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту; результати узгодження складових автоматизованого процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Тригуба А.М., зав. кафедри ІТ</i>		
4	<i>Тимочко В.О., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання

27 листопада 2023 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>27.11-31.12.23</i>	
2	<i>Виконання другого розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>01.02-05.03.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>06.03-24.04.24</i>	
4.	<i>Написання розділу «Охорона праці»</i>	<i>25.04-10.05.24</i>	
5.	<i>Написання розділу «Економічна ефективність»</i>	<i>11.05-23.05.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу</i>	<i>24-31.05.24</i>	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>01-10.06.24</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Добрянський Н.А.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Тригуба А.М.  
(підпис)

УДК: 681.2.016.351

Автоматизація процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

Добрянський Н.А. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 59 с. текст. част., 16 рис., 4 табл., 14 арк. ілюстраційного матеріалу, 39 джерел.

Наведено наявні різновиди лічильників води. Проаналізовано підходи та пристрої зчитування лічильників води. Подано особливості формування доступних наборів даних із показами лічильників. Наведено особливості автоматичного зчитування показів лічильників. Здійснено обґрунтування доцільності автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

Наведено особливості запропонованої автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Здійснено вибір засобів для автоматизації процесу збору показів лічильників води. Подана архітектура штучної нейронної мережі для розпізнавання показів лічильників води.

Здійснено опис автоматизованого процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Наведено особливості встановлення модуля ESP-32 на аналоговий лічильник води, встановлення програмного забезпечення та підключення пристроїв для обміну даних.

Обґрунтовані заходи із охорони праці під час процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Розраховано економічну ефективність від автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЗБОРУ ПОКАЗІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАЗНАЧЕНОГО НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....</b>	
1.1. Наявні різновиди лічильників води.....	9
1.2. Підходи та пристрої зчитування лічильників води .....	13
1.3. Формування доступних наборів даних із показами лічильників .....	16
1.4. Автоматичне зчитування показів лічильників .....	20
1.5. Обґрунтування доцільності автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.....	23
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ</b>	
2.1. Особливості запропонованої автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.....	25
2.2. Вибір засобів для автоматизації процесу збору показів лічильників води	27
2.2.1. Модуль ESP32-CAM .....	27
2.2.2. ESP32-CAM AI-Thinker MB Programmer .....	29
2.2.3. Картка MicroSD на 16 Гб і кардрідер MicroSD .....	31
2.2.4. Кабель Micro USB – USB A.....	32
2.2.5. Корпус для підтримки модуля камери.....	32
2.3. Архітектура штучної нейронної мережі для розпізнавання показів лічильників води.....	33
<b>РОЗДІЛ 3. УЗГОДЖЕННЯ СКЛАДОВИХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ЗБОРУ ПОКАЗІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....</b>	
3.1. Опис автоматизованого процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту .....	37
3.2. Встановлення модуля ESP-32 на аналоговий лічильник води .....	38
3.3. Встановлення програмного забезпечення .....	39

3.4. Підключення пристроїв для обміну даних .....	41
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	43
4.1. Аналіз умов праці та шкідливих виробничих чинників.....	43
4.2. Мікроклімат у приміщенні .....	44
4.3. Зниження рівня шуму та вібрації на робочому місці .....	45
4.4. Застосування основних способів та засобів для проведення невідкладних аварійно-рятувальних робіт на підприємстві .....	46
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗБОРУ ПОКАЗІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	49
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ .....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

## ВСТУП

Сьогодні, де технології надають можливість значного покращення ефективності та точності в різних сферах життя, автоматизація процесів стає необхідністю для оптимізації ресурсів та підвищення якості обслуговування. Однією з ключових галузей, де автоматизація має величезний потенціал, є системи водопостачання та водовідведення.

Питання раціонального використання водних ресурсів стає все більш актуальним. Одним із ключових факторів, що впливають на ефективність використання води, є точний облік її споживання [33]. Традиційні методи збору даних, що базуються на ручному введенні показів лічильників, часто супроводжуються помилками та вимагають значних зусиль для підтримки їхньої точності та актуальності.

Застосування штучного інтелекту може значно покращити процес збору показників лічильників води. Системи на основі штучного інтелекту здатні автоматично розпізнавати та обробляти зображення, що дозволяє їм зчитувати показання лічильників з фотографій або відеозаписів [30]. Це може значно скоротити час та витрати, пов'язані зі збором показників, а також підвищити точність та надійність даних.

У цьому напрямі виникає актуальна проблема створення автоматизованої системи збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Застосування методів машинного навчання та аналізу даних може значно полегшити цей процес, зменшити його вартість та підвищити його точність.

Наша кваліфікаційна робота спрямована на розробку та дослідження системи автоматизації збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. У цій роботі будуть розглянуті основні принципи функціонування такої системи, розроблені та впроваджені алгоритми обробки даних та прийняття рішень, а також проведені експерименти для оцінки ефективності та точності розробленої системи.

Отже, автоматизація процесу збору показників лічильників води на основі штучного інтелекту є перспективним напрямком, який має значний потенціал для покращення ефективності використання водних ресурсів. Розробка та впровадження систем штучного інтелекту для збору показників лічильників води призводить до значного скорочення витрат, підвищення точності та якості отриманих даних.



## РОЗДІЛ 1.

# АНАЛІЗ СТАНУ ЗБОРУ ПОКАЗІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАЗНАЧЕНОГО НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 1.1. Наявні різновиди лічильників води

На ринку є багато моделей лічильників води, кожен з них відображає споживання різними способами. Найбільш розповсюдженими є лічильники води, які мають механічні циферблати, цифрові лічильники води та розумні лічильники води, які мають можливість зчитування інформації через APP на смартфоні.

Лічильники води з механічним циферблатом засновані на накладці цифр циферблата, який покаже об'єм спожитої води (рис. 1.1).

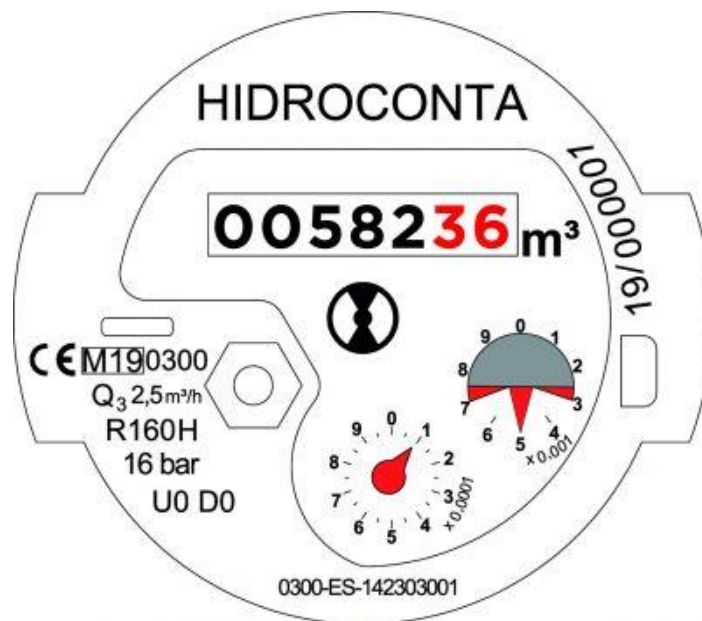


Рисунок 1.1 – Лічильник води з механічним циферблатом

У лічильниках води з механічним циферблатом об'єм представлено в  $m^3$ . Цей циферблат буде зчитуватися у два етапи. Перший, розташований у верхній

частині, складається з цифрового циферблата з кількома роликками, як у водомірів Atlantis (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Лічильник води з механічним циферблатом фірми Atlantis [13]

Чорні роликові індикатори показують повні одиниці в м<sup>3</sup>, а червоні роликові індикатори є десятковими. У нижній частині є кругові градуйовані шкали з стрілками, які допомагають виконувати читання.

Отже, на рисунку 1.1 покази лічильника води становитимуть 582,3651 м<sup>3</sup>.

Лічильник води з цифровим дисплеєм дозволяє легко зчитувати спожиту воду (рис. 1.3). На числовому дисплеї, окрім загального об'єму спожитої води, буде показано багато інформації, такої як сигнали попередження, напрямок потоку води тощо. Спожиту воду буде показано в м<sup>3</sup>. На рисунку 1.3 показано дисплей водомірів Nautilus.



Рисунок 1.3 – Розумні лічильники води IoT [29]

Сьогодні лічильники води, які дозволяють візуалізувати дані з додатків, називаються розумними лічильниками води, і вони включені в Інтернет речей (IoT).



Рисунок 1.4 – Розумні лічильники води IoT [29]

Ці додатки миттєво відображають споживання води та дозволяють користувачеві порівнювати споживачів між різними періодами часу, а також встановлювати сповіщення, щоб попередити про споживання, яке є результатом, наприклад, внутрішніх витоків у будинку. Фірма Hidroconta розробила додаток та програму, спеціально створену для використання кінцевим споживачем води [20].



Рисунок 1.5 – Розумні лічильники води IoT [21]

Усі згадані вище лічильники води можна включити в IoT, додавши зовнішній модуль зв'язку, наприклад, модуль «IRIS» від Hidroconta [21].

Контроль споживання води став необхідним навіть для приватних користувачів. APP Hidroconta Metering надає нові можливості у вигляді цифрового лічильника води. За допомогою додатку Hidroconta Metering можна щодня контролювати споживання води у домогосподарстві, щоб не витратити жодної краплі води марно.

Hidroconta розробила ідеальний додаток для перегляду та моніторингу споживання води. Можна переглядати дані, зібрані лічильником води, та аналізувати споживання води у швидкий та зручний спосіб. Додаток Hidroconta дозволить легко переглядати споживання води, порівнювати фактичне споживання води та створювати звіти про споживання води.

## 1.2. Підходи та пристрої зчитування лічильників води

Сьогодні наявні розробки, які виконані на найсучаснішому рівні для вирішення проблем AMR (автоматичного зчитування лічильників). Окремі їх автори розглядають три основні етапи: 1) виявлення лічильника; 2) сегментація цифр; 3) розпізнавання цифр.

Автори робіт [17; 30; 19] взяли деякі особливості зображень водомірів, такі як положення зони цифр лічильника з їх кольорами (зелений фон і червоні десяткові цифри) і застосували помітний алгоритм виявлення індексу.

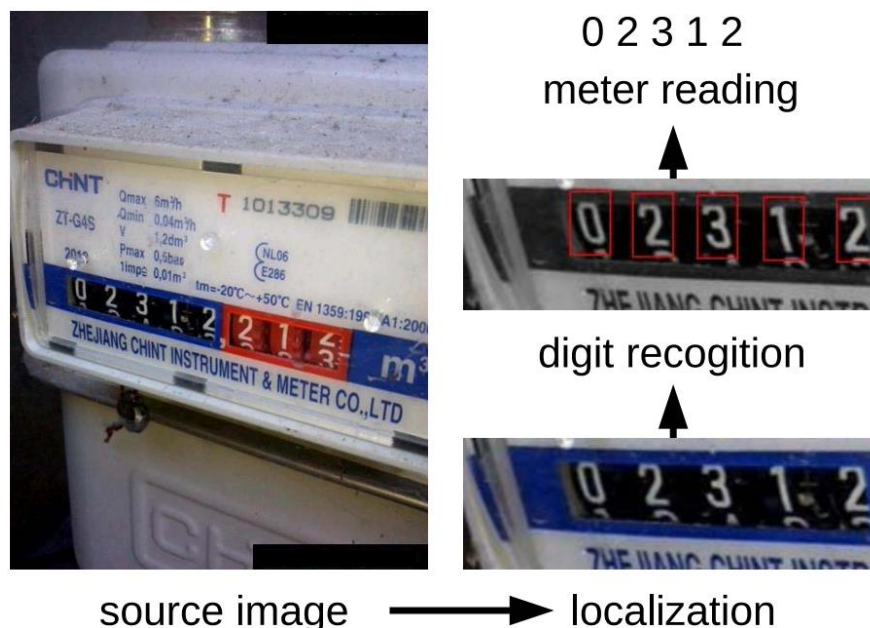


Рисунок 1.6 – Етапи запропонованої моделі для зчитування показань лічильника газу, що з'являються на вихідному зображенні [17]

Фаза локалізації обертає і вирізає область інтересу. Фаза розпізнавання ідентифікує всі потенційні цифри, що представляють інтерес, в той час як етап зчитування видає на виході остаточний результат.

