

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-15>

УДК 004.67,331.45

ЗАЩЕПКИНА Наталія

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9397-6632>

e-mail: nanic1604@gmail.com

ПИРОГОВ Андрій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0009-0003-1454-5503>

e-mail: kolyмага3@gmail.com

РОЗРОБКА ПРОТОТИПА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ СТИЧНИХ ВОД

Моніторинг води – це система постійного спостереження, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан водних ресурсів, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам якості води та дотримання вимог екологічної безпеки.

Крім того, моніторинг є ключовим елементом оцінки екологічного стану водних екосистем. Він виявляє зміни в якості води, вплив людської діяльності та зміни клімату на екосистеми. Це важливо для збереження біологічного різноманіття, забезпечення стійкості екосистеми та планування ефективних заходів з охорони та відновлення водних ресурсів. У статті наведено особливості застосування мікропроцесорів для технології дистанційного моніторингу стану якості води у реальному часі. Проаналізовано програмне забезпечення для розробки ефективного алгоритму екологічного моніторингу, а також визначено принципи його функціонування. Деталізовано процес впровадження розробленої системи в загальну інфраструктуру керування мережею метеорологічної обстановки.

Розроблено систему оперативного реагування на ситуацію щодо рівня води, її якості, витрат та температурний режим. Це дозволяє відстежувати динаміку та виявляти потенційні проблеми, а формат агрегованих даних придатний для подальшого аналізу. Запропоновані засоби можуть бути використані в системах технічного обслуговування розумними містами.

Ключові слова: інформаційні системи, мікроконтролер, IoT, система екологічного моніторингу, автоматизоване керування, програмне забезпечення.

ZASHCHEPKINA Nataliia, PYROHOV Andriy

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE SYSTEM OF AUTOMATED ENVIRONMENTAL MONITORING OF WASTEWATER CONDITIONS

Water monitoring is a system of constant observation, collection, processing, transmission, preservation and analysis of information about the state of water resources, forecasting its changes and developing scientifically based recommendations for making decisions on preventing negative changes in water quality and complying with environmental safety requirements.

In addition, monitoring is a key element in assessing the ecological status of aquatic ecosystems. It detects changes in water quality, the impact of human activities and climate change on ecosystems. This is important for the preservation of biological diversity, ensuring the stability of the ecosystem and planning effective measures for the protection and restoration of water resources.

The article examines the peculiarities of the application of microprocessors for the technology of remote monitoring of the state of water quality in real time. The software for the development of an effective ecological monitoring algorithm was analyzed, and the principles of its operation were also determined. The process of introducing the developed system into the general infrastructure of managing the meteorological situation network is detailed.

A system of operational response to the situation regarding the water level, its quality, costs and temperature regime has been developed. This allows you to monitor dynamics and identify potential problems, and the format of aggregated data is suitable for further analysis. The proposed tools can be used in maintenance systems by smart cities.

Keywords: information systems, microcontroller, IoT, environmental monitoring system, automated control, software.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день гостро стоїть потреба у всебічній і точній оцінці тенденцій збереження даних щодо показників екологічного стану різних об'єктів. Цю проблему вирішують автоматизовані системи екологічного моніторингу (СЕМ).

Моніторинг води – це система постійного спостереження, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан водних ресурсів, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам якості води та дотримання вимог екологічної безпеки [1,2].

Крім того, моніторинг є ключовим елементом оцінки екологічного стану водних екосистем. Він виявляє зміни в якості води, вплив людської діяльності та зміни клімату на екосистеми. Це важливо для

збереження біологічного різноманіття, забезпечення стійкості екосистеми та планування ефективних заходів з охорони та відновлення водних ресурсів.

Наразі найпоширенішим методом визначення параметрів якості води є відбір зразків, а потім відправлення їх до лабораторії для проведення аналізу на кількість та склад домішок. Цей метод витрачає занадто багато людських і матеріальних ресурсів, а також має недоліки, пов'язані зі збором зразків, тривалий час, потрібний для аналізу, старіння засобів вимірювання та інші проблеми.

Основні елементи моніторингу якості води включають: збір проб води, вимірювання різних параметрів, таких як рН, розчинені речовини, токсичні речовини, бактерії тощо, і подальший аналіз отриманих даних. Цей процес також може включати в себе лабораторні та польові вимірювання, використання спеціальних пристроїв та апаратури, а також застосування інших методів аналізу [1,2].

