

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

***«Автоматизована система контролю протікання води в системах
водопостачання»***

Виконав студент гр. АКІТ-22	_____ Лазаренко А.О.
Керівник	_____ Бурнасов П.В.
Нормоконтроль	_____ Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 26 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКТ-22 Лазаренку Андрію Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система контролю протікання води в системах водопостачання»

затверджено наказом по університету № 171с від 30.03.2026 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 10.06.2026 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 60 с., презентація у Microsoft PowerPoint (16 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

ст. викл. Бурнасов П.В.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.26</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.26</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.26</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.26</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.26</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.26</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>05.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2026р.

Керівник _____ / Бурнасов П.В./

7. **Запевнення:** Я, Лазаренко Андрій Олександрович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Лазаренко А.О./

АНОТАЦІЯ

Лазаренко А.О. Автоматизована система контролю протікання води в системах водопостачання: кваліфікаційна робота бакалавра : 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2026. 60 с.

Об'єктом дослідження є процеси виникнення та розвитку аварійних витоків у внутрішньобудинкових трубопровідних мережах водопостачання житлових будівель. Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмно-апаратні засоби автоматизованого контролю протікання води, інтегровані в архітектуру системи «розумного будинку».

Метою роботи є розробка автоматизованої системи контролю протікання води у внутрішньобудинкових системах водопостачання, інтегрованої в екосистему «розумного будинку»

У першому розділі проведено комплексний аналіз систем побутового водопостачання як об'єктів автоматизації, виконано детальний огляд наявних комерційних рішень, а також систематизовано сучасні фізичні методи виявлення аварійних витоків води з оцінкою їхньої придатності для інтеграції в сучасну інфраструктуру «розумного будинку».

У другому розділі розроблено автоматизовану систему контролю протікання води, інтегровану в екосистему «розумного будинку», яка забезпечує комплексний моніторинг, своєчасне виявлення аварій та автоматичне перекриття водопостачання. Поєднання трьох незалежних методів виявлення (датчики вологості, витратомір, датчик тиску) дозволяє виявляти як очевидні аварії (розрив труби, несправність сантехніки), так і приховані тривалі витoki у вмурованих комунікаціях.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, HOME ASSISTANT, ESP32, ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лазаренко А.О.			АНОТАЦІЯ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Бурнасов П.В.								4	1
								КНУ АКІТ-22			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВИТОКІВ ВНУТРІШНЬОБУДИНКОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	10
1.1 Характеристика об'єкту автоматизації.....	10
1.2 Аналіз сучасних методів виявлення витоків води.....	14
1.3 Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1 Розробка структури системи контролю протікання води.....	25
2.2 Вибір технічних засобів реалізації системи.....	30
2.3 Програмна частина системи.....	44
2.4 Монтаж та підключення	51
2.5 Налаштування Home Assistant	52
2.6 Висновки до розділу 2	54
ВИСНОВКИ.....	55

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лазаренко А.О.			ЗМІСТ			Лім.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Бурнасов П.В.								5	1
								КНУ АКІТ-22			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

ВСТУП

Стрімкий розвиток технологій автоматизації та Інтернету речей (IoT) суттєво змінює підходи до управління інженерними системами житлових будівель. Концепція «розумного будинку» (Smart Home), що ще десятиліття тому сприймалася як технологія майбутнього, сьогодні набуває масового поширення як у приватному секторі – котеджах і приватних будинках, – так і в багатоквартирних житлових комплексах. Ключовим завданням таких систем є не лише автоматизація побутових функцій освітлення, клімату та безпеки, а й превентивний контроль стану критичної інженерної інфраструктури, насамперед систем водопостачання.

Аварійні витoki води в системах внутрішньобудинкового водопостачання є однією з найбільш поширених причин матеріальних збитків у житловому секторі. За статистикою страхових компаній, пошкодження майна внаслідок прихованих або раптових витоків стабільно входять до трійки найбільш частих страхових випадків у житлових будівлях [1]. У приватних будинках наслідки витoku можуть включати затоплення підвалів, ушкодження несучих конструкцій фундаменту та появу плісняви, усунення якої вимагає значних фінансових вкладень. У багатоквартирних будинках ситуація ускладнюється ще більше: витік в одній квартирі або в стояковій трубі неминуче завдає шкоди сусідам знизу, що породжує складні майнові суперечки і збільшує загальний обсяг збитків.

Традиційний підхід до контролю стану водопровідної системи в житловому будинку зводиться до виявлення витoku вже після того, як він стає помітним – з'являються плями на стелі, підвищується вологість у приміщеннях або різко зростає показник лічильника водоспоживання.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лазаренко А.О.			ВСТУП			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Бурнасов П.В.								6	4
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									
								КНУ АКІТ-22			

Такий реактивний спосіб виявлення означає, що на момент виявлення пошкодження тривалий, часом прихований процес руйнування конструкцій або марного витрачання ресурсів уже тривав. Самостійно ж жителі, як правило, не мають ані технічних засобів, ані відповідних знань для раннього виявлення прихованих витоків у трубах, розташованих у стінах або під підлогою.

Система «розумного будинку» є природною платформою для інтеграції автоматизованого контролю протікання води. Вона вже передбачає наявність центрального контролера, бездротової або провідної мережі зв'язку між пристроями, інтерфейсу керування через смартфон або голосовий асистент та механізмів сповіщення мешканців про нештатні ситуації. Вбудовування модуля контролю витоків у цю інфраструктуру дозволяє досягти синергетичного ефекту: система не лише фіксує факт витоку, а й може автоматично перекрити подачу води через керований клапан, повідомити власника через мобільний додаток, занести подію до журналу та, за потреби, викликати аварійну службу. Таким чином, «розумний будинок» еволюціонує від системи зручності до системи безпеки і ресурсозбереження.

З технічної точки зору реалізація подібної системи спирається на сучасні досягнення у сфері мікроконтролерних платформ, малогабаритних датчиків вологості та тиску, бездротових протоколів зв'язку (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Matter) та хмарних платформ управління. Ці технології вже достатньо зрілі для масового застосування в побутових умовах, мають прийнятну вартість і не вимагають складного монтажу. Водночас питання коректної інтеграції різномірних датчиків, побудови надійних алгоритмів розпізнавання витоку на тлі штатних коливань тиску та організації відмовостійкої архітектури системи залишаються актуальними науково-технічними задачами, що потребують комплексного підходу.

Таким чином, розробка автоматизованої системи контролю протікання води, інтегрованої в екосистему «розумного будинку», є актуальним та практично значущим науково-технічним завданням. Її вирішення сприятиме підвищенню рівня безпеки та захисту майна мешканців приватних і

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

багатоквартирних будинків, зниженню непродуктивних витрат водних ресурсів і формуванню нової якості комфортного та безпечного проживання в умовах цифровізації побутового середовища.

Мета дослідження – розробка автоматизованої системи контролю протікання води у внутрішньобудинкових системах водопостачання, інтегрованої в екосистему «розумного будинку», що забезпечує безперервний моніторинг стану трубопровідної мережі, автоматичне виявлення аварійних витоків, дистанційне перекриття подачі води та оперативне сповіщення мешканців через мобільний додаток з метою запобігання збиткам і нераціональним витратам ресурсів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасних методів виявлення витоків води та готових рішень для систем «розумного будинку», визначити їхні переваги, недоліки та відповідність умовам застосування в приватних і багатоквартирних будинках.
2. Обґрунтувати вибір сенсорної бази системи – датчиків вологості, тиску та витрати – з урахуванням типових схем внутрішньобудинкового водопостачання та умов побутової експлуатації.
3. Розробити структурну та функціональну схеми системи, що визначають склад і взаємодію апаратних вузлів: мікроконтролерного блоку, датчиків, виконавчого електромагнітного клапана та комунікаційного модуля.
4. Розробити алгоритми збору та обробки даних із датчиків, що забезпечують достовірне розпізнавання витoku на тлі штатних коливань тиску і витрати, характерних для побутового водоспоживання.
5. Реалізувати програмне забезпечення вбудованої системи (firmware) мікроконтролера, що включає модулі опитування датчиків, прийняття рішень, керування клапаном та передачі даних по бездротовому каналу зв'язку.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Розробити серверну частину та мобільний застосунок для дистанційного моніторингу стану системи, отримання push-сповіщень про аварійні події та ручного керування перекидним клапаном з інтеграцією в платформу «розумного будинку».
7. Провести практичне тестування розробленої системи в умовах, що імітують реальне побутове водоспоживання, та оцінити її ефективність за показниками точності виявлення витоків, часу реакції та стабільності бездротового зв'язку.

Об'єкт дослідження – процеси виникнення та розвитку аварійних витоків у внутрішньобудинкових трубопроводних мережах водопостачання житлових будівель та пов'язані з ними зміни фізичних параметрів системи – тиску, витрати та вологості в контрольованих зонах.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та програмно-апаратні засоби автоматизованого контролю протікання води, інтегровані в архітектуру системи «розумного будинку», що забезпечують своєчасне виявлення аномалій водоспоживання, автоматичне аварійне відключення та дистанційне управління через мобільний інтерфейс.

Практична значущість роботи полягає в тому, що розроблена система може бути безпосередньо впроваджена у приватних будинках і квартирах як самостійне рішення або як модуль існуючої платформи «розумного будинку» (Home Assistant, Apple HomeKit, Google Home тощо). Її застосування дозволяє власникам житла суттєво знизити ризик затоплень і пов'язаних матеріальних збитків, отримати інструмент дистанційного контролю водоспоживання та зменшити витрати на аварійно-відновлювальні роботи.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВИТОКІВ ВНУТРІШНЬОБУДИНКОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Характеристика об'єкту автоматизації

Сучасні будівлі набувають дедалі більших ознак «розумних» систем завдяки масовому впровадженню інтегрованих рішень автоматизації, спрямованих на підвищення рівня безпеки та раціональне використання ресурсів. Серед найбільш актуальних проблем, що потребують технологічного вирішення, – аварійні витoki води, які здатні завдати значної шкоди як матеріальній базі об'єкта, так і його конструктивним елементам та інженерному обладнанню.

Автоматизовані системи виявлення витоків є ефективним інструментом раннього реагування: вони здатні фіксувати відхилення ще на початковому етапі, своєчасно оповіщати відповідальних осіб і в окремих випадках самостійно припиняти подачу води. У цьому огляді розглянуто основні типи готових ринкових рішень, проаналізовано їхні переваги та недоліки, а також запропоновано перспективні напрями вдосконалення.

1.1.1 Огляд наявних рішень

Системи на основі IoT та смарт-сенсорів [2]

Широко представлений клас рішень ґрунтується на технологіях Інтернету речей (IoT). Основу таких систем складають смарт-сенсори, що безперервно відстежують рівень вологості, тиск у трубопроводах та інші критичні параметри. Типова схема застосування – встановлення датчиків у вузлових точках будівлі: поряд із сантехнічними вузлами, у підвальних приміщеннях та в місцях проходження комунікацій.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Лазаренко А.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Бурнасов П.В.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
						<i>10</i>	<i>15</i>
					<i>КНУ АКІТ-22</i>		

Отримані дані передаються бездротовими каналами зв'язку до центрального контролера або мобільного застосунку, забезпечуючи моніторинг у режимі реального часу.