На графіку (рис. 1.7) показано результуючу точність показань лічильника та середній час виконання для одного вхідного зображення при зміні параметра  $\delta$ .

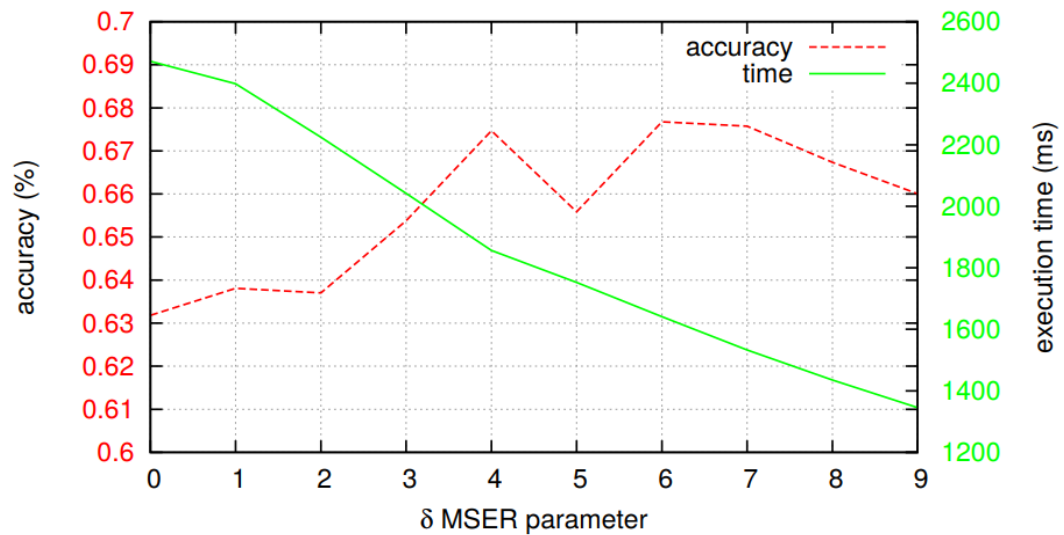


Рисунок 1.7 – Аналіз  $\delta$ -параметру MSER [17]

Основною незручністю цієї методики є те, що вона не працює на всіх видах лічильників води, а зміна освітленості WM (Water Meter) (день або ніч) погано впливає на якість вихідних результатів.

Автори робіт [14; 18], поклалися у своїх роботах на підходи глибокого навчання, які в основному залежать від наявності унікального та великого набору даних. Він використовується для навчання та оцінки їхніх систем (понад 45 000 зображень). Однак ці набори даних не були адаптовані до всіх WM і не були у вільному доступі для громадськості.



Рисунок 1.8 – Зчитування показів лічильника із використанням мобільного телефону [14]

Зчитування показів лічильника із використанням мобільного телефону (рис. 1.8) дає можливість сканувати аналогові лічильники електроенергії, газу та води. Використання передбачає мобільних пристроїв (в т.ч. смарт-окулярах) та завдяки ручному скануванню. Окрім того, передбачено використання «вирізаного вікна», що обмежує простір для помилок та полегшує інтегрування даних із в іншими додатками.

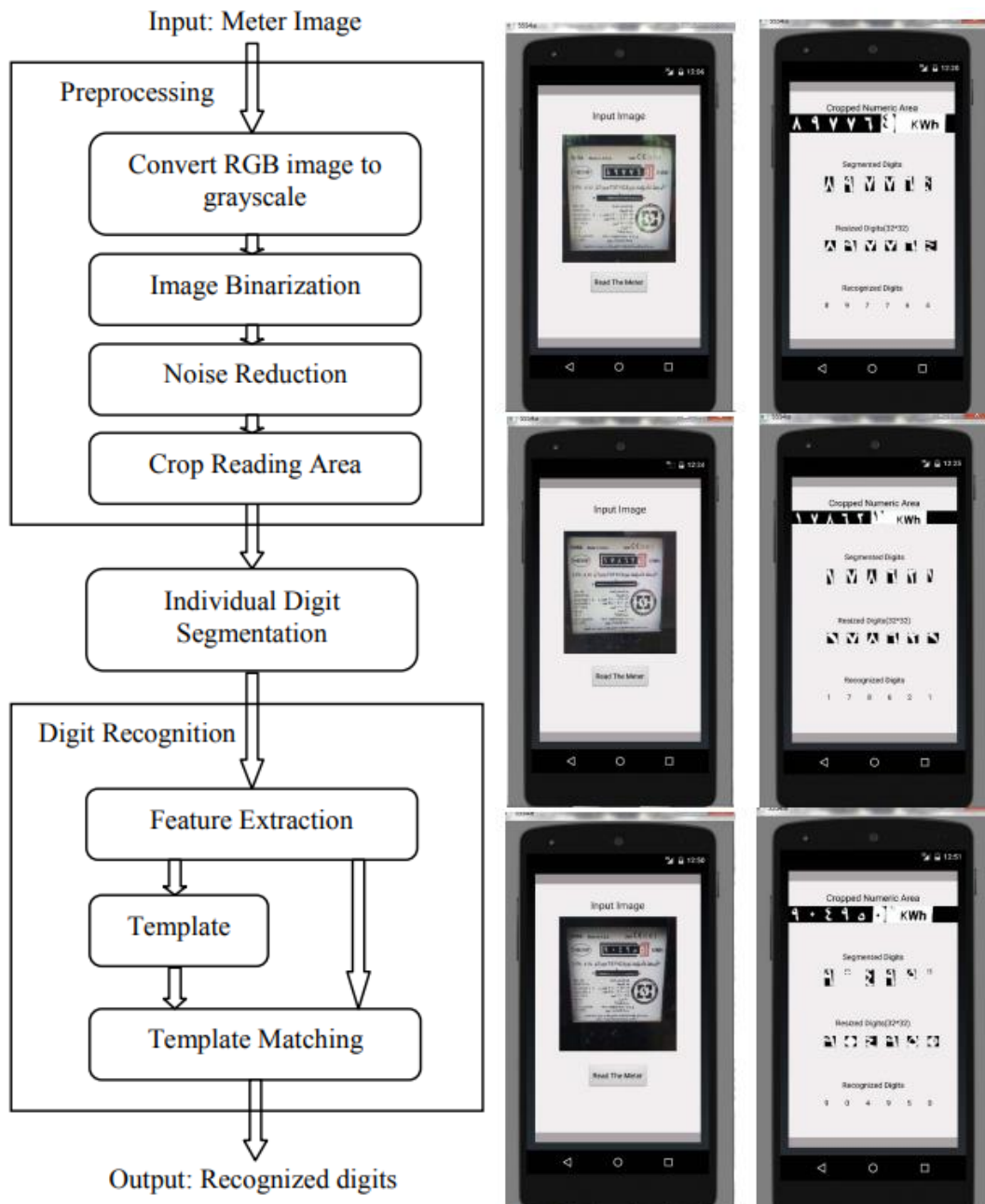


Рисунок 1.9 – Запропонована система розпізнавання показів лічильників (а) та приклади вихідних сигналів системи (б) [16]

У праці [16] провели три основних етапи розпізнавання електричних лічильників (рис. 1.9): попередня обробка, яка завершується обрізанням числової області зчитування, сегментація окремих цифр за допомогою горизонтального та вертикального сканування обрізаної числової області та розпізнавання зчитування шляхом порівняння кожної сегментованої цифри з шаблонами цифр.

Результати показали, що система може розпізнавати цифри показів електролічильника на трьох основних етапах обробки зображень з достатньою точністю 96,49% для кожної цифри і відсотковою точністю розпізнавання всього показання 85,71%.

У майбутньому планується вдосконалити систему так, щоб вона могла розпізнавати показання різних типів лічильників, підвищити точність системи та розробити мобільний додаток для працівників електроенергетичної компанії, який використовує систему для полегшення процесу зчитування. Використовуючи цей застосунок працівник просто робить знімок лічильника, потім додаток обробляє зображення, розпізнає покази лічильника і автоматично надсилає їх на сервер компанії.

Запропонована система [16] реалізована за допомогою програмного забезпечення Android Studio з бібліотекою OpenCV. Хоча було досягнуто кращих результатів, для оцінки продуктивності системи використано лише 21 зображення, що може бути недостатньо репрезентативним. Камера смартфона зафіксувала зображення набору даних. Їхня система не інтегрована в систему енергокомпанії, якою могли б користуватися її працівники.

### **1.3. Формування доступних наборів даних із показами лічильників**

Лише у роботах [36; 19; 24] запропонували використовувати доступні набори даних із показами лічильників. Набори даних робіт [36; 19] складаються в основному із зображень лічильників газу з роздільною здатністю  $640 \times 480$



пікселів, а лічильник займав велику частину зображення, що полегшує його виявлення.

У роботі [36] означено основні проблеми в зображеннях зчитування лічильників (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Приклад оптичного розпізнавання символів за допомогою запропонованого алгоритму [36]: а) Вхідне зображення; б) виявлена область інтересу, отримана запропонованим алгоритмом; с) цифри відокремлені від фону; d) усі цифри та їх обмежувальну рамку виявлено; е) частина цифр виявляється; f) частина цифр класифікується; г) кілька прикладів проблемних зображень з усього набору даних

Встановлено, що існують зображення із показами лічильників, які мають низьку роздільну здатність через камеру низької якості, розмиття, погане освітлення, низький контраст, відблиски, тіні, оклюзії тощо. На рис. 1.10, g показано деякі проблемні приклади, використані в експериментах та очевидно, що за цих умов виявлення лічильника стає дуже непростим завданням. Через ці проблеми та дуже високу візуальну варіативність різних моделей і марок лічильників не могли покладатися на інформацію, що базується на знаннях, отриману від конкретних моделей лічильників, щоб знайти лічильник.

У роботі [19] розглянуто приклади цифрових та аналогових моделей лічильників, що використовуються компаніями (рис. 1.11).

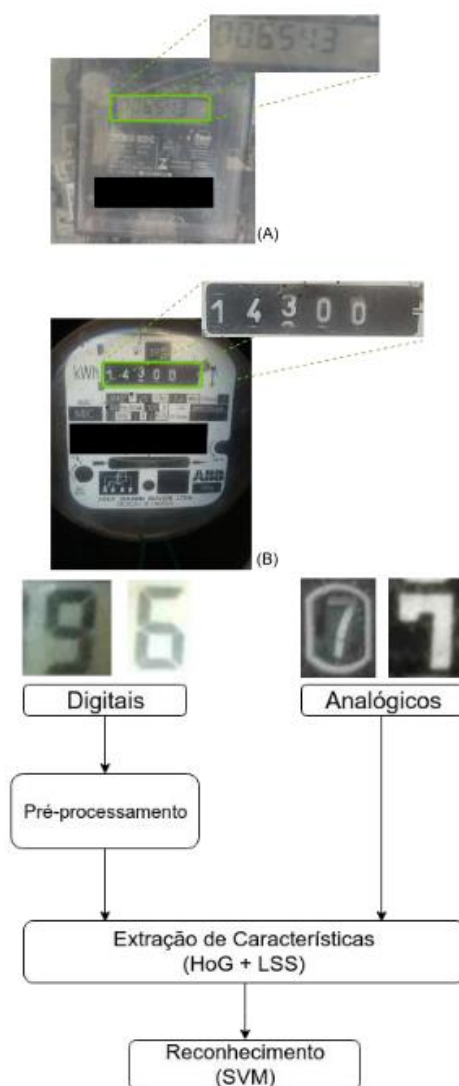


Рисунок 1.11 – Етапи запропонованого методу формування даних із зчитуванням аналогових та цифрових моделей лічильників, що використовуються компаніями [19]

Запропонований метод [19] розпізнавання цифр складається з послідовності кроків, зображених на рисунку 1.11. Вхідними даними для методу є попередньо сегментовані зображення цифр. Цифри з цифрових лічильників проходять попередню обробку. Цифри з аналогових лічильників – ні. Потім зображення передаються на етап вилучення ознак і, нарешті, на SVM-класифікатор, який виконує розпізнавання. Зовнішні фактори, такі як освітлення, безпосередньо впливають на відображення цифрових лічильників і мають менший вплив на зображення цифр аналогових лічильників. Тому було вирішено застосувати попередню обробку тільки до цього типу зображень.