Переваги: [3]

- можливість дистанційного спостереження за станом системи;
- оперативне отримання сповіщень про виявлені відхилення;
- сумісність із системами управління будівлею (Building Management Systems, BMS).

Недоліки:

- суттєві початкові витрати на закупівлю та монтаж обладнання;
- залежність від стабільності інтернет-з'єднання;
- ризик хибних спрацьовувань через зовнішні чинники (підвищена вологість, атмосферні опади тощо).

Системи з автоматичним перекриттям водопостачання

Більш просунутий клас рішень не лише ідентифікує витік, а й автоматично реагує на нього, блокуючи подачу води. Ключовим елементом таких систем є електромагнітний клапан, інтегрований із датчиками відхилень тиску або вологості. Щойно сенсор реєструє аномалію – клапан спрацьовує і перекриває трубопровід, не чекаючи втручання людини.

Переваги:

- мінімізація збитків завдяки миттєвому блокуванню витоку;
- суттєве зниження ролі людського чинника в процесі реагування.

Недоліки:

- ризик необґрунтованого відключення при помилковому спрацьовуванні датчика;
- висока вартість системи у поєднанні зі складністю монтажу та необхідністю кваліфікованого технічного обслуговування.

Акустичні системи виявлення витоків

Окремий підхід базується на аналізі акустичного сигналу, що виникає у трубопроводі внаслідок витоку. Спеціалізовані сенсори вловлюють

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характерний шум, а вбудовані алгоритми аналізу дозволяють з достатньою точністю локалізувати місце пошкодження.

Переваги:

- висока точність визначення місця витoku;
- ефективність у закритих трубопровідних системах, де інші методи обмежені.

Недоліки:

- знижена ефективність при використанні пластикових труб, які поглинають звук;
- висока чутливість до умов навколишнього середовища та рівня зовнішнього шуму;
- складність калібрування та налаштування обладнання.

1.1.2 Порівняльний аналіз рішень

Кожний із розглянутих класів систем має свою сферу ефективного застосування і водночас певні структурні обмеження. IoT-рішення вирізняються гнучкістю та зручністю дистанційного управління [2, 3], але передбачають значні первинні інвестиції та безперебійне інтернет-з'єднання. Системи автоматичного відключення дають змогу запобігти масштабним аваріям, однак їхня надійність безпосередньо залежить від якості застосовуваних датчиків. Акустичні методи демонструють високу ефективність у металевих трубопроводах, але суттєво поступаються в умовах перешкод або при роботі з пластиковими матеріалами.

Жодне з поточних рішень не забезпечує комплексного захисту в усіх можливих умовах експлуатації, що зумовлює потребу в розробці гібридних і адаптивних підходів.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.1.3 Перспективні напрями розвитку

З метою подолання виявлених обмежень і підвищення ефективності захисту будівель від аварійних витоків пропонується розглянути такі напрями вдосконалення систем (у порядку зростання складності та вартості реалізації):

1. Мультидатчикова архітектура. Паралельне використання кількох типів сенсорів (датчиків вологості, тиску, акустичних і температурних) дозволяє перехресно верифікувати показання й суттєво знизити відсоток хибних спрацьовувань. Рішення стає більш стійким до впливу одиночних зовнішніх перешкод.
2. Модульна та масштабована архітектура. Побудова системи за модульним принципом уможливорює поступове нарощування функціоналу залежно від наявного бюджету та реальних потреб об'єкта. Базова конфігурація може бути розгорнута навіть у невеликих приміщеннях із можливістю подальшого розширення.
3. Глибока інтеграція з BMS. Розробка уніфікованих інтерфейсів для з'єднання систем виявлення витоків із платформами управління будівлею забезпечить централізований контроль і дозволить скоротити час реагування за рахунок автоматизації управлінських рішень.
4. Локальна обробка даних на основі TinyML. Використання технологій крайових обчислень (edge computing) у поєднанні з мініатюрними моделями машинного навчання (TinyML) дозволяє здійснювати первинну обробку даних безпосередньо на пристроях. Це зменшує залежність від хмарної інфраструктури та забезпечує швидку реакцію навіть при відсутності стабільного інтернет-з'єднання.
5. Інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання. Застосування алгоритмів ШІ для аналізу накопичених сенсорних даних відкриває можливості для прогностичного обслуговування: система здатна виявляти приховані закономірності в даних і заздалегідь ідентифікувати зони потенційного ризику ще до виникнення фізичного пошкодження.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз сучасних методів виявлення витоків води

Усі існуючі методи виявлення витоків води можна систематизувати за фізичним принципом дії, на якому вони базуються [4]. Така класифікація дозволяє одразу оцінити область застосування, потенційну точність і складність інтеграції кожного підходу.

За фізичним принципом методи поділяються на такі основні групи:

1. Методи на основі контролю вологості – реєстрація намокання поверхонь або повітря поблизу трубопроводу.
2. Методи на основі аналізу тиску – виявлення аномальних змін тиску у трубопровідній мережі.
3. Методи на основі аналізу витрати – фіксація нетипового споживання води поза межами штатного режиму.
4. Акустичні та вібраційні методи – аналіз звукового випромінювання, характерного для витоку рідини під тиском.
5. Теплові (інфрачервоні) методи – виявлення температурних аномалій у місцях намокання конструкцій.
6. Кабельні (провідні) системи виявлення – зміна електричних параметрів спеціального чутливого кабелю при контакті з водою.
7. Методи хімічного трасування – введення індикаторних речовин у воду для локалізації витоку.
8. Методи відеоаналітики з елементами штучного інтелекту – комп'ютерний зір для виявлення калюж і слідів зволоження.

1.2.1 Методи на основі контролю вологості

Датчики вологості є найбільш поширеним і економічно доступним засобом виявлення витоків у житловому секторі. Принцип їх роботи ґрунтується на вимірюванні електричного опору або ємності між двома електродами: при потраплянні води між ними провідність різко зростає, що фіксується мікроконтролером датчика як аварійний сигнал.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Датчики вологості встановлюються безпосередньо на підлозі або в нішах поряд із сантехнічними приладами – під раковинами, за унітазами, біля пральних і посудомийних машин, під ванною, а також у технічних зонах: котельнях, бойлерних і підвальних приміщеннях. Для котеджу з одним або двома санвузлами достатньо 3 – 5 датчиків, тоді як у багатоквартирному будинку кількість точок контролю може сягати десятків.

Переваги: низька вартість (від 150 до 800 грн за одиницю), простота монтажу без порушення цілісності трубопроводу, висока надійність, широка підтримка популярними протоколами бездротового зв'язку (Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi), сумісність із більшістю платформ «розумного будинку».

Недоліки: реагують лише після того, як вода вже вийшла за межі трубопроводу і досягла підлоги; нездатні виявити прихований витік у стіні або під стяжкою; вимагають правильного позиціонування – відстань від місця витоку до датчика безпосередньо визначає час виявлення.

Придатність до Smart Home: висока. Більшість сучасних моделей (Aqara, Sonoff, FIBARO, Nest) інтегруються в Home Assistant, Apple HomeKit, Google Home та Amazon Alexa без додаткового налаштування. У парі з електромагнітним клапаном забезпечують повністю автоматичне перекриття подачі води.

1.2.2 Методи на основі аналізу тиску

Кожна водопровідна мережа функціонує в певному діапазоні робочого тиску. Поява витоку супроводжується його падінням або нестандартними осциляціями, які можуть бути зафіксовані відповідними датчиками. Метод аналізу тиску є особливо ефективним для виявлення витоків у прихованих ділянках трубопроводу — у стінах, під підлогою або в підвалі, де встановлення датчиків вологості технічно ускладнене.

Сучасні IoT-датчики тиску встановлюються безпосередньо на введення водопроводу в будинок або на ключових вузлах розводки та передають показання в режимі реального часу. Алгоритм аналізу порівнює поточний тиск

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

з профілем нормального водоспоживання і виявляє аномалії, зокрема нічне падіння тиску при закритих кранах — один з найбільш надійних індикаторів прихованого витоку.

Переваги: здатність виявляти приховані витoki до появи зовнішніх ознак; не вимагає розміщення датчиків у кожній точці ймовірного витоку; висока точність при правильному налаштуванні порогових значень.

Недоліки: складність розрізнення витоку від штатних перепадів тиску в центральній мережі водопостачання; необхідність калібрування під конкретний об'єкт; можливі помилкові спрацювання при гідравлічних ударах.

Придатність до Smart Home: висока за умови використання сумісних IoT-датчиків із підтримкою MQTT або Modbus. Добре поєднується з платформою Home Assistant для налаштування складних автоматизацій.

1.2.3 Методи аналізу витрати

Розумні лічильники витрати (flow meters) вимірюють фактичний об'єм води, що проходить через трубопровід за одиницю часу. Аномальне споживання у нічний час, при відсутності мешканців або тривала мінімальна витрата, що не відповідає жодному з зареєстрованих профілів споживання, є ознакою витоку. Деякі пристрої (наприклад, Flume Water Monitor, Phyn Plus, Streamlabs Home Water Monitor) навчаються розпізнавати сигнатури конкретних споживачів – душу, пральної машини, посудомийки – і виявляють відхилення від вивчених патернів.

Особливу цінність цей метод становить у приватних котеджах, де вода підводиться через єдину точку вводу: один розумний лічильник на введенні здатний моніторити всю внутрішню мережу без встановлення датчиків у кожному приміщенні.

Переваги: єдина точка встановлення для захисту всього будинку; здатність виявляти мікровитоки за допомогою аналізу профілів споживання; точний облік витраченої води; можливість інтеграції з мобільним додатком для контролю витрат.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки: неефективні при витоках у ділянках трубопроводу поза зоною встановлення лічильника (наприклад, до введення в будинок); відносно висока вартість якісних моделей; для МКД потребують встановлення окремого приладу на кожну квартиру.

Придатність до Smart Home: дуже висока. Провідні моделі мають власні застосунки та підтримують інтеграцію через API або Home Assistant. У парі з перекиривним клапаном формують комплексний захист від витоків.

1.2.4 Акустичні та вібраційні методи

Витік води під тиском генерує специфічний акустичний сигнал у діапазоні від кількох герц до кількох кілогерц. Акустичні датчики (мікрофони та п'єзоелектричні перетворювачі) закріплюються на трубопроводі або поряд з ним і аналізують цей сигнал. Сучасні системи застосовують алгоритми машинного навчання для відфільтровування фонового шуму і точного розпізнавання акустичного «підпису» витoku, характерного для конкретного матеріалу труби.

Метод особливо ефективний для сталевих і мідних трубопроводів, де акустична хвиля поширюється на значні відстані. Для пластикових труб (РЕХ, поліпропілен), широко поширених у сучасних котеджах, ефективність знижується через більше поглинання звуку матеріалом.

Переваги: найкоротший час виявлення серед усіх методів (секунди); здатність локалізувати місце витoku без демонтажу конструкцій; можливість виявлення витоків у прихованих ділянках трубопроводу.

Недоліки: знижена ефективність для пластикових трубопроводів; чутливість до зовнішніх шумів (вуличний рух, робота побутових приладів); складність і висока вартість систем із функцією точної локалізації; необхідність навчання алгоритму під конкретний тип труб.

Придатність до Smart Home: часткова. Спеціалізовані рішення мають власний інтерфейс, інтеграція з Home Assistant або HomeKit вимагає додаткових зусиль або наявності відповідного шлюзу.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.2.5 Теплові (інфрачервоні) методи

Тепловізійне обстеження ґрунтується на виявленні температурних аномалій у будівельних конструкціях, що виникають унаслідок намокання. Вода, що просочується крізь стіни або підлогу, змінює їхні теплофізичні властивості, що фіксується інфрачервоною камерою у вигляді характерних холодних або теплих зон.

Метод є надзвичайно точним і дозволяє виявляти приховані витоки за мінімальних зовнішніх ознак. Проте він має принципово епізодичний характер: тепловізійне обстеження проводиться фахівцем у плановому порядку або після виявлення підозрілих ознак, а не в режимі безперервного моніторингу. Для постійного контролю теплові методи непридатні через надмірну вартість стаціонарного тепловізійного обладнання.

Переваги: висока точність і наочність результатів; безконтактний метод без порушення конструкцій; виявлення навіть мінімального намокання.

Недоліки: не забезпечує безперервного моніторингу; вимагає залучення кваліфікованого спеціаліста та дорогого обладнання; результати залежать від різниці температур між приміщенням і зовнішнім середовищем.

Придатність до Smart Home: практично відсутня в режимі безперервного контролю. Застосовується як інструмент діагностики, а не постійного захисту.

1.2.6 Кабельні системи виявлення

Кабельні системи являють собою спеціальний чутливий кабель, що укладається по периметру захищуваної зони – під підлогою, вздовж трубопроводів, у канавках технічних підлог. При контакті кабелю з водою змінюється його електричний опір, що реєструється контролером. Деякі системи здатні не лише зафіксувати факт витоку, а й визначити відстань до місця контакту з водою, аналізуючи величину зміни опору.

Кабельні системи широко застосовуються у серверних кімнатах, архівах і технічних приміщеннях приватних будинків — підвалах і котельнях. Вони добре підходять для захисту відкритих ділянок трубопроводу та дренажних зон.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги: суцільне лінійне покриття зони контролю без "мертвих зон"; висока надійність і відмовостійкість; прийнятна вартість для невеликих площ.

Недоліки: складність монтажу у вже збудованих приміщеннях; необхідність прокладання кабелю по всьому периметру; обмежена гнучкість конфігурації.

Придатність до Smart Home: часткова. Провідні системи підключаються до шлюзу «розумного будинку» через сухий контакт або RS-485, що потребує додаткового налаштування.

1.2.7 Методи хімічного трасування

Метод хімічного трасування полягає у введенні в трубопровідну мережу нешкідливого індикатора — флуоресцентного барвника або радіоактивного ізотопу — з подальшим обстеженням поверхонь у пошуках його слідів. Місця виходу трасера відповідають точкам витoku. Метод застосовується переважно комунальними службами для локалізації витоків у підземних мережах або прихованих трубопроводах великої протяжності.

Для житлового сектору – котеджів і МКД метод є малопрактичним через необхідність спеціалізованого обладнання, залучення фахівців і неможливості безперервного моніторингу. Він розглядається виключно як інструмент одноразової діагностики.

Придатність до Smart Home: відсутня. Метод не підлягає автоматизації в побутових умовах.

1.2.8 Відеоаналітика з елементами штучного інтелекту

Сучасні системи комп'ютерного зору здатні аналізувати відеопотік із камер і виявляти характерні ознаки витoku – калюжі, патьоки вологи, зміни текстури поверхні [5]. Алгоритми на основі нейронних мереж (CNN) навчаються розпізнавати ці ознаки в режимі реального часу і формувати сповіщення при їх виявленні. Інтеграція з платформою відеонагляду Frigate, яка

може функціонувати на базі Home Assistant, робить цей підхід доступним для технічно підготовлених користувачів.

Для МКД метод перспективний у технічних приміщеннях, підвалах і місцях введення трубопроводів, де встановлені камери. Для котеджів – у бойлерних і підвалах. Відкриті санвузли є менш придатними через умови освітлення та конфіденційність.

Переваги: використання існуючої інфраструктури відеонагляду без додаткових датчиків; наочна документація інциденту; можливість аналізу архіву запису для встановлення часу появи витoku.

Недоліки: висока обчислювальна вимогливість (потребує GPU або NPU); ефективна лише при наявності камер у зонах ймовірних витоків; неефективна для прихованих витоків.

Придатність до Smart Home: висока при використанні Frigate NVR у зв'язці з Home Assistant; формує сповіщення з фрагментом відео, але не може автоматично перекрити воду без додаткового виконавчого пристрою.

1.2.9 Порівняльний аналіз методів

Зведена порівняльна характеристика розглянутих методів наведена в Таблиця 1.1 [4].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів виявлення витоків

Метод	Принцип дії	Тип об'єкта	Точність	Вартість устатк.	Час реакції	Smart Home
Пасивні датчики вологості	Зміна опору/ємності при намоканні	Котедж / МКД	Середня	Низька	1–5 хв	Так
Датчики перепаду тиску	Аналіз відхилення тиску від норми	МКД / стояки	Висока	Середня	30–120 с	Так
Лічильники витрати з аналізом	Вимірювання нетипового споживання	Котедж / МКД	Висока	Середня	5–15 хв	Так
Акустичні/вібраційні датчики	Аналіз звуку витoku в трубі	Котедж	Дуже висока	Висока	< 30 с	Частково
Теплові (інфрачервоні) камери	Виявлення перепадів температури	МКД / поверхи	Дуже висока	Дуже висока	Разово	Ні
Кабельні системи виявлення	Провідна сітка по периметру	Котедж / підвал	Висока	Середня	1–3 хв	Частково

Метод	Принцип дії	Тип об'єкта	Точність	Вартість устатк.	Час реакції	Smart Home
Хімічні трасери	Введення маркера у воду	МКД / магістраль	Висока	Висока	Години	Ні
Відеоспостереження + ШІ	Комп. зір для виявлення патюжин	МКД / вузлові зони	Середня	Висока	2–10 хв	Так

Як видно з таблиці 1.1, жоден із розглянутих методів не є універсальним і не перекриває всіх сценаріїв виникнення витоку. Датчики вологості мають найбільш збалансований профіль «ефективність – вартість – інтегрованість» і є основою більшості побутових рішень. Аналіз витрати забезпечує захист на рівні всього будинку, але не локалізує місце витоку. Акустичні методи дають найвищу точність, але мають обмеження щодо типу матеріалу труб. Теплові методи та хімічне трасування є інструментами діагностики, а не постійного контролю.

1.2.10 Аналіз можливості інтеграції в систему «розумного будинку»

Ефективність автоматизованої системи контролю витоків у контексті «розумного будинку» визначається не лише здатністю датчика зафіксувати факт витоку, а й повнотою ланцюга реагування: виявлення → обробка → сповіщення → автоматична дія. Таблиця 1.2 відображає можливості інтеграції кожного методу в екосистему Smart Home [6].

Таблиця 1.2 – Можливість інтеграції в систему «розумного будинку»

Метод	Протокол інтеграції	Підтримка платформ	Автоматичне перекриття	Мобільне сповіщення
Датчики вологості (IoT)	Zigbee / Z-Wave / Wi-Fi	HA, HomeKit, Google	Так (з клапаном)	Push / SMS / Email
Датчики тиску (IoT)	Wi-Fi / MQTT	HA, Google	Так (з клапаном)	Push / Telegram
Розумні лічильники витрати	Wi-Fi / Bluetooth	HA, Google	Так (з клапаном)	Push / Email
Акустичні датчики (вбудовані)	Wi-Fi / BLE	HA (custom)	Частково	Push
Кабельні системи (провідні)	RS-485 / сух. контакт	HA (custom)	Так (реле)	Залежить від шлюзу
Відеоаналітика (ШІ-камера)	ONVIF / RTSP / Wi-Fi	HA, Frigate	Ні (лише сигнал)	Push (відео)

Аналіз таблиці 1.2 демонструє, що найбільший потенціал для побудови повністю автоматизованого захисту від витоків у рамках «розумного будинку» мають три методи: датчики вологості (IoT), датчики тиску (IoT) та розумні лічильники витрати. Усі три підтримують бездротові протоколи, інтегруються в провідні платформи та дозволяють організувати автоматичне перекриття подачі води через електромагнітний клапан.

1.2.11 Специфіка застосування методів для котеджів і багатоквартирних будинків

Приватний будинок характеризується єдиною точкою введення водопроводу, відносно компактною мережею та повним контролем власника над усіма приміщеннями. Це дозволяє реалізувати ефективний захист із мінімальною кількістю приладів:

- розумний лічильник витрати або датчик тиску на введенні – для моніторингу всієї системи;
- датчики вологості в кожному санвузлі, кухні, котельні та підвалі – для локалізації витоку;
- один електромагнітний клапан на введенні – для автоматичного перекриття;
- центральний контролер (Home Assistant на Raspberry Pi або аналогічній платформі) – для обробки подій і управління.

Така конфігурація дозволяє досягти повного автоматизованого захисту за відносно невисокого бюджету – орієнтовно від 5 000 до 15 000 грн залежно від площі будинку і обраного обладнання.

У МКД ситуація принципово складніша. Водопровідна мережа є розгалуженою і проходить через конструкції, що перебувають у спільній власності. Стояки, розташовані у вертикальних нішах між квартирами, є найбільш ризикованими зонами, оскільки їх пошкодження може одночасно залити декілька поверхів.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист МКД доцільно організувати на двох рівнях. На рівні квартири – це датчики вологості в санвузлах і на кухні, розумний лічильник витрати та індивідуальний клапан на введенні в квартиру. На рівні будинку – датчики у технічних приміщеннях, підвалах і нішах стояків, підключені до централізованої системи диспетчерського управління (для ОСББ або керуючої компанії). Принципово важливим є питання відповідальності: власник квартири може повністю автоматизувати захист на своєму периметрі, тоді як захист спільного майна потребує координації на рівні управління будинком.