Крім того, обидва набори даних [36; 19] невеликі (253 і 903 зображення відповідно), і камери, які використовувалися для їх зйомки, не були вказані. У роботі [24], набір даних складається з 2000 зображень електролічильників.



Рисунок 1.12 – Приклади зображень з набору даних UFPR-AMR (деякі зображення були дещо змінені для відображення) [24]

Зверніть увагу (рис. 1.12) на різноманітність типів лічильників та умов, а також наявність декількох текстових блоків, схожих на область лічильників. Це найбільший публічний в літературі, але він цільовий. Він не складається з багатьох різних типів вимірювальних зображень. Ця система не може

розпізнавати цифри в режимі нічного бачення та допускає деякі помилки при розпізнаванні напіврозрядних зображень. Це була перша робота, яка оприлюднила зображення, використані в експериментах. Однак це не було зроблено в конвеєрі AMR.

#### 1.4. Автоматичне зчитування показів лічильників

Сьогодні наявні розробки, зосереджені на одному етапі автоматичного зчитування показів лічильників [33]. Це ускладнює точну оцінку представлених методів у наскрізному порядку (наприклад, результати, досягнуті моделлю розпізнавання, можуть значно відрізнятися), залежно від того, наскільки точно виявлено область лічильника). Іншим фактором, який ускладнює оцінку існуючих методів або їхньої застосовності, є те, що автори зазвичай не повідомляють про особливості запропонованих підходів або обладнання, на якому вони виконували свої експерименти.

На рисунку 1.13 представлена загальна схема розпізнавання показань цифрових приладів.

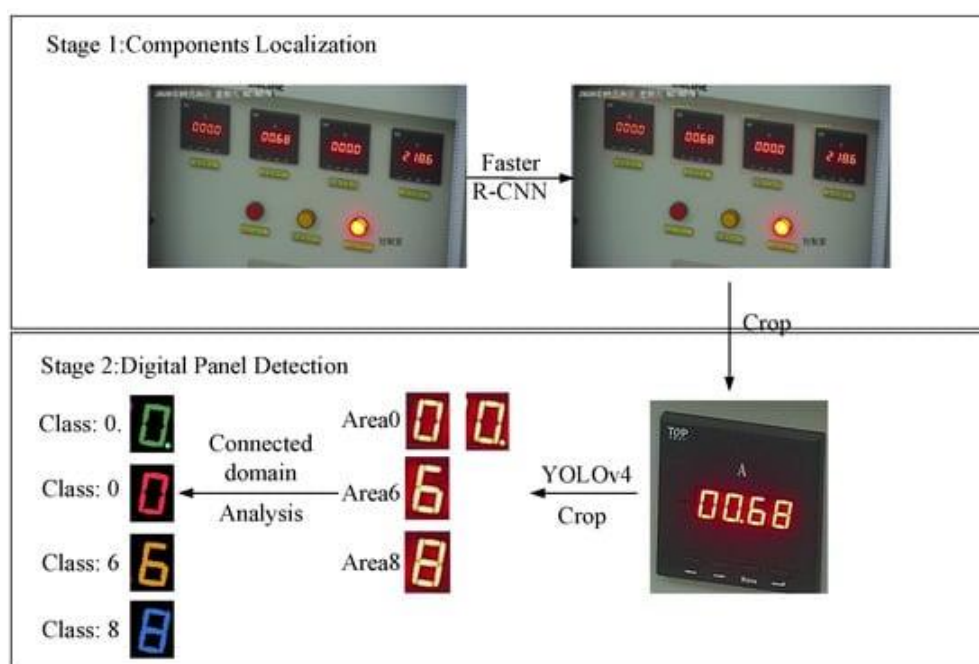


Рисунок 1.13 – Загальна структура розпізнавання показів цифрових приладів [38]

Зазвичай алгоритм розпізнавання лічильника включає два кроки: позиціонування та виявлення. Компоненти зображення, що містять область циферблата, розташовані та отримані, а зображення цільової області сегментується. Для того, щоб точно виділити ознаки та покращити продуктивність навчальної моделі, отримані компоненти зображення покращуються за допомогою алгоритму локалізації. Алгоритм виявлення класифікує та регресує об'єкт виявлення та повертає необхідну категорію та координати положення.

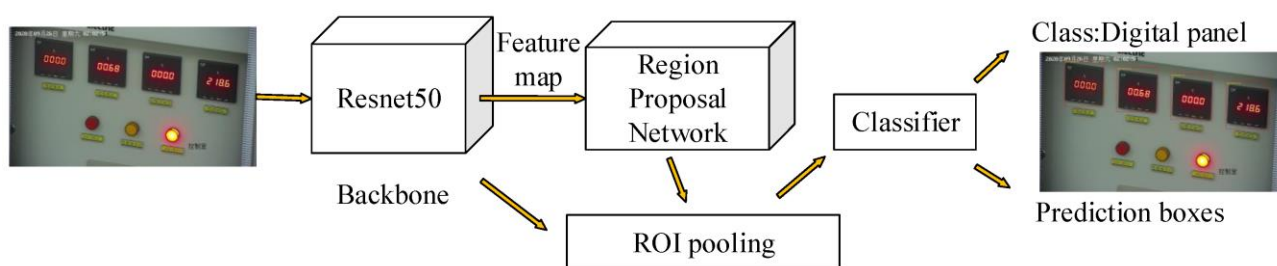


Рисунок 1.14 – Загальна структура розпізнавання показів цифрових приладів [38]

Щоб вирішити проблему виявлення десяткової коми неправильно або пропущено в цифровому приладі, у цій статті використовується Faster R-CNN як мережа позиціонування та YOLOv4 як цільова мережа виявлення для морфологічного аналізу. Виявлено, що число з десятковою комою в кінці і число без десяткової коми в кінці мають більшу міжкатегорійну інтерференцію. Дослідження показало, що існує більша інтерференція між числами з десятковою комою в хвості та числами без десяткової коми в хвості. У поєднанні з методом аналізу пов'язаних областей при обробці зображень пропонується розпізнавання показань цифрового лічильника на основі алгоритму аналізу зв'язаної області.

Автори роботи [23] запропонували новий етап у автоматизації знімання показів лічильників, який називається виявленням кутів і контркласифікацією, що дозволяє виправити область лічильника перед етапом розпізнавання (рис. 1.15).

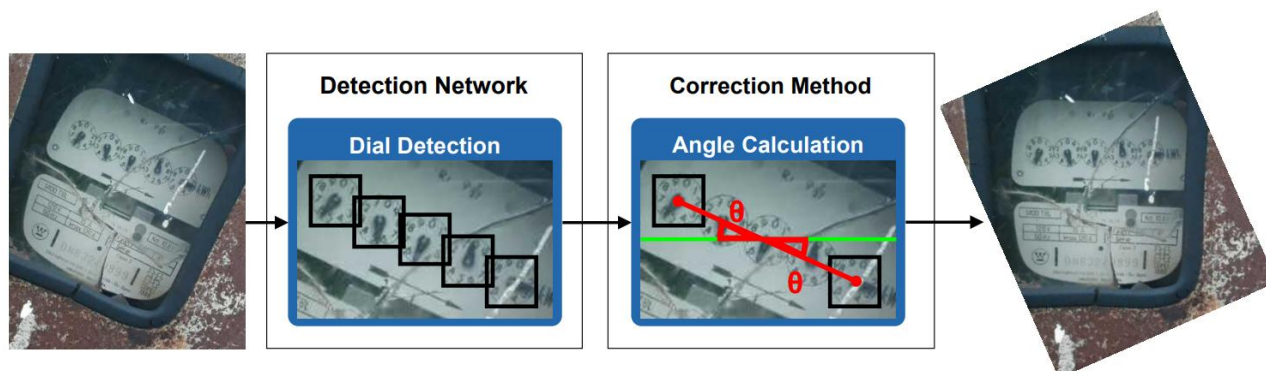


Рисунок 1.15 – Ілюстрація методу корекції кута [23]

Кут ( $\theta$ ) між лінією (червоним кольором), що проходить через середину першого та останнього виявлених циферблатів, та віссю  $x$  (зеленим кольором) циферблатів, та віссю  $x$  (зеленим кольором) обчислюється кут ( $\theta$ ). Після цього метод корекції повертає зображення на  $-\theta$  градусів, щоб зробити циферблати паралельними до осі  $x$ .

Вони також представили загальнодоступний набір даних (за запитом) для автоматизації знімання показів лічильників із 12500 повністю анотованими зображеннями, отриманими за сценаріями реального світу. Крім того, вони не мають методології одночасного виявлення та розпізнавання випадків, коли лічильник має обертові цифри. У реальних програмах виникають проблеми через деякі невдалі зчитування лічильників, і в реальних програмах допустимо дуже мало помилок у зчитуванні, оскільки неправильно розпізнана одна цифра може призвести до великої помилки в зчитуванні та оплаті.

Автори роботи [26] зосередилися на проблемі розпізнавання лічильників води в додатках розумного міста (рис. 1.16). Експериментальні результати демонструють, що запропонована мережа може точно ідентифікувати номер водоміра і одночасно потребує менше параметрів і менше обчислень. Вони також реалізували прототип системи, яка може обробляти бази даних у реальному часі на розподіленій хмарній платформі. Їхня система надсилає зображення індексу водоміра, а не індекс через транспортний рівень на функціональний рівень, що збільшує відсоток зберігання даних. Крім того, вони не переносять алгоритм на розумну камеру.

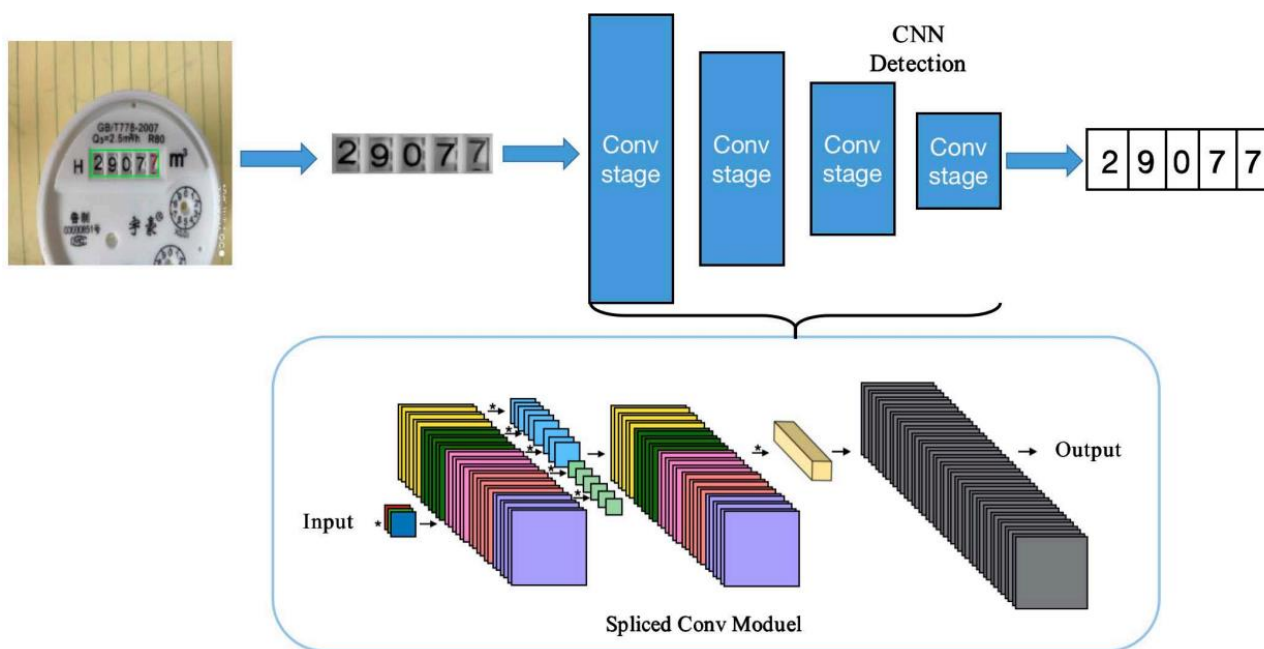


Рисунок 1.16 – Ілюстрація методу корекції кута [26]

У нашій роботі пропонується зосередитись на автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Окремі роботи пов'язані із цифровими лічильниками, хоча деякі нещодавні роботи стосувалися розпізнавання лічильників із циферблатом [32; 39]. У таких роботах зазвичай досліджується кут між покажчиком і циферблатом для виконання зчитування.