Проведений аналіз дозволяє зробити такі висновки щодо вибору методів виявлення витоків для систем «розумного будинку»:

1. Оптимальною стратегією для обох типів житлових об'єктів є гібридний підхід, що поєднує щонайменше два методи: моніторинг витрати або тиску на рівні введення водопроводу – для виявлення прихованих витоків, та датчики вологості в критичних точках – для швидкої локалізації явних витоків.
2. Датчики вологості з підтримкою Zigbee або Z-Wave та розумні лічильники витрати є найбільш перспективними елементами для інтеграції в екосистему «розумного будинку» з огляду на їхній функціонал, вартість і широку підтримку платформ.
3. Електромагнітний клапан автоматичного перекриття на введенні водопроводу є обов'язковим елементом повноцінної системи захисту, що перетворює її з інформаційної (лише сповіщення) на активну (дія без участі людини).
4. Для котеджів достатньо одного рівня захисту з центральним клапаном; для МКД доцільно передбачити дворівневу архітектуру – на рівні квартири і на рівні будинку.
5. Акустичні методи та відеоаналітика є перспективними допоміжними засобами, що можуть бути інтегровані в систему для підвищення точності та скорочення часу реакції, але не замінюють базових

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1.3 Висновки до розділу 1

У першому розділі роботи проведено комплексний аналіз систем побутового водопостачання як об'єктів автоматизації, виконано детальний огляд наявних комерційних рішень, а також систематизовано сучасні фізичні методи виявлення аварійних витоків води з оцінкою їхньої придатності для інтеграції в сучасну інфраструктуру «розумного будинку».

На основі виконаного дослідження можна сформулювати такі основні висновки: оптимальною стратегією побудови сучасної активної системи захисту від витоків у концепції Smart Home є гібридний підхід [6]. Він повинен комбінувати суцільний моніторинг параметрів гідродинамічного стану (витрати чи тиску) на вводі в будівлю з мережею швидких бездротових датчиків локального контролю вологості у вузлових точках, та обов'язковим використанням виконавчого електромагнітного клапана для гарантованого автоматичного відсікання аварійної ділянки без участі людини.

Зазначений комплексний підхід покладено в основу подальших проектних та конструкторських рішень даної кваліфікаційної роботи.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розробка структури системи контролю протікання води

На основі виконаного у першому розділі (стор. 10 – 24) дослідження прийнято оптимальну стратегією побудови сучасної активної системи захисту від витоків у концепції Smart Home що представляє собою комбінацію суцільного моніторингу параметрів гідродинамічного стану (витрати чи тиску) на вводі в будівлю з мережею швидких бездротових датчиків локального контролю вологості у вузлових точках, та обов'язковим використанням виконавчого електромагнітного клапана для гарантованого автоматичного відсікання аварійної ділянки без участі людини (Рисунок 2.1).

Система контролю протікання води призначена для автоматичного виявлення витоків у приватному котеджі, включаючи як відкрито розташовані сантехнічні вузли, так і труби, прокладені у стінах або підлозі (вмуровані труби). Система забезпечує цілодобовий моніторинг, миттєве сповіщення власника та автоматичне перекривання водопостачання.

2.1.1 Функціональні можливості

- Виявлення крапель та калюж води у характерних місцях (під мийками, поруч із бойлером, пральною машиною, в санвузлах)
- Моніторинг тиску у трубопроводі в режимі реального часу
- Вимірювання витрати води з фіксацією аномальних значень
- Виявлення прихованих витоків у вмурованих трубах за алгоритмом нічного тесту
- Моніторинг температури труб для попередження замерзання

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Лазаренко А.О.			РОЗДІЛ 2				Лім.	Арк.	Архувів	
Перевір.		Бурнасов П.В.									25	30
									КНУ АКІТ-22			
Н. Контр.		Маринич І.А.										
Затверд.		Маринич І.А.										

- Автоматичне перекривання головного крана при виявленні аварії
- Push-сповіщення та Telegram-повідомлення власнику
- Звукова сигналізація через сирену 12V
- Веб-дашборд з графіками та журналом подій
- Керування системою через мобільний додаток Home Assistant

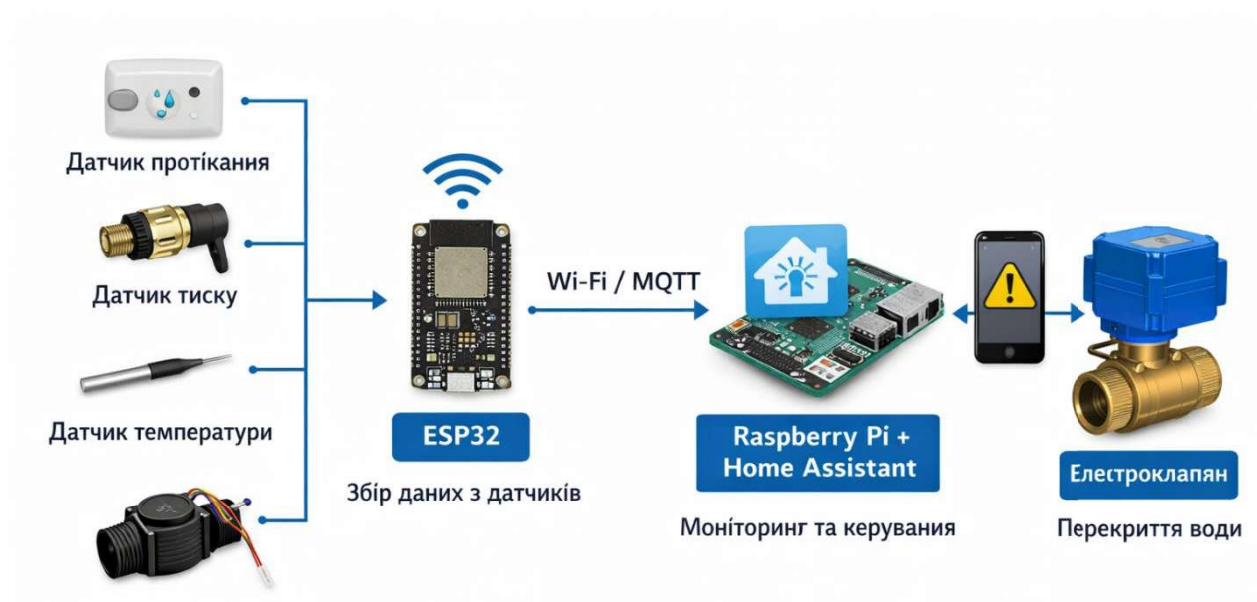


Рисунок 2.1 – Загальна структура моніторингу протікання води

2.1.2 Побудова і робота системи

Система побудована за чотирирівневою архітектурою (Рисунок 2.2):

1. Рівень датчиків – фізичні пристрої збирають дані про наявність води, тиск та витрату.
2. Рівень контролера – мікроконтролер ESP32 з прошивкою ESPHome опитує датчики та передає дані на сервер по Wi-Fi.
3. Рівень сервера – Raspberry Pi 4 з Home Assistant OS отримує дані, аналізує їх за правилами автоматизації та виконує відповідні дії.
4. Рівень реакції та моніторингу – ESP32 за допомогою реле закриває кран на вводі води в будинок, вмикає сирену, подія фіксується в Push сповіщенні на телефоні, повідомлення у телеграм боті та формується запис в журнал подій.

зворотній клапан, фільтр грубого очищення води, фільтр тонкого очищення води, датчик тиску WNK81MA (встановлено на фільтр тонкого очищення), датчик витрати води YF-B10, кран автоматичної відсічки.

2.1.2.2 Рівень 1. Датчики та виконавчі пристрої

У системі контролю протікання використовуються датчики з наступними типами інтерфейсу: WiFi – датчики протікання TuYa, GPIO – витратомір YF-B10 (частота), сирена та модуль реле, I²C – датчик тиску WNK81MA, 1-Wire – датчик температури (Рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Рівень 1

2.1.2.3 Рівень 2. Мікроконтролер

На рівні керування мікроконтролера ESP32 відбувається безпосереднє керування системою контролю протікання, що забезпечує автономну роботу системи незалежно від наявності інтернету та забезпечується автономність живлення системи за рахунок наявності блока безперебійного живлення (UPS) (Рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Рівень 2

2.1.2.4 Рівень 3. Сервер

Сервер побудовано на основі одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 зі встановленою операційною системою Home Assistant V17.03 (Рисунок 2.6). Сервер забезпечує взаємодію з телеграм ботом, обслуговує дашборд, керує всіма іншими датчиками і пристроями розумного будинку, які не є предметом розгляду даної роботи.

РІВЕНЬ 3 – СЕРВЕР (HOME ASSISTANT OS)

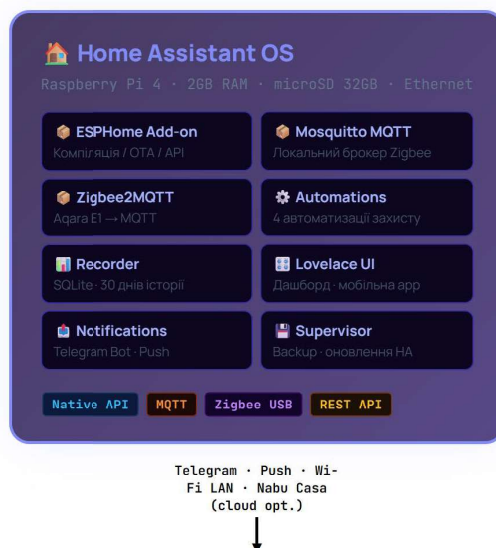


Рисунок 2.6 – Рівень 3

2.1.2.5 Рівень 4. Реакція та моніторинг

ESP32 виконує опитування датчиків протікання і у випадку спрацювання будь-якого датчика закриває кран на вводі водоводу і вмикає сирену. (Рисунок 2.7) Крім того вночі, коли відсутній водорозбір, відбувається аналіз показів витратоміра. Якщо наявна витрати води при відсутності споживання води, тобто покази витратоміра в нічний час не стають рівними нулю, то це означає що є протікання у вмурованих трубах і з'єднаннях. У цьому, як і у попередньому, випадку сервер генерує відповідні повідомлення.

РІВЕНЬ 4 – РЕАКЦІЯ ТА МОНІТОРИНГ

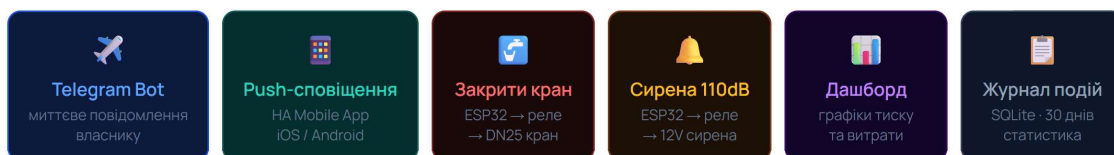


Рисунок 2.7 – Рівень 4

2.2 Вибір технічних засобів реалізації системи

2.2.1 Одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 Model B (Рисунок 2.8) – це четверте покоління одноплатних комп'ютерів, розроблених фондом Raspberry Pi Foundation і представлених у червні 2019 року. Платформа базується на 64-бітній архітектурі ARM та призначена для виконання широкого спектра обчислювальних завдань, від освітніх проєктів до промислових застосувань. Основними характеристиками плати є чотирьохядерний процесор Cortex-A72, підтримка до 8 ГБ оперативної пам'яті LPDDR4, подвійна підтримка дисплеїв з роздільною здатністю 4K та інтегровані інтерфейси зовнішнього обміну даними.[7]

2.2.1.1 Архітектура однокристальної системи

Процесорний блок

Центральним елементом плати є однокристальна система Broadcom BCM2711, що інтегрує чотирьохядерний 64-бітний процесор Cortex-A72 архітектури ARM v8 з тактовою частотою 1.5 ГГц. Ядра процесора організовані в однорідну конфігурацію без розподілу на продуктивні та енергоефективні кластери. Кожне ядро має власний кеш першого рівня (L1) розміром 32 КБ для інструкцій та 32 КБ для даних. Кеш другого рівня (L2) розміром 1 МБ є спільним для всіх чотирьох ядер [7].