На додаток до моментів, згаданих раніше, значні дослідження не створили послідовної наскрізної повної системи (розпізнавання зображень, додавання набору даних, мобільний і веб-сервісний додаток для водопостачальних компаній).

### 1.5. Обґрунтування доцільності автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту

Автоматизація процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту виправдана з ряду причин. Насамперед стосовно ефективності, то використання технології AI на базі ESP32-CAM дозволяє

автоматично фотографувати циферблат лічильника води без необхідності ручного втручання. Це значно зменшує час та ресурси, потрібні для збору показів.

Застосування алгоритмів штучного інтелекту дозволяє інтелектуально та автономно аналізувати отримані зображення циферблату лічильника води. Це сприяє уникненню помилок, які можуть виникнути при ручному введенні показань.

ESP32-CAM може легко інтегруватися з популярною платформою домашньої автоматизації Home Assistant за допомогою протоколу MQTT. Це відкриває можливість отримання даних про показання лічильників води, оброблених моделлю штучного інтелекту, інтегрувати їх в систему керування і моніторингу водопостачання в будинку.

Таким чином, автоматизація процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту є доцільною з точки зору підвищення ефективності, точності та легкості використання систем водопостачання в домашніх умовах.



## РОЗДІЛ 2.

### АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ

#### **2.1. Особливості запропонованої автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту**

Інтелектуальні лічильники води вже давно існують на ринку, але замінити наші старі лічильники часто не так просто з технічних чи бюрократичних причин. За допомогою нових розробок будь-який аналоговий лічильник можна перетворити на цифровий за допомогою плати ESP32-CAM і системи штучного інтелекту (ШІ).

Крім того, враховуючи постійний розвиток технологій, декілька дистриб'юторів уже кілька років вживають заходів, щоб зробити зчитування цивільних лічильників також ефективнішим. Це забезпечує уникнення втрат води, а також для зменшення операцій зчитування, які виконуються операторами вдома.

Нами пропонується виконати автоматизацію процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Зокрема, забезпечити зчитування аналогового лічильника, щоб зробити його цифровим і передавати значення показів як користувачам або на сервер водопостачальної компанії. Все це засновано на платі ESP32-CAM, яка вже знайомій багатьом, і системі штучного інтелекту, яка може виявляти та перетворювати фотографії в потенційні покази лічильників.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) з периферійними пристроями змінила підходи в галузі IoT (Інтернет речей), що швидко розвивається. Інтелектуальне зчитування лічильників води, яке дозволяє ефективно контролювати та керувати споживанням води в будинках і на підприємствах, є одним із перспективних застосувань AI on the Edge. Нами пропонується використовувати ESP32-CAM, потужний і недорогий мікроконтролер із модулем камери, щоб увімкнути зчитування лічильників води в режимі

реального часу за допомогою можливостей штучного інтелекту та інтегрувати його з Home Assistant, для автоматизації із використанням протоколу MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).

ESP32-CAM – це гнучкий мікроконтролер із вбудованим Wi-Fi, Bluetooth і модулем камери. Це ідеальний пристрій для використання в різноманітних проектах IoT завдяки його невеликому розміру та низькому енергоспоживанню. Нами пропонується виконувати операції штучного інтелекту на пристрої, такі як ідентифікація зображень і обробка даних, безпосередньо використовуючи потужність обробки ESP32-CAM, усуваючи потребу в хмарних службах і забезпечуючи швидший і надійніший аналіз даних у реальному часі.

Зчитування показань лічильників води вручну по-старому – справа трудомістка. ESP32-CAM може фотографувати циферблат лічильника води за допомогою алгоритмів ШІ він може інтелектуально й автономно аналізувати показання.

Home Assistant – це популярна платформа з відкритим кодом для автоматизації, яка об'єднує керування інтелектуальними пристроями та послугами. ESP32-CAM може легко підключатися до Home Assistant за допомогою MQTT, компактного стандарту обміну повідомленнями. Посередник MQTT, розміщений на Home Assistant, може отримувати дані про покази лічильників, які були оброблені моделлю штучного інтелекту.

ESP32-CAM і Home Assistant поєднуються через MQTT. Це робить обмін повідомленнями більш ефективним і гарантує надійну передачу даних між пристроями. Будучи MQTT (спрощений мережевий протокол, що працює на TCP/IP), Home Assistant може отримувати покази лічильника води, надіслані ESP32-CAM, і показувати дані в інтерфейсі користувача в режимі реального часу. Клієнти можуть легко стежити за тим, скільки води вони використовують, і створювати автоматичні правила на основі результатів.

## 2.2. Вибір засобів для автоматизації процесу збору показів лічильників води

### 2.2.1. Модуль ESP32-CAM

Насамперед нами пропонується використовувати модуль ESP 32-Cam. Модуль ESP32-CAM (рис. 2.1) – це невелика розроблена плата, яка підтримує камеру та Wi-Fi і базується на мікроконтролері ESP32. Вона має контакти GPIO, інтерфейс камери та перетворювач USB-TTL для програмування. Вона часто використовується для IoT-проектів, камер безпеки та додатків AI edge.



Рисунок 2.1 – Модуль ESP-32 [37]

Поєднання Wi-Fi модуля з високопродуктивним мікроконтролером ESP32, відеокамерою OV2640, роз'ємом під мікро-SD карту пам'яті і додаткової оперативної пам'яттю 4 МБайт. Поєднання всіх перерахованих компонентів на платі розмірами 27x39 мм дозволяє створювати портативні пристрої для систем «розумний будинок». Характеристики модуля ESP-32 представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля ESP-32 [37]

Показник	Значення
Мікроконтролер	ESP32, 2 ядра, 32-біт
Робоча частота процесора	240 МГц / 600 DMIPS
Оперативна пам'ять	Вбудована: 520 КБ / Зовнішня: 4 МБайт
Підтримувані інтерфейси	UART/SPI/іес/PWM/ADC/DAC
Вбудований	Lwip і FreeRTOS
Підтримка	STA/AP/STA + AP Робочий режим
Підтримка Smart	Config/AirKiss розподіленої мережі
Напруга живлення	5В
Модуль камери	OV2640 (в комплекті)
Роздільна здатність	2 Мп
Підтримка камер	OV2640 і OV7670
Зберігання даних	micro-SD
Розмір	27 x 39 мм
Вага	10 г

Розташування та призначення контактів представлено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Розташування контактів модуля ESP-32 [37]

Таблиця 2.2 – Призначення контактів модуля ESP-32

CAM	ESP32	SD	ESP32
DO	PIN5	CLK	PIN 14
DI	PIN18	CMD	PIN15
D2	PIN 19	DATA0	PIN2
D3	PIN21	DATA1/flash	PIN4
D4	PIN36	DATA2	PIN 12
D5	PIN39	DATA3	PIN 13
D6	PIN 34		
D7	PIN35		
XCLK	PINO		
PCLK	PIN22		
VSYNC	PIN25		
HREF	PIN23		
SDA	PIN26		
SCL	PIN27		
POWER PIN	PIN32		

### 2.2.2. ESP32-CAM AI-Thinker MB Programmer

Програматор ESP32-CAM AI-Thinker MB – це плата, що приєднується до GPIO на платі ESP32-CAM. На наступному зображенні поруч показані програматор і ESP32-CAM (рис. 2.3).

Програматор ESP32-CAM AI-Thinker MB (рис. 2.3) можна підключити до GPIO на платі ESP32-CAM. Мікросхема CH340C USB to serial включена в програматор. Як наслідок, використання USB-інтерфейсу плати для програмування ESP32-CAM стає можливим.

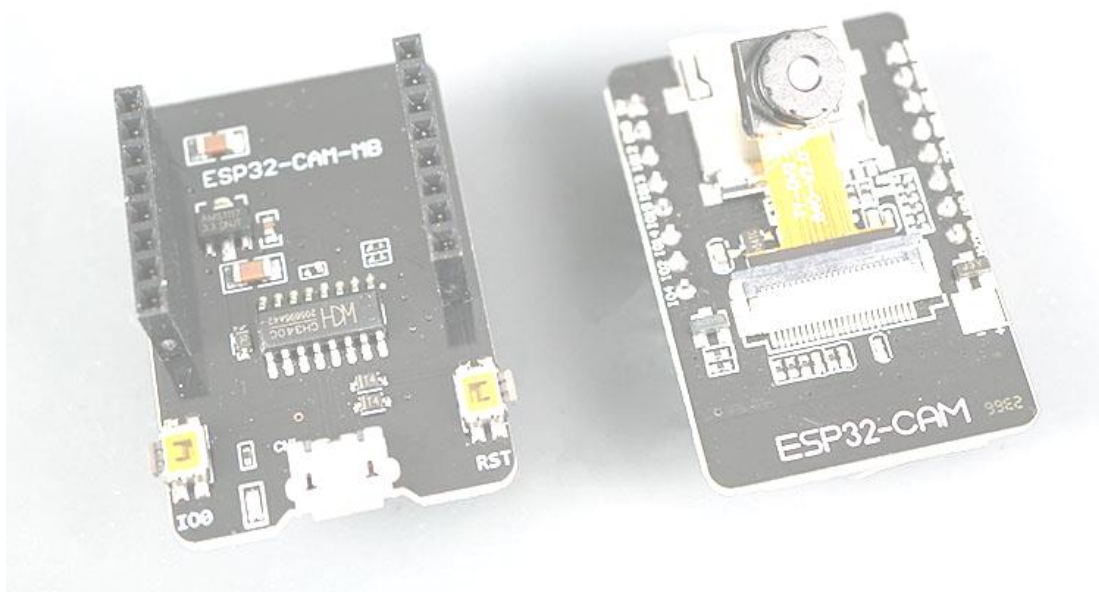


Рисунок 2.3 – Зображення програматора ESP32-CAM AI-Thinker MB і модуля ESP32-CAM [37]

Програматор поставляється з мікросхемою CH340C USB to serial. Це дозволяє програмувати ESP32-CAM за допомогою порту USB. На рисунку 2.3 також є кнопки ЗАВАНТАЖЕННЯ (IO0) і RST (IO0). Це було корисно для швидкого перепрошивання ESP32-CAM або його скидання.

Щоб запрограмувати плату ESP32-CAM за допомогою Arduino IDE, потрібно встановити Arduino IDE, а також надбудову ESP32. Потім просто підключити програматор MB до ESP32-CAM, як показано на рис. 2.4.

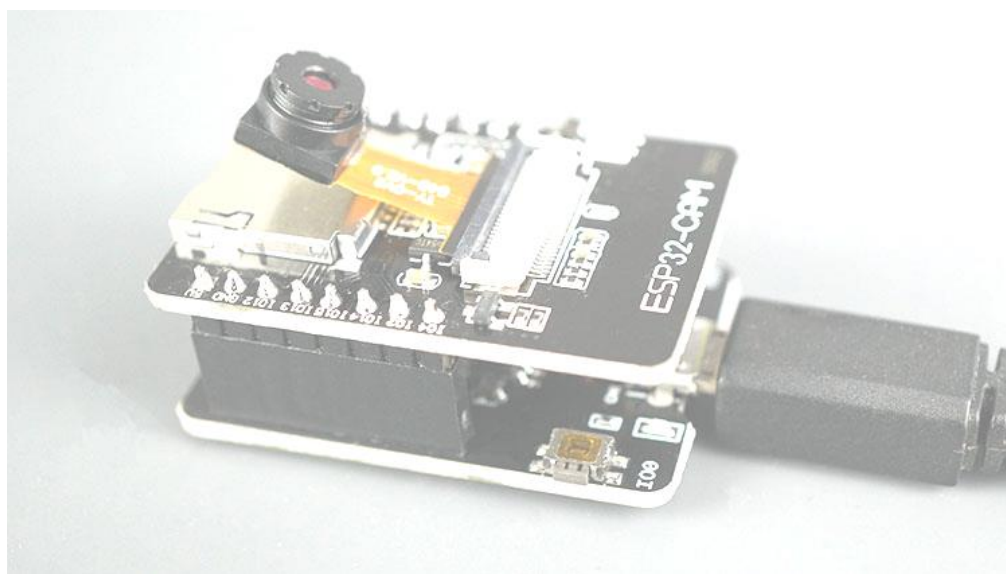


Рисунок 2.4 – Підключення програматора MB до ESP32-CAM [37]

Після цього слід підключити плату до комп'ютера за допомогою кабелю USB.

### 2.2.3. Картка MicroSD на 16 Гб і кардрідер MicroSD

Нами використано картку MicroSD на 16 Гб і кардрідер MicroSD для зберігання моделей і даних штучного інтелекту (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Карта пам'яті AMAZON PRO на 16 Гб, MicroSD, з кардридером, class 10, IPX7 [5]

Характеристики карти пам'яті AMAZON PRO на 16 Гб, MicroSD представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики карти пам'яті AMAZON PRO на 16 Гб, MicroSD [5]

Показник	Значення
Тип	Micro SD
Клас швидкості	10
Об'єм пам'яті	16 Гб
Швидкість читання	90 МБ/с
Швидкість запису	10 МБ/с
Інтерфейс	UHS-I
Водонепроникність	IPX7
Робоча температура	від -25°C до +85°C

Карта пам'яті AMAZON PRO забезпечує збереження даних, гнучкості і можливість оновлення, автономної обробки зображень із використанням моделі штучного інтелекту, реєстрації та пошуку даних. Для читання та запису на SD-карту використовувався зчитувач, оскільки використовуваний ноутбук не мав слота для SD-карти.

#### **2.2.4. Кабель Micro USB – USB A**

Кабель (рис. 2.6) був необхідний для підключення програматора до USB-роз'ємів на ноутбуці для виконання дій, необхідних для прикладів, перепрошивання прошивки та доступу до ШІ на периферії.



Рисунок 2.6 – USB кабель Samsung, USB тип-A, micro-USB тип-B [35]

#### **2.2.5. Корпус для підтримки модуля камери**

Дизайн, корпусу для підтримки модуля камери був взятий відомий і змінений відповідно до потреб нашого зразка водоміра. Зображення корпусу для підтримки модуля камери показано на рис. 2.7.





Рисунок 2.7 – 3D-корпус для підтримки модуля камери [12]

### **2.3. Архітектура штучної нейронної мережі для розпізнавання показів лічильників води**

Системи штучного інтелекту широко увійшли в наше повсякденне життя завдяки голосовим помічникам або розпізнаванню зображень. Для складних обчислень, з якими має працювати система штучного інтелекту, можна покладатися на хмарні обчислення на спеціальних онлайн-платформах або виконувати їх безпосередньо на чіпі, у так званих периферійних обчисленнях. Зі збільшенням удосконалення процесорів цей другий режим обробки даних показів лічильників є основою нашого процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

Штучна нейронна мережа та ESP32-CAM співпрацюватимуть, щоб мати можливість надати користувачеві цифровий результат, отриманий шляхом цифрового фотографування класичного аналогового лічильника води. Розпізнавання та оцифрування здійснюється ESP32-CAM за допомогою згорткової нейронної мережі (CNN).

Першим кроком у реалізації нашого задуму є встановлення мікропрограми на наш ESP32-CAM. Далі нам знадобиться етап калібрування, на якому визначимо області, призначені для розпізнавання чисел та індикаторів

на нашому лічильнику. Коли це буде завершено, матимемо всю доступну інформацію, щоб надіслати її в цифровому вигляді у потрібне місце.

Згорткові нейронні мережі (CNN) – це тип нейронних мереж, розроблений для ефективного обробки структурованих даних, таких як зображення чи відео. Що відрізняє CNN від традиційних нейронних мереж, так це використання операції, яка називається згорткою.

Під час згортки невелике віконце, яке називається фільтром або ядром, ковзає по вхідному зображенню, і серія математичних операцій застосовується до кожної частини зображення. Цей процес дозволяє CNN автоматично витягувати релевантні характеристики, такі як краї, текстури або візерунки, із зображень.

Ці мережі також складаються з вхідного рівня, вихідного рівня та багатьох проміжних рівнів, які називаються прихованими. Вони містять три основні типи шарів, а саме:

- ✓ Згортковий шар;
- ✓ Шар об'єднання;
- ✓ Повністю підключений (FC) рівень.

Згортковий шар є першим шаром згорткової нейронної мережі. Він відповідає за виділення характерних рис із вхідного зображення. За згортковими шарами можуть слідувати інші згорткові шари або шари об'єднання. Наступні згорткові шари продовжують обробляти функції, вилучені з попередніх рівнів, дозволяючи мережі вивчати все більш складні та абстрактні функції.

Повністю підключений рівень, також званий вихідним рівнем, є останнім рівнем CNN. На цьому рівні витягнуті ознаки використовуються для прогнозування або класифікації. Цей рівень відповідає за надання кінцевого результату згорткової нейронної мережі.

На кожному рівні складність CNN зростає, оскільки мережа вивчає все більш складні та абстрактні характеристики вхідного зображення. Крім того, у міру проходження згорткових рівнів частина зображення, яка ідентифікується

та детально аналізується нейронною мережею, збільшується, як показано на рис. 2.8. На відміну від традиційної нейронної мережі, CNN має спільні ваги та зміщення, однакові для всіх нейронів, прихованих у певному шарі. Після вивчення функцій на кількох рівнях архітектура CNN переходить до класифікації.

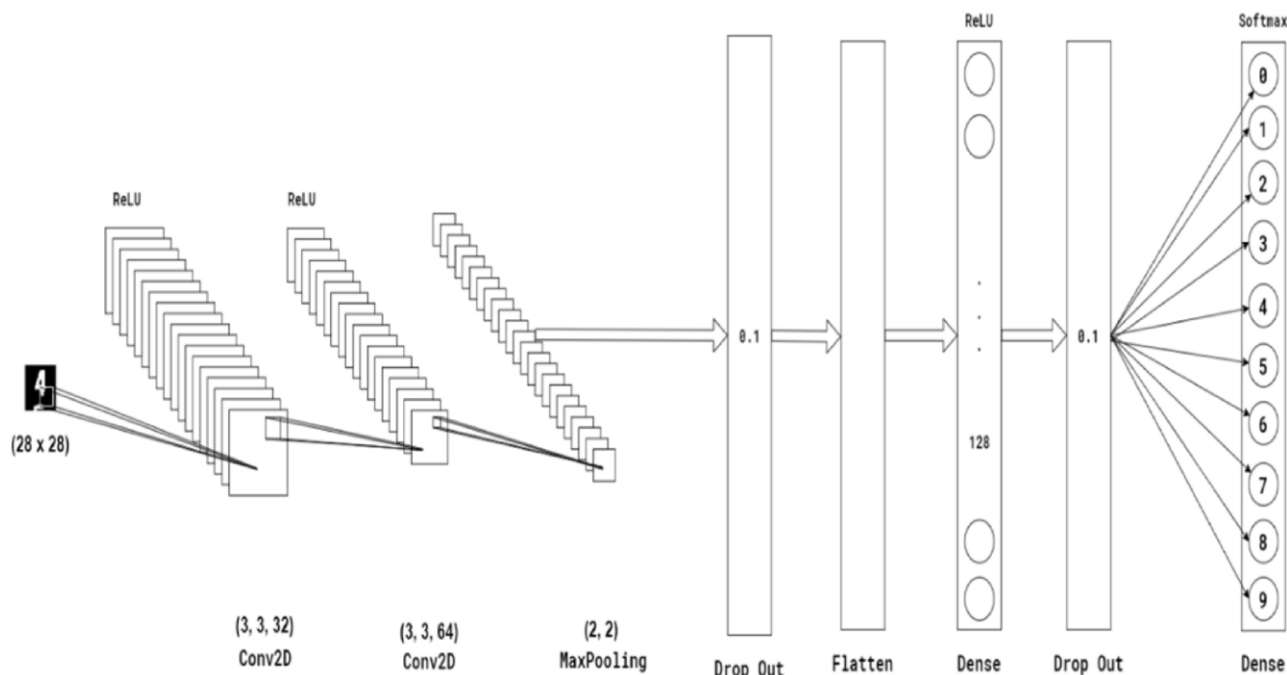


Рисунок 2.8 – Архітектура нейронної мережі CNN

Передостанній шар – це повністю пов’язаний шар, який генерує вектор розміру  $K$  (де  $K$  – кількість передбачуваних класів) і містить імовірності для кожного класу будь-якого класифікованого зображення. Останній рівень архітектури CNN використовує рівень класифікації для надання виходу остаточної класифікації. Зазвичай у вас є попередньо навчені моделі цих мереж, які, очевидно, важать кілька МБ або ГБ. У нашому випадку це буде декілька Мб, але буде збережено на SD-карті, щоб не навантажувати внутрішню пам’ять чіпа.

Зокрема, у папці config є кілька файлів із розширенням tflite, що означає Tensorflow Lite. TensorFlow, народжений Google Brain у 2015 році, став довідковою бібліотекою для створення моделей глибокого навчання. Спочатку розроблений Google внутрішньо, він був відкритий і швидко набув

популярності серед спільноти машинного навчання. Він пропонує широкий спектр моделей і алгоритмів машинного та глибокого навчання, відомих як нейронні мережі, і робить їх доступними для розробників через інтуїтивно зрозумілий API.

TensorFlow потребує Python або JavaScript, щоб забезпечити простий у використанні інтерфейс програмування для створення програм. Тим часом виконання таких додатків відбувається на C++, що забезпечує високу обчислювальну продуктивність. Це робить TensorFlow універсальним вибором для масштабних проєктів машинного навчання.

Моделі, навчені за допомогою TensorFlow, також можуть бути реалізовані на мобільних або периферійних обчислювальних пристроях, як у нашому випадку, а також на операційних системах iOS або Android. Екосистема TensorFlow пропонує такі інструменти, як TensorFlow Lite, який оптимізує моделі TensorFlow для ефективної роботи на таких пристроях. За допомогою TensorFlow Lite можна знайти компроміс між розміром моделі та її точністю.

Менша модель може займати менше місця, наприклад 12 МБ замість 25 МБ або навіть більше ніж 100 МБ, але вона може мати незначне зниження точності. Однак ця втрата точності часто незначна, враховуючи переваги швидкості та енергоефективності, які пропонує стиснута модель.

У нашому випадку модель, навчена за допомогою TensorFlow, використовуватиметься для розрізнення та розпізнавання чисел усередині лічильника та визначення напрямку індикаторів. За допомогою TensorFlow зможемо використовувати можливості глибокого навчання для аналізу даних і ШІ, підвищуючи ефективність і точність процесу збору показів лічильників води.

### РОЗДІЛ 3.

## УЗГОДЖЕННЯ СКЛАДОВИХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ЗБОРУ ПОКАЗІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 3.1. Опис автоматизованого процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту

У окремих будинках переважають аналогові лічильники обліку води. У той час уже багато лічильників електроенергії передають оператору дані про споживання через інтелектуальний лічильник.

Споживання води має зчитуватися та передаватися щомісячно власниками будинків до водопостачальних компаній. Для підвищення ефективності процесу обліку та обміну даними між власниками будинків та водопостачальними компаніями пропонується здійснити автоматизацію процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту.

Запропонований нами пристрій робить фото аналогового лічильника обліку води через попередньо визначений інтервал (рис. 3.1).