Графічна підсистема

Інтегрований графічний процесор VideoCore VI працює з тактовою частотою 500 МГц і забезпечує апаратне прискорення обробки відео та графіки. GPU підтримує декодування відео H.265 (HEVC) з високою ефективністю стиснення, що дозволяє відтворювати відео у форматі 4K Ultra HD при 60 кадрах на секунду. Відеопідсистема також забезпечує підтримку OpenGL ES 3.1, OpenCL 2.0 та Vulkan 1.0 для програмного прискорення графічних операцій [7].

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

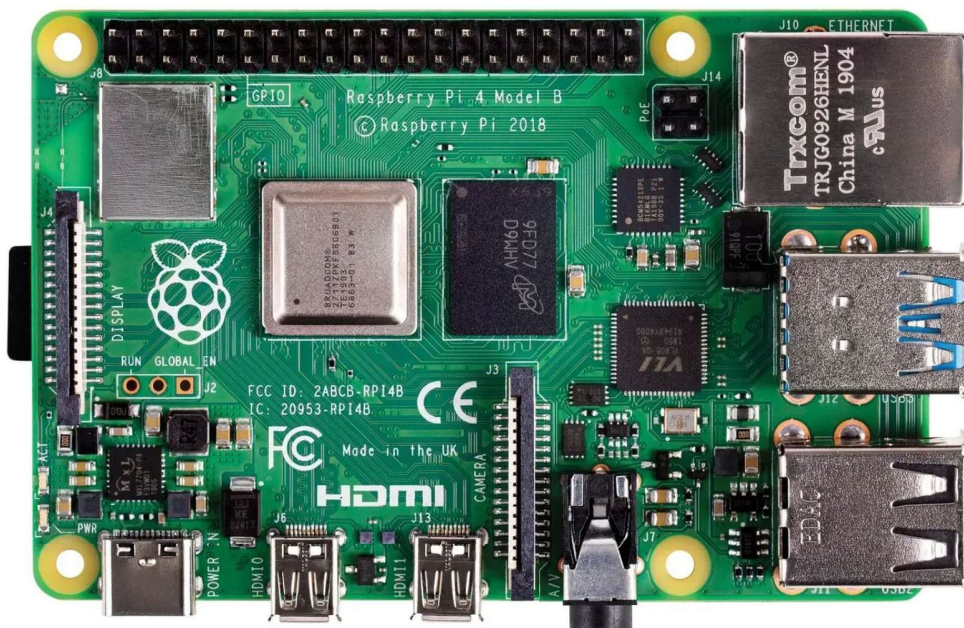


Рисунок 2.8 – Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4

Підсистема пам'яті

Оперативна пам'ять

Платформа Raspberry Pi 4 існує у чотирьох конфігураціях об'єму оперативної пам'яті: 1 ГБ, 2 ГБ, 4 ГБ та 8 ГБ. Використовується пам'ять типу LPDDR4-3200 SDRAM, що працює на частоті 3200 Мбіт/с на контакт. Оперативна пам'ять є спільною для центрального процесора та графічного процесора. Розподіл пам'яті між CPU та GPU здійснюється динамічно залежно від навантаження. За замовчуванням виділяється 75% пам'яті для CPU та 25% для GPU, однак ці параметри можуть бути змінені через конфігураційний файл boot.

Пам'ять для завантаження операційної системи

Для завантаження операційної системи призначена картка пам'яті формату microSD, що встановлюється в слот на зворотному боці плати. Платформа підтримує картки об'ємом до 2 ТБ у форматі microSDXC з протоколом UHS-I для забезпечення високої швидкості читання/запису.[7]

Інтерфейси зовнішнього обміну даними

USB-інтерфейси

Плата має чотири порти USB, організовані в дві групи:

- Два порти USB 3.0 зі швидкістю передачі даних до 5 Гбіт/с (стан IEEE 1394b)
- Два порти USB 2.0 зі швидкістю до 480 Мбіт/с

Контролер USB 3.0 підключений безпосередньо до трьохлінійної шини PCIe, що забезпечує повну пропускну здатність без Shared bandwidth з USB 2.0 контролером. Це дозволяє підключати зовнішні накопичувачі SSD з високою швидкістю доступу до даних.

Мережеві інтерфейси

Ethernet

Інтегрований мережевий контролер забезпечує підключення до локальної мережі через інтерфейс Gigabit Ethernet з підтримкою швидкостей 10, 100 та 1000 Мбіт/с. Контролер підтримує автонастроювання швидкості (auto-negotiation) та повний дуплексний режим передачі даних. Фізичний інтерфейс — RJ-45 роз'єм з інтегрованим трансивером.

Wi-Fi

Бездротовий мережевий адаптер працює за стандартом 802.11 b/g/n/ac у двох діапазонах: 2.4 ГГц та 5.0 ГГц. Підтримується режим 2×2 MIMO для діапазону 5 ГГц, що забезпечує максимальну теоретичну швидкість передачі даних до 433 Мбіт/с. Адаптер сумісний з протоколами безпеки WPA3 та WPA2.

Bluetooth

Інтегрований модуль Bluetooth версії 5.0 з підтримкою Low Energy (BLE) забезпечує підключення до периферійних пристроїв: клавіатур, миш, бездротових навушників та датчиків. Діапазон частот – 2.4 ГГц, максимальна відстань бездротового з'єднання становить до 100 метрів у відкритому просторі для класу 2 пристроїв.

Відеовиходи та підтримка дисплеїв

HDMI-інтерфейси

Плата має два мікро-HDMI порти версії 2.0, кожен з яких підтримує роздільну здатність до 4K (3840×2160 пікселів) при частоті оновлення 60 Гц.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При одночасному підключенні двох моніторів кожен дисплей працює з роздільною здатністю 4K при 30 Гц або Full HD (1920×1080) при 60 Гц.[2][4]

Порти HDMI підтримують вихід звуку з підтримкою багатоканального аудіо (7.1 surround sound) та передачу сигналів захищеного контенту через HDCP 2.2.[4]

Аудіовихід

Аналоговий аудіовихід реалізований через 4-контактний міні-джек 3.5 мм, що забезпечує стереофонічний вихід із підтримкою SBS (S/PDIF) для цифрового звуку. Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) має роздільну здатність 24 біт із частотою дискретизації до 192 кГц.

Інтерфейси для периферійних пристроїв

Camera Serial Interface (CSI)

Інтерфейс CSI призначений для підключення камер Raspberry Pi Camera Module через шлейф MIPI CSI (Camera Serial Interface). Підтримується передача даних з камер у форматі RAW з роздільною здатністю до 13 мегапікселів. Інтерфейс працює з використанням двох ліній передачі даних (data lanes) з максимальною швидкістю 1 Гбіт/с на лінію.

Display Serial Interface (DSI)

Інтерфейс DSI призначений для підключення дисплеїв Raspberry Pi через шлейф MIPI DSI (Display Serial Interface). Підтримується підключення дисплеїв з роздільною здатністю до 1920×1080 пікселів з використанням двох ліній передачі даних.

GPIO-роз'єм

40-контактний роз'єм GPIO (General Purpose Input/Output) забезпечує програмовані входи/виходи для підключення електронних компонентів, датчиків. Контакти групи GPIO підтримують наступні протоколи:

- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) для послідовного з'єднання
- I²C (Inter-Integrated Circuit) для підключення периферійних мікросхем

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- SPI (Serial Peripheral Interface) для високошвидкісного послідовного з'єднання
- PWM (Pulse Width Modulation) для генерації імпульсів з широтною модуляцією

Напруга живлення логічних рівнів GPIO становить 3.3 В. Максимальний струм на один контакт – 16 мА, загальний струм для всіх контактів – 50 мА.[7]

Електричні параметри та живлення

Живлення плати

Плата живиться через роз'єм USB Type-C від джерела живлення з параметрами 5 В $\pm 5\%$ та максимальним струмом 3 А, що відповідає потужності 15 Вт.

Споживання енергії залежить від навантаження процесора та підключеної периферії:

- Режим простою: приблизно 0.3–0.5 А (1.5–2.5 Вт)
- Максимальне навантаження всіх чотирьох ядер: до 2.5 А (12.5 Вт)
- Максимальне споживання з урахуванням периферії: 3 А (15 Вт)

Габарити та вага

Розміри плати становлять 85×56×17 мм. Вага плати без корпусу приблизно 46 г.

Підтримувані операційні системи

Платформа Raspberry Pi 4 офіційно підтримує наступні операційні системи:

- Raspberry Pi OS (спадкоємець Raspbian) – оптимізована дистрибуція Debian з ядром Linux 5.x та графічним середовищем PIXEL
- Ubuntu MATE, Ubuntu Core, Ubuntu Desktop – офіційні порти Ubuntu для ARM архітектури
- LibreELEC — спеціалізована операційна система для медіацентрів на базі Kodi

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- Windows 10 IoT Core — обмежена версія Windows для IoT-пристроїв від Microsoft
- Android TV — порти Android для медіазаастосувань
- Гнучкі дистрибутиви Linux: Arch Linux ARM, Fedora ARM, Debian ARM

Застосування в наукових та промислових системах

Завдяки стабільній роботі, широкому набору інтерфейсів та підтримці реальних операційних систем (RTOS), Raspberry Pi 4 може використовуватися як контролер у системах автоматизації, SCADA-системах та як шлюз для IoT-пристроїв.

Платформа придатна для виконання обчислювальних завдань у наукових дослідженнях: обробка даних з датчиків, комп'ютерний зір, машинне навчання з використанням бібліотек TensorFlow Lite та PyTorch Mobile, симуляції та моделювання.

Апаратне прискорення відео H.265/HEVC дозволяє використовувати Raspberry Pi 4 як медіацентр для відтворення відео 4K, як сервер відеоспостереження з підтримкою кількох камер, або як пристрій для транслявання відео в реальному часі.