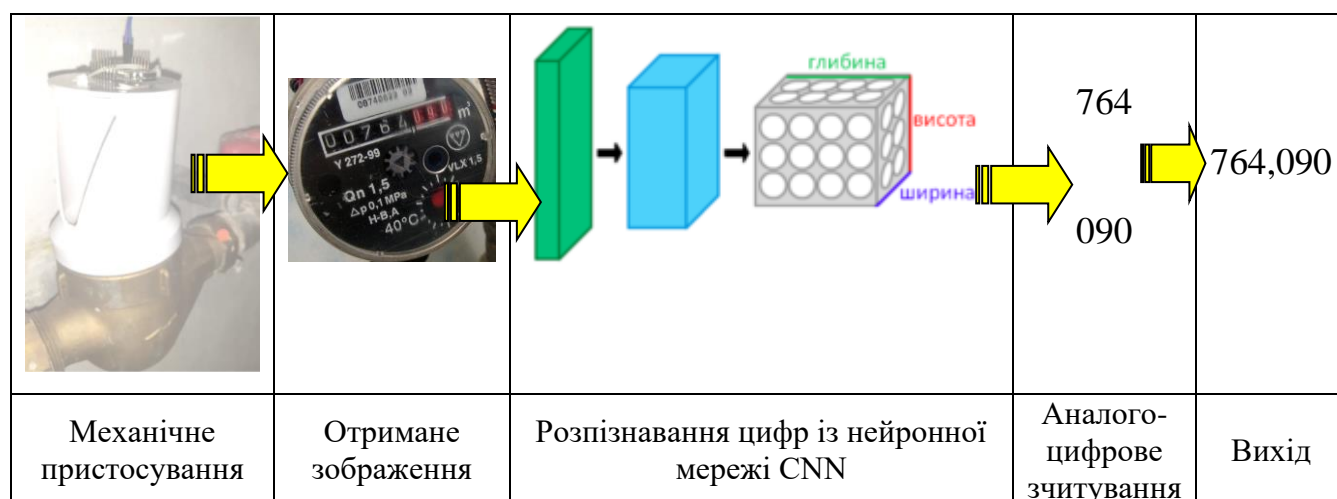


Рисунок 3.1 – Схема процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту

Потім пристрій збору показів лічильників води витягує елементи інтересу (ROI) із зображення та розпізнає їх через нейронну мережу CNN. В результаті отримуємо оцифрований показник лічильника.

Є кілька варіантів того, що робити з цим значенням. Або надіслати його водопостачальній компанії, записати це значення на MicroSD, або ж просто надати доступ до нього через REST API.

### **3.2. Встановлення модуля ESP-32 на аналоговий лічильник води**

Окрім спеціальних радіомодулів, проєкт «AI-on-the-edge-device» доводить [12], що нецифрові лічильники води також можна зчитувати за допомогою камери. У нашому пристрої камера ESP32 встановлюється безпосередньо над лічильником води (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Встановлення модуля ESP-32 на аналоговий лічильник води

Мікроконтролер забезпечує керування періодичним фотографуванням і розпізнаванням на поточних показників лічильника за допомогою нейромережевої моделі CNN для розпізнавання показів лічильника води. Показання лічильника можуть бути записані на SD-карту і відображені через інтегрований веб-інтерфейс. Крім того, поточні показники лічильника можуть

передаватися в систему «розумний будинок» через бездротову локальну мережу для кращої візуалізації, наприклад, для домашнього помічника.

Для цього потрібно встановити вище описане обладнання. Перш за все, потрібно встановити ESP32 з модулем камери. Для завантаження зображення передбачено USB-адаптер. Окрім того, ESP32 вимагає невеликої SD-карти для зберігання даних, а в якості джерела живлення використано старий блок живлення мобільного телефону. Було прикріплено ESP за допомогою 3D-корпусу, який виконано на 3D-принтері.

Передбачено можливість використовувати внутрішню камеру і зчитувати покази споживання води під час роботи без необхідності знімати корпус.

Нами виконано фокусування ESP32-Cam. За замовчуванням фокус камери встановлений на відстані. Щоб отримати чітке зображення на близькій відстані, кільце камери потрібно трохи повернути проти годинникової стрілки:

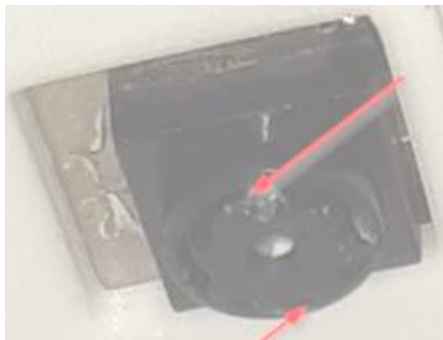


Рисунок 3.3 – Фокусування ESP32-Cam на аналоговий лічильник води

На нових камерах об'єктив приклеєний, тому спочатку його важко зрушити з місця.

### **3.3. Встановлення програмного забезпечення**

У подальшому нами виконано встановлення програмного забезпечення. Спочатку підключено ESP32 до USB-адаптера. ESP32 потрібно перевести в режим спалаху, з'єднавши контакти «IO0» і «GND». Після того, як ESP

підключено, його можна підключити до комп'ютера через USB і прошити найпростіше за допомогою веб-інсталлятора в браузері [12].

Після того, як встановлено, кабель між контактами «IO» і «GND» можна від'єднати. Тепер нам все ще потрібна SD-карта. Попередньо вона має бути розбита на MBR та розділ FAT32 з розміром 32К.

Вміст SD-картки можна скопіювати з проекту GitHub, підпапка «sd-card» на SD-карту [1].

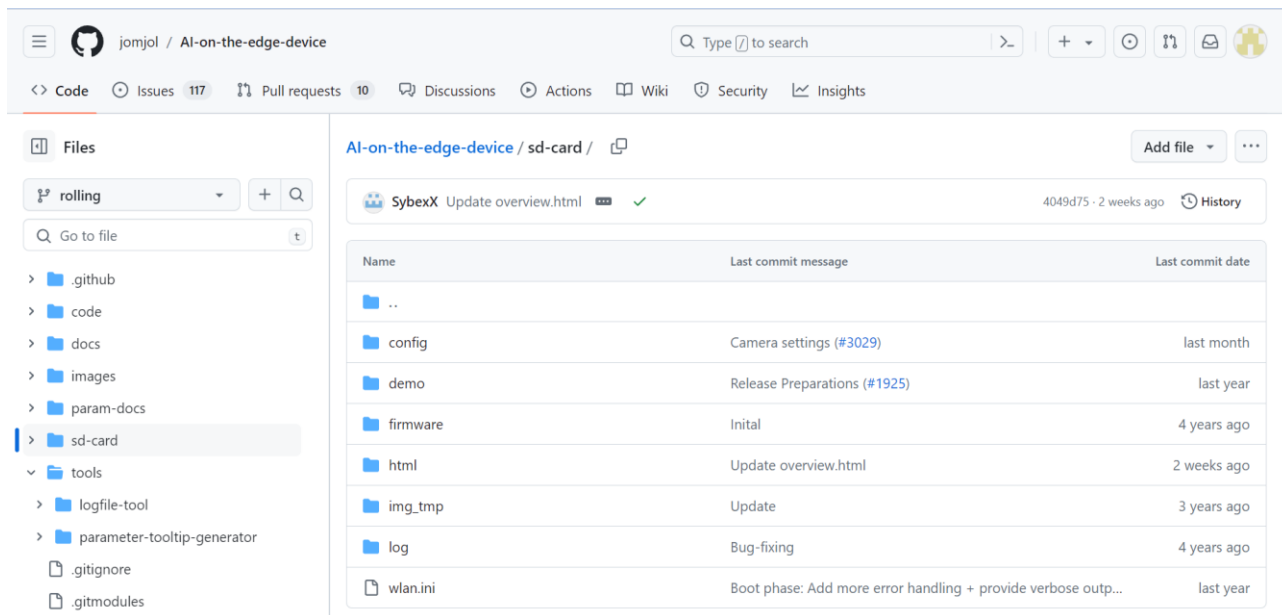


Рисунок 3.4 – Вікно для копіювання вмісту SD-картки із проекту GitHub [1]

Папку «sd-card» завантаженого ZIP-архіву розпакували на SD- карту. Для з'єднання WLAN виконали налаштування файлу «wlan.ini» з даними доступу до WLAN.

Для запуску ESP було вставлено підготовлену SD-карту в ESP і підключено джерело живлення 5 В, яке взяли із зарядного пристрою телефону. При цьому витримано вимоги до напруги (5 В) та полярності. Синій провідник «-», а фіолетовий «+».

Світлодіод на ESP32 сигналізує про процес завантаження. Якщо він блимає постійно, то це свідчить про проблеми із SD-картою. Якщо процес завантаження пройшов успішно, ESP підключається до WLAN.

Безперервне швидке блимання свідчить про наступне:



- ✓ SD-карта не працює;
- ✓ швидкість блимання 5 разів (< 1 секунди) – з’єднання все ще не працює;
- ✓ повільно блимає 3 рази (1 секунда увімкнення/вимкнення) – підключення WLAN встановлено.

### 3.4. Підключення пристроїв для обміну даних

Після підключення ESP, через збережені дані доступу до WLAN, він отримує IP-адресу з сервера DHCP. Подивившись на маршрутизатор, можна дізнатися IP-адресу для доступу, інакше адресу можна дізнатися наступним чином, як представлено на рис. 3.5. При цьому можна знайти IP-адреси в мережі, навіть якщо їхній брандмауер увімкнено [27].

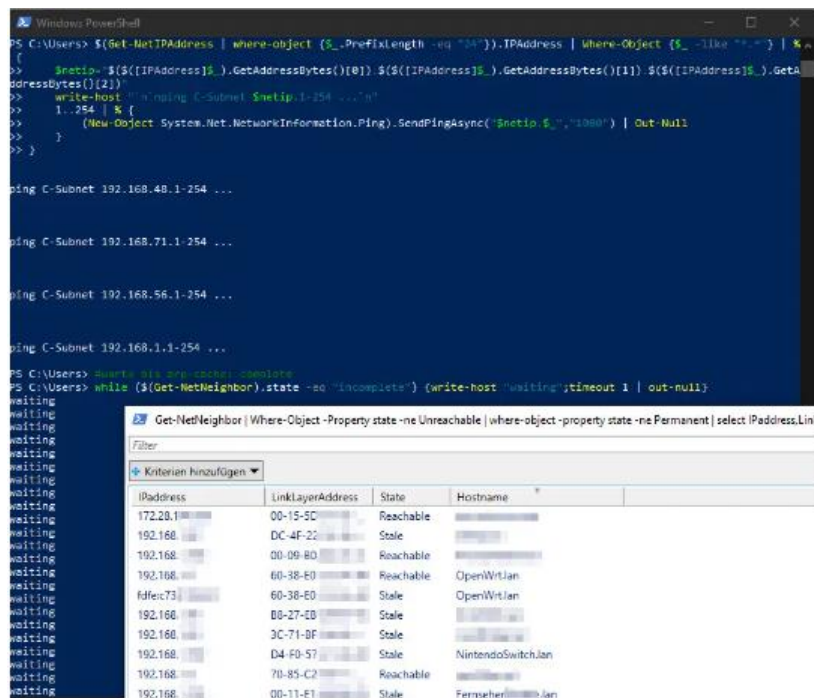


Рисунок 3.5 – Вікно із визначенням IP-адреси для доступу

Якщо IP-адреса викликається в браузері після запуску ESP, спочатку з’являється майстер налаштування Digitizer. Першим кроком майстра є створення еталонного зображення. Еталонне зображення пізніше буде

використано для визначення ROI, тобто областей, з яких слід знімати показання лічильника. «Позначки вирівнювання» – це довільно позначені ділянки на цифреблаті лічильника води, щоб дигітайзер міг коригувати зображення при кожному зчитуванні. ROI складається з цифрових ROI, які є числами на вимірювальному приладі, та аналогових ROI, які є покажчиками.

```
version: "2"
services:
  mosquitto:
    image: eclipse-mosquitto
    container_name: mqtt
    restart: always
    volumes:
      - ./mosquitto/data:/mosquitto/data
      - ./mosquitto/log:/mosquitto/log
    ports:
      - "1883:1883"
      - "9001:9001"
```

Рисунок 3.6 – Вікно використання простого файлу docker-compose.yml

Дигітайзер може передавати дані в Home Assistant за допомогою MQTT [28]. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – відкритий мережевий протокол для передачі повідомлень між пристроями. Брокер MQTT, як і сервер Mosquitto з відкритим кодом, є простим рішенням для отримання даних із пристроїв SmartHome або керування ними. Нами використано MQTT з мікроконтролером ESP32, щоб він надсилав значення брокеру MQTT, які можна отримати через інтеграцію MQTT у HomeAssistant. Крім того, використано MQTTBroker для обміну даними зі своїми пристроями.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз умов праці та шкідливих виробничих чинників

В кваліфікаційній роботі представлено систему для автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Враховуючи потенційні небезпечні ситуації, які може спричинити дана комп'ютеризована система, для їх уникнення, необхідно дотримуватись всіх правил охорони праці та техніки безпеки.

Робоче місце працівника, який здійснює розробку, виробництво, калібрування систем автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту, можна прирівняти до робочих місць у приміщеннях конструкторських бюро (КБ).

Електротравма – це травма, яка спричинена дією на організм людини електричного струму і (або) електричної дуги. Працюючи з електричними компонентами комп'ютерної системи слід дотримуватись комплексу заходів щодо забезпечення електробезпеки. Основними заходами для захисту від ураження електричним струмом є:

- ✓ забезпечення недоступності провідників, що знаходяться під напругою, від випадкового дотику;
- ✓ усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, в кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, захисним зануленням, захисним відключенням.

Доцільним є застосування занулення мережі. Занулення – це навмисне з'єднання з нульовим захисним проводом металевих струмоведучих частин, що можуть виявитися під напругою.

Відповідно до ДБН В.1.1.7-2016 усі виробництва поділяють на пожежо-, і вибухонебезпечної категорії. Дане приміщення відноситься до категорії Д.

## 4.2. Мікроклімат у приміщенні

Мікроклімат у приміщенні, де проводяться роботи, нормується відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. Умови, що визначають стан повітря робочої зони, характеризуються [10]:

- ✓ температурою навколишнього повітря;
- ✓ відносною вологістю;
- ✓ швидкістю руху повітря.

Оптимальні показники мікроклімату, які необхідно забезпечити у приміщеннях, де експлуатуються ПК у теплу пору року повинні становити: температура – +22 - +24оС, відносна вологість – 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с [9].

На робочому місці розробника системи для моніторингу стану здоров'я людини необхідно забезпечити дотримання вимог НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [8].

Основними вимогами, визначеними у цьому нормативному документі є:

- ✓ площу та об'єм для одного робочого місця оператора визначають згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2-007-98. Площа має бути не менше 6,0 м<sup>2</sup>, об'єм – не менше 20,0 м<sup>3</sup>;

- ✓ заземлені конструкції, що знаходяться в приміщеннях, де розміщені робочі місця операторів (батареї опалення, водопровідні труби, кабелі із заземленим відкритим екраном), мають бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками з метою недопущення потрапляння працівника під напругу;

- ✓ приміщення, де розміщені робочі місця операторів, крім приміщень, у яких розміщені робочі місця операторів великих ПК загального призначення (сервер), повинні бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації.

Заходи для захисту від випромінювань:

- ✓ застосування захисних екранів;
- ✓ застосування спеціальних екранів зі слабким випромінюванням;
- ✓ застосування монохромних або рідкокристалічних екранів.

Природне освітлення приміщення здійснюється бічним світлом через світлові пройми в зовнішніх стінках (вікна), а штучне – утворюється електричними лампами. Використовується також суміщене освітлення – при якому у світлий час доби, коли недостатньо за нормами природного освітлення, додається штучне.

Для забезпечення високого рівня освітленості на робочих поверхнях застосовують комбіноване освітлення, якщо застосування загального освітлення є неекономічним. Виробниче освітлення нормується ДБН В.2.5-28-2018.

Приміщення, яке використовується, належить до приміщень І групи за зоровою роботою. При розробці системи віддаленого моніторингу стану здоров'я людини враховані всі вимоги до охорони праці та техніки безпеки.

### **4.3. Зниження рівня шуму та вібрації на робочому місці**

Впровадження автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту може значно покращити ефективність та точність операцій, але разом з цим може збільшити рівень шуму та вібрації на робочому місці. Для забезпечення комфортних умов праці та підвищення продуктивності, необхідно удосконалити технологічні процеси та використовувати спеціальні методи та засоби для зниження шуму та вібрації.

Першим кроком є аналіз джерел шуму та вібрації на робочому місці. Це можуть бути рухомі деталі механізму збору показів, електронні пристрої, які використовуються для обробки даних, або навіть вентиляційні системи.

На основі аналізу визначаються необхідні засоби звукоізоляції. Це можуть бути шумоглушники, акустичні панелі, вібродемпфери та інші пристрої, які допоможуть зменшити рівень шуму та вібрації.

Важливо також використовувати технології, спрямовані на зменшення шуму. Наприклад, використання спеціальних програмних алгоритмів для оптимізації роботи пристроїв може допомогти знизити їх шумові навантаження.

Важливо провести навчання персоналу з питань зниження рівня шуму та вібрації. Працівники повинні бути ознайомлені з методами контролю за шумом та вібрацією, а також з правильним використанням засобів звукоізоляції та безпеки при роботі з ними.

Недооцінювати важливість постійного моніторингу рівня шуму та вібрації не варто. Технічний персонал повинен регулярно перевіряти робоче обладнання на наявність відхилень, а також проводити аудиторські перевірки щодо відповідності вимогам зниження шуму та вібрації.

Вцілому, зниження рівня шуму та вібрації на робочому місці під час розробки автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту вимагає комплексного підходу та співпраці між технічним персоналом, інженерами та операторами. Забезпечення комфортних умов праці сприяє підвищенню продуктивності та якості роботи, що є ключовим для успішної реалізації автоматизованих процесів.

#### **4.4. Застосування основних способів та засобів для проведення невідкладних аварійно-рятувальних робіт на підприємстві**

Аварійно-рятувальні роботи (АРР) на промисловому підприємстві – це першочергові заходи на території, де сталася надзвичайна ситуація (НС), з пошуку і рятування персоналу, матеріалів та устаткування, що має суттєву матеріальну цінність, сукупність робіт по обмеженню та гасінню пожеж, аварійного відключення джерел рідкого палива, газу, електроенергії та води, та,

в тому числі, надання потерпілим працівникам невідкладної допомоги медичного характеру і в разі потреби їх евакуації в спеціалізовані медичні установи поза зоною проведення АРР [2].

Невідкладні роботи – це заходи першочергового характеру на території, де сталася надзвичайна ситуація, із всебічного забезпечення АРР, усунення окремих вогнищ (причин) підвищеної небезпеки, локалізації аварій і ушкоджень на енергетичних мережах, надання першочергової допомоги медичного характеру, забезпечення мінімальних умов для персоналу, а також роботи по санітарній очистці та знезараженню територій.

Надзвичайна ситуація (НС) на промисловому підприємстві – це подія на виробничому об'єкті, яка сталася внаслідок техногенної аварії, метеоявища небезпечного характеру, катастрофи, катаклізму, який спричинений природною стихією, що може викликати або вже призвів до смерті людей, погіршення здоров'я персоналу або стану довкілля, суттєвих матеріальних втрат і негативного впливу на життєдіяльність працівників. Область НС – це територія, де сталася така ситуація [2].

Аварійно-рятувальні та інші невідкладні заходи (АРІНЗ) на підприємстві включають в себе три етапи:

#### 1. Вжиття екстрених заходів:

##### 1.1. Екстрений захист працівників:

✓ своєчасне інформування посадових осіб і уповноважених служб про загрозу настання НС і її розвитку, а також інструктаж працівників про порядок дій у екстреній ситуації;

✓ використання засобів захисту, впорядковане вилучення працівників із території, де трапилась НС в безпечні місця, введення встановлених режимів поведінки, проведення заходів медичного захисту;

✓ розшук та вилучення постраждалих та надання їм медичної допомоги.

##### 1.2. Запобігання розвитку і зменшення небезпечних впливів НС:

✓ локалізація аварії;

- ✓ перекриття і глушіння (припинення дії) джерела небезпечних речовин;

- ✓ припинення (екстрене відключення) технологічних процесів.

### 1.3. Підготовчий етап виконання робіт:

- ✓ мобілізація служб міської ланки територіальної організації попередження і дій при виникненні НС;

- ✓ попереднє оцінювання ситуації і координування комплексного обстеження в зоні НС;

- ✓ виїзд оперативних груп сил міської та окружних ланок територіальної підсистеми до місця НС;

- ✓ вирішення питання початку АРІНЗ.

### 2. Виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних заходів:

- ✓ переміщення в область, де сталася НС, засобів проведення АРІНЗ відповідно до вирішеного питання;

- ✓ безпосереднє виконання робіт аварійно-рятувального характеру і інших невідкладних робіт;

- ✓ виведення спецзасобів із зони НС, по завершенні АРІНЗ і переміщення їх до вихідної точки.

### 3. Ліквідація збитків, спричинених НС:

- ✓ роботи по першочерговому життєзабезпеченні постраждалого персоналу;

- ✓ роботи з відновлення діяльності об'єктів постраждалих при НС (здійснюються силами об'єктів, постраждалих внаслідок НС).

АРІНЗ вважаються завершеними, коли закінчується розшук потерпілих, медична, психологічна та інша допомога їм, упередження загрози виникнення нових вогнищ уражень.



## РОЗДІЛ 5.

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗБОРУ ПОКАЗІВ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВОДИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Автоматизація процесу збору показів лічильників води з використанням штучного інтелекту може принести значні економічні переваги. Для оцінки економічної ефективності такої системи розглянемо базові чинники.

Витрати на ручний збір показів залежать від середньої годинної заробітної плати працівника, що займається збором показів ( $W=120$ грн/год), кількості годин, які працівник витрачає на збір показів  $T$  (год) та кількості працівників, задіяних у зборі показів, складає  $N$  (осіб).

Тоді загальні витрати на ручний збір показів ( $C_p$ ) можна обчислити за формулою:

$$C_p = W \cdot T \cdot N, \quad (5.1)$$

де  $W$  – середня годинна заробітна плата працівника, що займається збором показів, грн/год);  $T$  – кількості годин, які працівник витрачає на збір показів, год;  $N$  – кількість працівників, задіяних у зборі показів, осіб.

Витрати на автоматизований збір показів можна обчислити за формулою:

$$C_a = (C_g + C_o) \cdot M \cdot k, \quad (5.2)$$

де  $C_g$  – вартість впровадження системи, грн;  $C_o$  – витрати на підтримку та обслуговування системи, грн;  $M$  – загальна кількість лічильників води, що обслуговуються, од;  $k$  – коефіцієнт використання капіталовкладень.

Економічна ефективність вимірюється за допомогою показника окупності інвестицій (Return on Investment, ROI). ROI визначається як відношення чистого прибутку до витрат на інвестиції, виражене у відсотках.

$$ROI = \frac{\Pi_p}{C_g} \cdot 100\%, \quad (5.3)$$

де  $P_p$  – чистий прибуток від автоматизації процесу збору показів лічильників води з використанням штучного інтелекту, грн;  $C_p$  – вартість впровадження системи, грн.

Чистий прибуток від автоматизації процесу збору показів лічильників води з використанням штучного інтелекту визначається за формулою:

$$P_p = C_p - C_a, \quad (5.4)$$

Підставивши відповідні значення у формулу (5.1) отримаємо загальні витрати на ручний збір показів ( $C_p$ ) можна обчислити за формулою:

$$C_p = 120 \cdot 8 \cdot 1 = 960 \text{ грн.}$$

Підставивши відповідні значення у формулу (5.2) отримаємо витрати на автоматизований збір показів можна обчислити за формулою:

$$C_a = (4650 + 240) \cdot 1 \cdot 0,1 = 489 \text{ грн.}$$

Підставивши відповідні значення у формулу (5.4) отримаємо чистий прибуток від автоматизації процесу збору показів лічильників води з використанням штучного інтелекту:

$$P_p = 960 - 489 = 471 \text{ грн.}$$

Підставивши відповідні значення у формулу (5.3) отримаємо економічну ефективність за допомогою показника окупності інвестицій (Return on Investment, ROI):

$$ROI = \frac{471}{4650} \cdot 100 = 10,12\% .$$

Встановлено, що ROI (показник окупності інвестицій) дорівнює 10,12%, це означає, що відносний прибуток від інвестиції становить 10,12% від вартості впровадження системи. Такий результат можна вважати позитивним, оскільки показник ROI показує, що віддача від інвестиції перевищує витрати на її впровадження.