2.2.2 Мікроконтролер ESP32

ESP32 – це сімейство енергоефективних мікроконтролерів компанії Espressif Systems, створене для побудови бездротових вбудованих систем, вузлів Інтернету речей, сенсорних платформ і пристроїв керування реального часу. Його популярність зумовлена поєднанням обчислювальної продуктивності, широкого набору периферійних інтерфейсів, вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, а також відносно низької вартості й великої екосистеми програмних засобів (Рисунок 2.9).[8]

У сучасній електроніці мікроконтролери відіграють роль універсального обчислювального ядра для вимірювальних, комунікаційних і керувальних систем. ESP32 посідає особливе місце серед таких рішень, оскільки поєднує двоядерну архітектуру, бездротові інтерфейси та багатофункціональну

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

периферію в одному компактному модулі. Це робить його придатним не лише для простих навчальних проєктів, а й для складніших застосувань, зокрема в автоматизації, телеметрії, розумному домі, портативних пристроях і системах обробки даних.



Рисунок 2.9 – Мікроконтролер ESP32

На практиці під назвою ESP32 часто мають на увазі не один чіп, а ціле сімейство мікроконтролерів і модулів, серед яких найбільш відомими є ESP32-WROOM-32 та ESP32-WROVER. Таке розмаїття дозволяє обирати конфігурацію під конкретне завдання: від простого бездротового датчика до застосувань, що потребують додаткової пам'яті або більшого набору периферійних можливостей.

Архітектура

Класичний ESP32 побудований на основі двоядерного 32-бітного процесора Xtensa LX6, тактова частота якого може змінюватися в діапазоні приблизно від 80 до 240 МГц. Наявність двох ядер дає змогу розділяти обчислювальні задачі, наприклад відокремлювати мережеву обробку від завдань керування виконавчими механізмами або збору даних. Така структура особливо корисна в системах, де потрібні одночасно обмін даними, періодичне опитування сенсорів і забезпечення часової визначеності.

Оперативна пам'ять ESP32 у базових реалізаціях становить близько 520 КБ SRAM, а обсяг зовнішньої флеш-пам'яті типово коливається в межах 4–16 МБ для модулів на кшталт WROOM або WROVER. Додатково в окремих модифікаціях може використовуватися PSRAM, що суттєво розширює можливості при роботі з графікою, буферизацією даних, аудіо або камерою. Саме тому ESP32 часто застосовують у проєктах, де для класичних мікроконтролерів обсяг пам'яті є обмежувальним фактором.

Бездротова частина платформи включає Wi-Fi 802.11n у діапазоні 2,4 ГГц і Bluetooth Classic та Bluetooth Low Energy, що забезпечує універсальність у побудові локальних мереж і взаємодії з мобільними пристроями. Наявність цих інтерфейсів в одному чіпі зменшує складність апаратної частини, спрощує трасування друкованих плат і знижує енергетичні та економічні витрати порівняно з рішеннями, де радіомодулі реалізуються окремо.

Периферія

Однією з головних переваг ESP32 є багатий набір периферійних блоків. До нього входять АЦП, ЦАП, UART, SPI, I²C, PWM-канали, сенсорні входи, таймери та спеціалізовані інтерфейси для підключення зовнішніх пристроїв. У ряді модифікацій також присутні функції, пов'язані з CAN, Ethernet MAC, SDIO, інфрачервоним передаванням і апаратним прискоренням криптографічних операцій. Такий набір перетворює ESP32 з простого контролера на повноцінну платформу для багатофункціональних вбудованих систем.

Аналогово-цифрові перетворювачі дають змогу підключати датчики напруги, струму, температури, освітленості та інші вимірювальні канали, а цифрові інтерфейси забезпечують сумісність із модулями дисплеїв, пам'яті, RTC, сенсорними платами й виконавчими блоками. Сенсорні входи дозволяють реалізовувати ємнісні кнопки без окремих механічних перемикачів, що корисно для герметичних або зносостійких інтерфейсів користувача. ЦАП, у свою чергу, відкриває можливість простого формування аналогових сигналів або звукових ефектів у базових схемах.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Окремо слід відзначити апаратні механізми захисту, зокрема secure boot, flash encryption і криптографічне прискорення для AES, SHA, RSA, ECC та генератора випадкових чисел. У контексті IoT це має принципове значення, оскільки мікроконтролер часто працює в мережевому середовищі та обробляє дані, які можуть бути чутливими або критичними для безпеки.

Енергоспоживання

ESP32 проектувався як мікроконтролер із підтримкою режимів зниженого енергоспоживання, що робить його придатним для автономних і батарейних пристроїв. Типова напруга живлення становить 2,2 – 3,6 В, а споживаний струм суттєво залежить від активного режиму, використання Wi-Fi та Bluetooth, а також від вибраного профілю енергозбереження. У режимах Light Sleep і Deep Sleep споживання може знижуватися до часток міліампера або навіть до одиниць мікроампер, що є критично важливим для сенсорних вузлів і пристроїв із тривалим терміном автономної роботи.

На практиці це означає, що ESP32 може більшу частину часу перебувати в енергоощадному режимі, а прокидатися лише для зчитування даних або передачі коротких пакетів інформації. Такий підхід широко застосовується у метеостанціях, системах моніторингу навколишнього середовища, GPS-трекерах, розумних лічильниках і носимій електроніці.

Застосування

ESP32 широко використовується в системах Інтернету речей, оскільки поєднує локальну обробку даних і мережеве підключення без потреби в окремому комунікаційному модулі. Це особливо важливо для розподілених сенсорних мереж, розумних реле, домашньої автоматизації, систем контролю доступу, а також вимірювальних пристроїв, що передають дані на сервер або в мобільний застосунок. Завдяки Bluetooth він також добре підходить для безпосередньої взаємодії зі смартфонами та портативними пристроями.

У більш складних реалізаціях ESP32 застосовують для обробки аудіо, керування дисплеями, роботи з камерою, потокової передачі даних і навіть у задачах з елементами штучного інтелекту на периферії, якщо вимоги до моделі

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

та обчислень є помірними. Особливий інтерес він становить у навчальних і лабораторних середовищах, де дозволяє поєднати програмування, електроніку та мережеві технології в одному проєкті.

2.2.3 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв

2.2.3.1 Витратомір YF-B10

Крильчастий витратомір з ефектом Холла (Рисунок 2.10). Всередині корпусу обертається крильчатка – магніт на ній кожний оберт генерує імпульс на виході датчика. Контролер рахує частоту імпульсів і перетворює її на об'ємну витрату [9].

Формула перетворення:

$$Q \text{ (л/хв)} = \frac{F}{6,5},$$

де F (Гц) – частота імпульсів на виході датчика

1 літр = 390 імпульсів

Діапазон вимірювання: 2 – 50 л/хв

Точність: $\pm 5\%$

Різьба: G 1"

Матеріал корпусу: латунь

Тиск до 1.75 МПа

Витратомір встановлюється на головній трубі після лічильника та перед розгалуженням розводки. Монтується по стрілці на корпусі (напрямок потоку).



Рисунок 2.10 – Датчик витрати рідини YF-B10

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.2.3.2 Датчик тиску WNK81MA

П'єзореzystивний датчик з цифровим інтерфейсом I²C [10] (Рисунок 2.11). Вимірює абсолютний тиск у діапазоні 0 – 10 бар з роздільною здатністю 0.01 бар.

Характеристики:

- Діапазон: 0–10 бар (0–1 МПа)
- Інтерфейс: I2C (адреса 0x6C)
- Живлення: 3.3–5V
- Точність: ±1% повної шкали
- Вихідний сигнал: 24-bit ADC
- Різьба: G 1/4" зовнішня



Рисунок 2.11 – Датчик тиску рідини WNK81MA

2.2.3.3 Датчик температури DS18B20

Цифровий термометр з протоколом 1-Wire. Використовується для двох завдань: контроль температури труб у технічному приміщенні або підвалі (захист від замерзання) та моніторинг температури теплоносія в системі опалення.

DS18B20 слід використовувати у герметичному сталевому корпусі (зонд-версія) [11] (Рисунок 2.12). Підтягуючий резистор 4.7 кОм між DATA та VCC є обов'язковим. На одній шині 1-Wire можна підключити до 8 датчиків одночасно.

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Рисунок 2.12 – Датчик температури DS18B20 (зонд)

Характеристики:

- Температурний діапазон: $-55...+125^{\circ}\text{C}$
- Точність вимірювання: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (в межах $-10...+85^{\circ}\text{C}$)
- Час отримання даних: 750 мс за 12-бітної роздільної здатності, 94 мс за 9-бітної роздільної здатності
- Напруга живлення: 3 – 5,5 В
- Споживана потужність: 750 нА у режимі бездіяльності, 1 мА під час опитування
- Довжина кабелю: 1 метр

2.2.3.4 Сервопривідний кран DN25

Електричний кульовий кран із моторним приводом на 12 В постійного струму [12] (Рисунок 2.13). Встановлюється на головній трубі водопостачання одразу після лічильника. Кут повороту 90° (відкрито/закрито). Час спрацювання – 5 – 8 секунд.

- Управління через реле: 12 В подається для відкриття або закриття
- Кінцеві вимикачі: два мікроперемикачі повідомляють ESP32 про поточне положення
- Аварійне ручне керування: руківка для відкриття вручну без живлення
- Матеріал: нержавіюча сталь, латунний корпус клапана

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.13 – Кран кульовий з електроприводом 12 В DN25

2.2.3.5 Релейний модуль

Одноканальний модуль реле з можливістю перемикання високого чи низького рівня керування [13] (Рисунок 2.14). Максимальне силове навантаження при постійному струмі DC 30В/10А, при змінному струмі AC 250В/10А. Релейний модуль використовується для керування сервопривідним краном.



Рисунок 2.14 – Релейний модуль

2.2.3.6 Бездротовий датчик протікання води

Пристрій TuYa WiFi є датчиком протікання води, що працює на батарейці CR123A [14] (Рисунок 2.15). При контакті пристрою з водою сигнал тривоги надсилається на мобільний телефон у додаток Smart TuYa і за допомогою інтеграції TuYa до Home Assistant. За цим сигналом можна як легко отримати повідомлення, так і налаштувати сценарій – наприклад перекрити воду (подати сигнал на розумний вентиль).

Розумний датчик витoku води налаштовується через мобільний додаток. Перегляд стану датчика через програму, дозволяє легко підключатися до датчика з будь-якої точки світу через інтернет, контролювати безпосередньо через Wi-Fi та відстежувати сигнали тривоги в режимі реального часу через програму Smart Tuuya та Home Assistant.