Щодо автоматизації процесу збору показів лічильників води, ROI на рівні 10,12% свідчить про те, що система є економічно ефективною. Домогосподарство може очікувати отримання прибутку, який перевищить

витрати на впровадження та обслуговування системи. Такий результат свідчить про успішність інвестиції в автоматизацію за допомогою штучного інтелекту і може служити підставою для реалізації подібних проектів у майбутньому.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Питання раціонального використання водних ресурсів стає все більш актуальним. Одним із ключових факторів, що впливають на ефективність використання води, є точний облік її споживання. Традиційні методи збору даних, що базуються на ручному введенні показів лічильників, часто супроводжуються помилками та вимагають значних зусиль для підтримки їхньої точності та актуальності. Застосування методів машинного навчання та аналізу даних може значно полегшити цей процес, зменшити його вартість та підвищити його точність.

На ринку є багато моделей лічильників води, кожен з них відображає споживання різними способами. Найбільш розповсюдженими є лічильники води, які мають механічні циферблати, цифрові лічильники води та розумні лічильники води, які мають можливість зчитування інформації через APP на смартфоні.

Сьогодні наявні розробки, які виконані на найсучаснішому рівні для вирішення проблем AMR (автоматичного зчитування лічильників). Окремі їх автори розглядають три основні етапи: 1) виявлення лічильника; 2) сегментація цифр; 3) розпізнавання цифр.

Окремі дослідники запропонували використовувати доступні набори даних із показами лічильників. Набори даних робіт складаються в основному із зображень лічильників газу з роздільною здатністю  $640 \times 480$  пікселів, а лічильник займав велику частину зображення, що полегшує його виявлення.

Сьогодні наявні розробки, зосереджені на одному етапі автоматичного зчитування показів лічильників. Це ускладнює точну оцінку представлених методів у наскрізному порядку (наприклад, результати, досягнуті моделлю розпізнавання, можуть значно відрізнятись), залежно від того, наскільки точно виявлено область лічильника). Іншим фактором, який ускладнює оцінку існуючих методів або їхньої застосовності, є те, що автори зазвичай не

повідомляють про особливості запропонованих підходів або обладнання, на якому вони виконували свої експерименти.

У нашій роботі пропонується зосередитись на автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Насамперед стосовно ефективності, то використання технології AI на базі ESP32-CAM дозволяє автоматично фотографувати циферблат лічильника води без необхідності ручного втручання. Це значно зменшує час та ресурси, потрібні для збору показів.

Нами пропонується використовувати ESP32-CAM, потужний і недорогий мікроконтролер із модулем камери, щоб увімкнути зчитування лічильників води в режимі реального часу за допомогою можливостей штучного інтелекту та інтегрувати його з Home Assistant, для автоматизації із використанням протоколу MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). ESP32-CAM може фотографувати циферблат лічильника води за допомогою алгоритмів ШІ він може інтелектуально та автономно аналізувати покази.

ESP32-CAM і Home Assistant поєднуються через MQTT. Це робить обмін повідомленнями більш ефективним і гарантує надійну передачу даних між пристроями. Будучи MQTT (спрощений мережевий протокол, що працює на TCP/IP), Home Assistant може отримувати покази лічильника води, надіслані ESP32-CAM, і показувати дані в інтерфейсі користувача в режимі реального часу.

Нами здійснено вибір засобів для автоматизації процесу збору показів лічильників води. Зокрема, запропоновано використовувати модуль ESP32-CAM (рис. 2.1) – це невелика розроблена плата, яка підтримує камеру та Wi-Fi і базується на мікроконтролері ESP32. Програматор ESP32-CAM AI-Thinker MB (рис. 2.3) можна підключити до GPIO на платі ESP32-CAM. Щоб запрограмувати плату ESP32-CAM за допомогою Arduino IDE, потрібно встановити Arduino IDE, а також надбудову ESP32.

Нами використано картку MicroSD на 16 Гб і карддрівер MicroSD для зберігання моделей і даних штучного інтелекту (рис. 2.5). Кабель (рис. 2.6) був

необхідний для підключення програматора до USB-роз'ємів на ноутбучі для виконання дій, необхідних для прикладів, перепрошивання та доступу до моделі ШІ. Дизайн, корпусу для підтримки модуля камери був взятий відомий і змінений відповідно до потреб нашого зразка водоміра.

Штучна нейронна мережа та ESP32-CAM співпрацюватимуть, щоб мати можливість надати користувачеві цифровий результат, отриманий шляхом цифрового фотографування класичного аналогового лічильника води. Розпізнавання та оцифрування здійснюється ESP32-CAM за допомогою згорткової нейронної мережі (CNN).

Запропонований нами пристрій робить фото аналогового лічильника обліку води через попередньо визначений інтервал (рис. 3.1). Потім пристрій збору показів лічильників води витягує елементи інтересу (ROI) із зображення та розпізнає їх через нейронну мережу CNN. В результаті отримуємо оцифрований показник лічильника.

У нашому пристрої камера ESP32 встановлюється безпосередньо над лічильником води (рис. 3.2). Мікроконтролер забезпечує керування періодичним фотографуванням і розпізнаванням на поточних показників лічильника за допомогою нейромережевої моделі CNN. Показання лічильника можуть бути записані на SD-карту і відображені через інтегрований веб-інтерфейс.

У подальшому нами виконано встановлення програмного забезпечення. Спочатку підключено ESP32 до USB-адаптера. Після того, як ESP підключено, його можна підключити до комп'ютера через USB і прошити найпростіше за допомогою веб-інсталятора в браузері.

Після підключення ESP, через збережені дані доступу до WLAN, він отримує IP-адресу з сервера DHCP. Подивившись на маршрутизатор, можна дізнатися IP-адресу для доступу, інакше адресу можна дізнатися наступним чином, як представлено на рис. 3.5.

Розроблені заходи щодо охорони праці під час автоматизації процесу збору показів лічильників води на основі штучного інтелекту. Дотримання яких забезпечує створення безпечних умов праці.

Встановлено, що ROI (показник окупності інвестицій) дорівнює 10,12%, це означає, що відносний прибуток від інвестиції становить 10,12% від вартості впровадження системи. Такий результат можна вважати позитивним, оскільки показник ROI показує, що віддача від інвестиції перевищує витрати на її впровадження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко М. П. Основи автоматичного управління: Навчальний посібник. К.: Видавничий центр «Академія», 2006. 320 с.
2. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка". 2010. 417с.
3. Гринь О.М., Іванов В.І., Кохан Б.А. Системи автоматичного управління: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 422 с.
4. Джерело І. І. Автоматизація технологічних процесів та виробництва: підручник. Х.: Видавництво «Фактор», 2011. 272 с.
5. Карта пам'яті AMAZON PRO на 16 Гб, MicroSD, з кардридером, class 10, IPX7. URL: <https://grey.com.ua/p1457680965-karta-pamyati-microsd.html>
6. Лагунова І.А., Кузьмін О.В., Цибульський Р.Б. Теорія автоматичного регулювання: підручник. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2013. 478 с.
7. Лемішка, О. М. Організація охорони праці в умовах автоматизації виробничих процесів : навчальний посібник. Київ : Видавничий дім «Слово», 2018. 256 с.
8. Наказ Міністерства внутрішніх справ України № 340 від 26.04.2018 року “Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж”.
9. НПАОП 0.00-7.15-18. Про затвердження правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. URL: [https://dnaop.com/html/31562/docНПАОП\\_0.00-7.15-18](https://dnaop.com/html/31562/docНПАОП_0.00-7.15-18)



10. Охорона праці в офісі. Вимоги до робочого місця офісного працівника. URL: <https://gc.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochogomiscya-ofisnogopracivnika/>
11. AI-on-the-edge-device/sd-card/. URL: <https://github.com/jomjol/AI-on-the-edge-device/tree/rolling/sd-card>
12. AI-on-the-edge-пристрій. URL: <https://github.com/jomjol/AI-on-the-edge-device?tab=readme-ov-file>
13. Atlantis. URL: <https://hydroconta.com/en/producto/atlantis/>
14. Cerman M., Shalunts G., Albertini D. A mobile recognition system for analog energy meter scanning. 2016, 10.1007/978-3-319-50835-1\_23
15. Edward V.C.P. Support Vector Machine based automatic electric meter reading system. 2013, 10.1109/ICCIC.2013.6724185
16. Elrefaei L.A., Bajaber A., Natheir S., Abusanab N., Bazi M. Automatic electricity meter reading based on image processing. 2015, 10.1109/AEECT.2015.7360571
17. Gallo I., Zamberletti A., Noce L. Robust Angle Invariant GAS Meter Reading. 2015, 10.1109/DICTA.2015.7371300
18. Gomez L., Rusinol M., Karatzas D. Cutting Sayre's Knot: Reading Scene Text without Segmentation. Application to Utility Meters, 2018, 10.1109/DAS.2018.23
19. Gonçalves J.C. Reconhecimento de dígitos em imagens de medidores de consumo de gás natural utilizando técnicas de visão computacional, Master's thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2016.
20. Hydroconta Metering App. URL: <https://hydroconta.com/en/producto/app-hydroconta-metering/>
21. Iris AMR. URL: <https://hydroconta.com/en/producto/iris-amr/>
22. Kaup F., Gottschling P., Hausheer D. PowerPi Measuring and modeling the power consumption of the Raspberry Pi. 2014, 10.1109/LCN.2014.6925777

23. Laroca R., Araujo A., Zanlorensi L., Almeida E., Menotti D. Towards Image-based Automatic Meter Reading in Unconstrained Scenarios: A Robust and Efficient Approach. 2020
24. Laroca R., Barroso V., Diniz M.A., Gonçalves G.R., Schwartz W.R., Menotti D. Convolutional neural networks for automatic meter reading. *Electron Imag*, 2019, 10.1117/1.jei.28.1.013023
25. Lecun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*, 2015, 10.1038/nature14539
26. Li C., Su Y., Yuan R., Chu D., Zhu J. Light-weight spliced convolution network-based automatic water meter reading in smart city. *IEEE Access*. 2019, 10.1109/ACCESS.2019.2956556
27. List all IP addresses in the network even if the firewall is enabled. URL: <https://www.libe.net/find-ip-addresses>
28. MQTT - Broker in Docker. URL: <https://www.libe.net/en-mqtt>
29. Nautilus. URL: <https://hydroconta.com/en/producto/nautilus/>
30. Quintanilha D.B.P., et al. Automatic consumption reading on electromechanical meters using HoG and SVM. 2018, 10.1049/ic.2017.0036
31. Rao R., Vrudhula S., Chang N. Battery optimization vs energy optimization: which to choose and when? 2005, 10.1109/ICCAD.2005.1560108
32. Salomon G., Laroca R., and Menotti D. Deep Learning for Image-based Automatic Dial Meter Reading: Dataset and Baselines, arXiv. 2020.
33. Tsai C.M., Shou T.D., Chen S.C., Hsieh J.W. Use SSD to Detect the Digital Region in Electricity Meter. 2019, 10.1109/ICMLC48188.2019.8949195
34. Upload Code to ESP32-CAM AI-Thinker using ESP32-CAM-MB USB Programmer (easiest way). URL: <https://randomnerdtutorials.com/upload-code-esp32-cam-mb-usb/>
35. USB кабель Samsung, USB тип-А, micro-USB тип-В. URL: <http://surl.li/tpovw>

36. Vanetti M., Gallo I., Nodari A. GAS meter reading from real world images using a multi-net system. Pattern Recogn Lett, 2013, 10.1016/j.patrec.2012.11.014
37. Wi-Fi ESP32-CAM module with 2MP camera. URL: <https://arduino.ua/prod3458-modyl-wi-fi-esp32-s-kamerai-2mp>
38. Zhang Z., Hua Z., Tang Y., Zhang Y., Lu W., Dai C. Recognition Method of Digital Meter Readings in Substation Based on Connected Domain Analysis Algorithm. Actuators 2021, 10(8), 170; <https://doi.org/10.3390/act10080170>
39. Zuo L., He P., Zhang C., Zhang Z. A robust approach to reading recognition of pointer meters based on improved mask-RCNN. 2020, 10.1016/j.neucom.2020.01.032