Характеристики:

- Протокол: IEEE 802.11b/g/n
- Діапазон бездротового зв'язку: 50 метрів
- Тип бездротового зв'язку: 2,4 ГГц



Рисунок 2.15 – Бездротовий датчик протікання води Tuuya WiFi

2.2.4 Оцінка вартості обладнання

Загальний перелік компонентів та їх орієнтовна вартість перераховано у Таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Компоненти системи контролю протікання води

Компонент	Модель	Призначення	Інтерфейс	Орієнтовна ціна, грн
Датчик протікання	Tuuya WiFi	Виявлення води на підлозі або поверхні	Wi-Fi	400
Витратомір	YF-B10	Вимірювання обсягу води у трубі	Імпульсний GPIO	1400
Датчик тиску	WNK81MA	Вимірювання тиску в трубопроводі	I ² C	1250
Датчик температури	DS18B20	Контроль температури труб	1-Wire GPIO	50

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Компонент	Модель	Призначення	Інтерфейс	Орієнтовна ціна, грн
Модуль реле	—	Керування краном	GPIO	80
Мікроконтролер	ESP32 DevKit v1	Збір даних, керування кранами	Wi-Fi / BT	200
Сервоприводний кран	DN25 12V	Автоматичне перекривання води	GPIO + реле	1500
Сервер	Raspberry Pi 4 2GB	Home Assistant OS, автоматизація	Ethernet / Wi-Fi	3700
Блок живлення	12V 3A + 5V 3A	Живлення всіх пристроїв	—	400

Орієнтовна вартість повної системи: 11000 – 14000 грн залежно від кількості датчиків протікання (рекомендується 6–8 штук для стандартного котеджу).

2.3 Програмна частина системи

2.3.1 ESPHome — прошивка ESP32

ESPHome – це фреймворк для створення прошивок мікроконтролерів ESP32/ESP8266 шляхом написання YAML-конфігурації без програмування на C++. Інтегрується безпосередньо в Home Assistant, підтримує OTA-оновлення (по повітрю) та шифрований API. В конфігурації передбачено датчики протікання в кухні, у ванній кімнаті та у бойлерній. За потреби аналогічно можна додати ще необхідну кількість датчиків протікання.

Конфігурація ESPHome для повної системи:

esphome:

name: water-leak-controller

friendly_name: Контролер протікання

esp32:

board: esp32dev

framework:

type: arduino

wifi:

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ssid: !secret wifi_ssid

password: !secret wifi_password

ap: # Резервна точка доступу якщо Wi-Fi недоступний

ssid: 'Water-Leak-Fallback'

api:

encryption:

key: !secret api_key

ota:

password: !secret ota_password

---- ДАТЧИКИ ПРОТІКАННЯ ----

binary_sensor:

- platform: gpio

pin:

number: GPIO4

mode: INPUT_PULLUP

name: 'Протікання кухня'

device_class: moisture

filters:

- delayed_on: 500ms # захист від хибних спрацювань

- platform: gpio

pin: GPIO5

name: 'Протікання ванна'

device_class: moisture

- platform: gpio

pin: GPIO6

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

name: 'Протікання бойлер'

device_class: moisture

---- ВИТРАТОМІР ----

sensor:

- platform: pulse_counter

pin: GPIO18

name: 'Витрата води'

unit_of_measurement: 'L/min'

update_interval: 10s

filters:

- multiply: 0.00222 # 450 імп/хв = 1 л/хв

- sliding_window_moving_average:

window_size: 3

- platform: total_daily_energy # Лічильник об'єму за добу

name: 'Добова витрата води'

power_id: flow_sensor

---- ДАТЧИК ТИСКУ (через I²C) ----

- platform: custom

lambda: |-

auto s = new XGZP6847ASensor();

App.register_component(s);

return {s};

sensors:

- name: 'Тиск у трубопроводі'

unit_of_measurement: 'bar'

accuracy_decimals: 2

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

---- ТЕМПЕРАТУРА ТРУБ (DS18B20) ----

- platform: dallas
address: 0x1234567890ABCDEF
name: 'Температура труб'
unit_of_measurement: '°C'

one_wire:

- platform: gpio
pin: GPIO15

---- КЕРУВАННЯ КРАНОМ ----

switch:

- platform: gpio
pin: GPIO26
name: 'Головний кран'
icon: mdi:pipe-valve

- platform: gpio
pin: GPIO27
name: 'Сирена'
icon: mdi:alarm-bell

2.3.2 Автоматизації у Home Assistant

Home Assistant – це open-source платформа домашньої автоматизації. Виконується на Raspberry Pi 4 під керуванням Home Assistant OS. Отримує дані від ESP32 через Native API або MQTT та виконує сценарії автоматизації.

2.3.2.1 Автоматизація 1: Реакція на датчик протікання

alias: 'Аварія - протікання виявлено'

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

trigger:

- platform: state

entity_id:

- binary_sensor.protikanya_kukhnya

- binary_sensor.protikanya_vanna

- binary_sensor.protikanya_boiler

to: 'on'

action:

- service: switch.turn_off

target:

entity_id: switch.holovnyy_kran

- service: switch.turn_on

target:

entity_id: switch.syrena

- service: notify.telegram

data:

message: >

АВАРІЯ! Виявлено протікання: {{ trigger.to_state.name }}

Час: {{ now().strftime('%H:%M %d.%m.%Y') }}

Кран перекрито автоматично.

2.3.2.2 Автоматизація 2: Нічний тест — прихований витік у трубах

alias: 'Нічний тест витоку у вмурованих трубах'

trigger:

- platform: time

at: '02:00:00'

condition:

- condition: numeric_state

entity_id: sensor.vytrata_vody

above: 0.3 # більше 0.3 л/хв о 2 ночі = аномалія

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

action:

- service: notify.telegram

data:

message: >

УВАГА! Можливий витік у вмурованих трубах.

Витрата о 02:00: {{ states('sensor.vytrata_vody') }} л/хв

Перевірте трубопровід.

2.3.2.3 Автоматизація 3: Падіння тиску — витік або розрив труби

alias: 'Падіння тиску - можливий розрив труби'

trigger:

- platform: numeric_state

entity_id: sensor.tysk_u_truboprovodi

below: 1.5 # норма 2.5-4 бар, якщо нижче 1.5 - аномалія

for:

minutes: 2

action:

- service: switch.turn_off

target:

entity_id: switch.holovnyy_kran

- service: notify.notify

data:

title: 'Аварія трубопроводу'

message: 'Тиск впав до {{ states(sensor.tysk_u_truboprovodi) }} бар. Кран перекрито.'

2.3.2.4 Автоматизація 4: Захист від замерзання

alias: 'Захист труб від замерзання'

trigger:

- platform: numeric_state

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

entity_id: sensor.temperatura_trub

below: 3

action:

- service: notify.telegram

data:

message: >

УВАГА! Температура труб впала до

{{ states('sensor.temperatura_trub') }}°C.

Ризик замерзання! Перевірте опалення.

2.3.3 Алгоритми виявлення витоків

2.3.3.1 Відкриті витоки — датчики витоку

Найпростіший та найнадійніший метод. Датчик стежить за наявністю провідного середовища (води) між двома електродами. Спрацювання миттєве – затримка 500 мс захищає від хибних тривог через конденсат або прибирання.

Переваги – миттєве виявлення, спрацювання не залежить від тиску та витрати води.

2.3.3.2 Прихований витік — нічний тест витрати

Метод базується на тому, що вночі (02:00–05:00) зазвичай споживачів немає і витрата повинна бути нульовою. Витратомір підраховує імпульси крильчатки — якщо фіксується стабільна ненульова витрата понад 0.3 л/хв протягом 5 хвилин, система діагностує прихований витік. До речі, це ще й додаткова діагностична ознака стану сантехнічного обладнання – протікання кранів, і т.д.

Чутливість методу:

- Витік 0.5 л/хв → втрата 720 літрів за добу → виявляється протягом 1 хвилини
- Витік 0.1 л/хв → повільна капель у стіні → може не виявлятися (нижня межа датчика)

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Рекомендується щоденний автоматичний тест з фіксацією в журналі

2.3.3.3 Прихований витік — моніторинг тиску

Метод «закритої труби»: після перекриття головного крана кухонного або ванного вузла тиск у ділянці трубопроводу повинен залишатись стабільним. Падіння тиску понад 0.2 бар протягом 5 хвилин при відсутності споживачів вказує на витік.

Типові показники нормального трубопроводу:

- Робочий тиск міської мережі: 2.5–4.0 бар [15]
- Допустиме падіння за добу при відсутності споживання: < 0.05 бар
- Аварійний поріг (негайне перекриття): < 1.5 бар
- Поріг попередження: падіння > 0.3 бар за 5 хв при закритих кранах

2.3.3.4 Комбінований алгоритм

Максимальна ефективність досягається при одночасному використанні всіх трьох методів (Таблиця 2.2). Home Assistant аналізує дані паралельно та визначає тип аварії:

Таблиця 2.2 – Сценарії комбінованого алгоритму

Сценарій	Датчик протікання	Витратомір	Датчик тиску
Розрив під мийкою	Спрацьовує	Річке зростання	Річке падіння
Витік у стіні (повільний)	Не реагує	Ненульова вночі	Повільне падіння
Злам головної труби	Можливо	Максимальне значення	Критичне падіння
Замерзання та розрив	Не реагує	Нульова потім різка	Спочатку зростає

2.4 Монтаж та підключення

2.4.1 Схема підключення ESP32

Таблиця підключення датчиків і реле до ESP32 наведено у Таблиця 2.3.

Таблиця 2.3 – Підключення датчиків

GPIO	Модель	Пристрій	Коментар
GPIO4	Tuya WiFi 1	Датчик протікання	Кухня, INPUT_PULLUP
GPIO5	Tuya WiFi 2	Датчик протікання	Ванна кімната
GPIO6	Tuya WiFi 3	Датчик протікання	Санвузол 1

GPIO7	Tuya WiFi 4	Датчик протікання	Бойлер
GPIO8	Tuya WiFi 5	Датчик протікання	Пральна машина
GPIO18	YF-B10	Витратомір	Pulse counter, 3.3V
GPIO21	WNK81MA SDA	Датчик тиску	I ² C шина
GPIO22	WNK81MA SCL	Датчик тиску	I ² C шина
GPIO15	DS18B20	Термометр	1-Wire, резистор 4.7кОм
GPIO26	Реле 1	Кран DN25	Відкрити/Закрити
GPIO27	Реле 2	Сирена 12V	Звукова тривога

2.4.2 Розміщення датчиків протікання

Правила встановлення Tuya WiFi [14]:

- Розташовувати горизонтально на підлозі або на нижній частині шафки
- Відстань від стіни: 5–10 см, від труби: безпосередньо під місцем з'єднання
- Кожен датчик маркувати: підписати на корпусі або кабелі

2.4.3 Встановлення датчиків на трубопроводі

Порядок встановлення на головній трубі (від входу): лічильник холодної води (існуючий) → YF-B10 (витратомір, врізка в основну трубу, потребує прямої ділянки труби не менше 10 діаметрів до та 5 діаметрів після датчика [9]) → WNK81MA (датчик тиску, встановлюється на фільтр тонкої очистки води) → Кран DN25 з сервоприводом (відсічний клапан) → Розгалуження на споживачів (існуюча розводка).

2.5 Налаштування Home Assistant

2.5.1 Встановлення на Raspberry Pi 4

- Завантажити образ Home Assistant OS з офіційного сайту (<https://www.raspberrypi.com/software/>)
- Записати на microSD карту 32GB+ за допомогою програми Raspberry Pi Imager
- Підключити Raspberry Pi до роутера кабелем Ethernet
- Після завантаження відкрити <http://homeassistant.local:8123>

- Пройти початкове налаштування: обліковий запис, місцезнаходження, часовий пояс
- Встановити розширення ESPHome через Supervisor → Add-on Store

2.5.2 Дашборд моніторингу

Рекомендована структура Lovelace-дашборду:

- Верхня секція: статус всіх датчиків протікання (зелений = сухо, червоний = вода)
- Графіки: тиск та витрата за останні 24 години
- Лічильники: добова витрата, місячна витрата
- Кнопки: відкрити/закрити кран вручну, вимкнути сирену
- Журнал подій: останні 20 тривог з часовими мітками

2.5.3 Telegram-сповіщення

Для налаштування Telegram-бота:

- Створити бота через @BotFather у Telegram → отримати API token
- Дізнатись свій chat_id через @userinfobot
- Додати в configuration.yaml:

telegram_bot:

- platform: polling
- api_key: 'ВАШ_API_TOKEN'
- allowed_chat_ids:
 - 123456789 # ваш chat_id

notify:

- platform: telegram
- name: telegram
- chat_id: 123456789

2.6 Висновки до розділу 2

Запропонована система забезпечує комплексний захист котеджу від пошкоджень, пов'язаних із витоком води. Поєднання трьох незалежних методів виявлення (датчики вологості, витратомір, датчик тиску) дозволяє виявляти як очевидні аварії (розрив труби, несправність сантехніки), так і приховані тривалі витoki у вмурованих комунікаціях.

Ключові переваги системи:

- Повна інтеграція з Home Assistant – єдина точка керування всім «розумним будинком».
- Локальна обробка даних – не залежить від хмарних сервісів, працює у локальній мережі.
- Open-source стек – ESPHome + Home Assistant мають активну спільноту та регулярні оновлення.
- Масштабованість – легко додати нові датчики або кімнати без зміни архітектури.
- Прийнятна вартість – повна система 11000 – 14000 грн, що окупається запобіганням однієї серйозної аварії.

Потенційне розширення системи:

У майбутньому систему можна розширити: додати датчики якості води (TDS, pH), інтегрувати облік витрати по зонах (окремий витратомір на ГВП та ХВС), підключити зовнішній дисплей для відображення статусу, реалізувати щоденні звіти витрати електронною поштою.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання – розроблено автоматизовану систему контролю протікання води, інтегровану в екосистему «розумного будинку», яка забезпечує комплексний моніторинг, своєчасне виявлення аварій та автоматичне перекриття водопостачання. За результатами виконання теоретичних і практичних етапів дослідження зроблено такі висновки:

1. Аналіз та вибір оптимальної стратегії виявлення витоків

На основі проведеного комплексного аналізу наявних комерційних рішень та методів виявлення витоків води встановлено, що жоден із традиційних методів поодиноці не є універсальним і не здатен перекрити всі сценарії виникнення аварій. Доведено, що оптимальною стратегією для побудови сучасної системи захисту є гібридний підхід. Цей підхід базується на комбінації суцільного моніторингу гідродинамічних параметрів (витрати та тиску) на вводі в будівлю для виявлення прихованих витоків, та використанні мережі локальних бездротових датчиків вологості у вузлових точках для миттєвої реакції на відкриті витоки.

2. Розробка архітектури апаратної частини системи

Спроектовано структурну та функціональну схеми системи за чотирьохрівневою архітектурою: рівень датчиків, рівень контролера, рівень сервера та рівень реакції і моніторингу. Обґрунтовано вибір компонентної бази:

У якості центрального сервера застосовано мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для локальної обробки даних без залежності від хмарних сервісів.

Рівень контролера реалізовано на базі мікроконтролера ESP32, який гарантує автономне опитування датчиків та керування виконавчими пристроями.

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВИСНОВКИі</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Лазаренко А.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Бурнасов П.В.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-22</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						55	3

Сенсорна база включає витратомір YF-B10, цифровий датчик тиску WNK81MA, температурний датчик DS18B20 та бездротові датчики протікання TuYa WiFi. Критично важливим елементом активної безпеки визначено сервопривідний кульовий кран DN25 (12B), що перетворює систему з інформаційної на активну, здатну автоматично відсікати аварійні ділянки без участі людини.

3. Розробка програмного забезпечення та алгоритмів реагування

Програмна частина системи реалізована з використанням фреймворку ESPHome для мікроконтролера та платформи Home Assistant для сервера, що забезпечує масштабованість та надійність (Open-source стек). Розроблено та імплементовано комбінований алгоритм, що включає чотири основні сценарії автоматизації:

- Миттєве перекриття води та включення сирени при спрацюванні датчиків вологості.
- «Нічний тест» для виявлення прихованих витоків у вмурованих трубах, що фіксує аномальну витрату (понад 0,3 л/хв) у періоди відсутності споживання води.
- Моніторинг падіння тиску (нижче 1,5 бар) для ідентифікації розривів труб.
- Моніторинг температури труб для превентивного запобігання замерзанню та руйнуванню магістралі.

Одночасне використання цих методів дозволяє системі з високою точністю диференціювати типи аварій (від повільного капання у стіні до розриву головної труби).

4. Практична значущість та економічна доцільність

Розроблена система повністю вирішує проблему своєчасного інформування власника через Push-сповіщення у додатку та повідомлення у Telegram-боті. Дашборд моніторингу надає зручний доступ до графіків тиску, добової витрати води та журналу подій. Орієнтовна вартість комплексу обладнання становить від 11 000 до 14 000 грн. Враховуючи колосальні масштаби потенційних матеріальних збитків у разі затоплення фундаментів,

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

підвалів чи сусідніх квартир (при використанні у багатоквартирному будинку), впровадження такої системи є економічно обґрунтованим.

5. Перспективи подальшого розвитку

Запропонована архітектура має високий потенціал до масштабування. У майбутньому система може бути легко розширена шляхом інтеграції датчиків якості води (TDS, pH), впровадження роздільного обліку витрат для холодного та гарячого водопостачання (по зонах), а також налаштування регулярної генерації та відправки звітів про споживання води на електронну пошту.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що мета дипломної роботи досягнута, а розроблений апаратно-програмний комплекс є готовим до практичного впровадження у приватних котеджах та багатоквартирних будинках як надійна підсистема безпеки сучасного «розумного будинку».

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан житлово-комунального господарства: статистичний огляд. Мінрегіон України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/> (дата звернення: 16.03.2026).
2. Завгородній А. В., Панченко В. О. Застосування технологій IoT для моніторингу інженерних систем «розумних» будівель. Сучасні проблеми автоматизації та управління : Матеріали VII Міжнар. науково-техн. конф., м. Харків. Харків, 2023. С. 112–115.
3. Ахієзер О. Б., Ткачук Р. Л. Інтелектуальні системи моніторингу водопровідних мереж на основі IoT-технологій. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2022. Т. 97, № 1. С. 45–57.
4. Єреклінцева М. П., Бовчалюк Н. І. Автоматизована система запобігання аварійному витoku води. ITSBTU25 Інформаційні технології в сучасному світі : матеріали Міжнар. науково- практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих уч., м. Харків, 29 квіт. 2025 р. Харків, 2025. С. 91–93. URL: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/> (дата звернення: 16.03.2026).
5. Mounce S. R., Boxall J. B. Implementation and validation of an online artificial intelligence system for detection of bursts and other anomalies in a water distribution system. *Journal of water resources planning and management*. 2010. Vol. 136, no. 4. P. 426–436.
6. Romano M., Kapelan Z., Savić D. A. Automated detection of pipe bursts and other events in water distribution systems. *Journal of water resources planning and management*. 2014. Vol. 140, no. 4. P. 457–467.
7. Raspberry pi 4 model B 4GB. *Mini-Tech*. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/raspberry-pi-4> (дата звернення: 14.04.2026).
8. Початок роботи з ESP32. *wiring.blog*. URL: <https://wiring.blog/esp32/pochatok-roboty-z-esp32> (дата звернення:

					<i>КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</i>		
Розроб.		Лазаренко А.О.					
Перевір.		Бурнасов П.В.					
Н. Контр.		Маринич І.А.					
Затвердив		Маринич І.А.			<i>КНУ АКІТ-22</i>		
						Літ.	Арк.
							Аркушів
							58
							3

15.04.2026).

9. Датчик витрати рідини YF-B10, 1". *Rozetka.*

URL: https://rozetka.com.ua/ua/komplektuyushchie-k-nasosam-153745873/p553667073/?gad_source=1&gad_campaignid=22404793882&gclid=Cj0KCQjwLDQBhDjARIsAPIIefEiH0mhfAViQSBtC8YeVY0oBYJYh3wP2kVBZMySCCbzBM_6PiQj77YaApR-EALw_wcB (дата звернення: 16.04.2026).

10. 4~20mA I2c 10bar 150bar Датчик тиску води. *Made-in-China.*

URL: https://ru.made-in-china.com/co_wnksensor/product_4-20mA-I2c-10bar-150bar-Air-Water-Oil-Pressure-Sensor-Pressure-Transmitter_oseunorrg.html (дата звернення: 16.04.2026).

11. Датчик температури DS18B20, вологозахисний. *RadioVOLT.*

URL: https://radiovolt.in.ua/ua/p1168909701-datchik-temperature-ds18b20.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=18454827497&gclid=Cj0KCQjwLDQBhDjARIsAPIIefEjBhZc93UpFLtcpphokQstNwgtEQ2M4ZI2mIEd5_GzlfAx_1eVJUaAtD2EALw_wcB (дата звернення: 17.04.2026).

12. Neptun bugatti pro 12V 1 кран з електроприводом. *Akvo.com.ua.*

URL: <https://akvo.com.ua/ua/1359-neptun-bugatti-pro-12v-1-kran-s-elektroprivodom> (дата звернення: 20.04.2026).

13. Релейний модуль 1-канальний. *DIY electronics.*

URL: https://detalipro.in.ua/releinyi-modul-1-kanalny-12v-z-dzhamperom-vysokyi-nyzkyi-riven-keruvannia-diymore?gclid=Cj0KCQjwLDQBhDjARIsAPIIefGHgrErCiXEBHwYNe254g8DnYw42cKqRT5EZj_h8nnIjaTXZ8c3cl8aArhNEALw_wcB (дата звернення: 20.04.2026).

14. Бездротовий датчик протікання затоплення і рівня води TUYA

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

WiFi. Rozetka.

URL: https://rozetka.com.ua/ua/432915674/p432915674/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwLLDQBhDjARIsAPIIefFLGQXgztFIL-qt7l_GnOjPkQUyMtSe-NNXkQLZ-mFa9jMxmUXPOP4aAl PEALw wcB (дата звернення: 20.04.2026).

15. ДБН В.2.2-15:2019 житлові будинки. *Державні Будівельні Норми України*.

URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_2_15_2015_zhitlovi_budivnki_osnovni_polozhennja/1-1-0-1184 (дата звернення: 01.05.2026).

16. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

17. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

18. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

19. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

20. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація)

					КНУ КРБ.151.26.08.00.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		