Важливе місце в інформаційно-вимірювальних процесах стану водних ресурсів належить автоматизованим системам моніторингу, які дозволяють за допомогою програмних засобів здійснювати контроль за параметрами стану води за допомогою вимірювальних приладів. Для контролю стану води було використано мікроконтролери, які входять до складу сучасної побутової та виробничо-промислової електронної техніки. Звичайний мікроконтролер представляє собою мікросхему для керування електронними пристроями будь-якої архітектури та складності виконання [3].

Формулювання цілей статті

Мета дослідження полягала в аналізі особливостей розробки та реалізації системи автоматизованого екологічного моніторингу на базі Raspberry Pi.

Виклад основного матеріалу

Поверхневі води можуть бути забруднені різноманітними речовинами та забруднюючими впливами. Основними джерелами забруднення поверхневих вод є [4]:

- промислові стоки (що виливаються з промислових підприємств, містять хімічні речовини, відходи виробництва, токсичні речовини та важкі метали);
- сільськогосподарське забруднення (забруднення від сільськогосподарської діяльності включає використання пестицидів, мінеральних добрив, фекальні добрива та інших хімікатів, які можуть потрапляти у водні ресурси через зливи, вивітрення ґрунту або неправильне скидання стічних вод);
- комунальні стічні води (скидання стічних вод з міських та сільських населених пунктів містять бактерії, віруси, фекальні забруднення, хімічні речовини та інші забруднюючі речовини);
- незаконне скидання (незаконні скиди, які включають неправильне скидання отруйних речовин, відходів виробництва та інших забруднюючих матеріалів без належних методів очищення).

Склад забруднення поверхневих вод може варіюватися в залежності від джерела забруднення і типу речовини. Основні види забруднення поверхневих вод включають:

- біологічне забруднення (поверхневі води можуть бути забруднені бактеріями, вірусами та іншими мікроорганізмами, які можуть бути присутні в стічних водах або стіках з тваринництва);
- хімічне забруднення (це включає різноманітні хімічні речовини, такі як токсичні речовини, важкі метали, пестициди, фармацевтичні препарати та інші хімікати, які мають шкідливий вплив на водні екосистеми та здоров'я людей);
- сполуки азоту і фосфору (використання мінеральних добрив у сільському господарстві або відходів від тваринництва може призвести до витікання азоту і фосфору у поверхневі води, що може призвести до евтрофікації, коли водойми перенасичуються поживними речовинами та сприяє надмірному росту водоростей та інших рослин, що може негативно вплинути на екосистему);
- нафта та нафтопродукти (виливи нафти або нафтопродуктів в поверхневі води, які можуть статися під час аварій на нафтопроводах або внаслідок незаконної діяльності, мають серйозний негативний вплив на водні ресурси та життєдіяльність морських організмів);
- стикання твердих відходів (незаконне скидання твердих відходів, таких як сміття, будівельні матеріали та інші небіорозпадані матеріали, може призвести до забруднення поверхневих вод та пошкодження екосистеми).

Ці види забруднення спричиняють серйозні проблеми, такі як: вимирання водних організмів, зміни в екосистемі та мають негативний вплив на здоров'я людей. Контроль і запобігання забрудненню поверхневих вод є важливим завданням для збереження екологічної рівноваги та забезпечення сталого використання водних ресурсів. Для цього використовуються різні заходи, включаючи регулювання стоків забруднених речовин, налагодження систем очищення стічних вод, кампанії з підвищення інформованості населення, свідоме споживання водних ресурсів. Крім того, важливо здійснювати систематичний гідроекологічний моніторинг для оцінки якості води, виявлення змін та розробки ефективних стратегій управління водними ресурсами.

Водні ресурси України з її численними річками та водоймами є критично важливими для сільського господарства, промисловості та повсякденного життя, що робить необхідним моніторинг якості води для

забезпечення її безпеки та доступності. Це особливо важливо з огляду на історію промислового забруднення та засмічення в Україні, що призвело до проблем зі здоров'ям та навколишнім середовищем, що були викликані у минулому, так й ті, що трапляються вже сьогодні в умовах повномасштабного вторгнення на територію України (рис. 1).

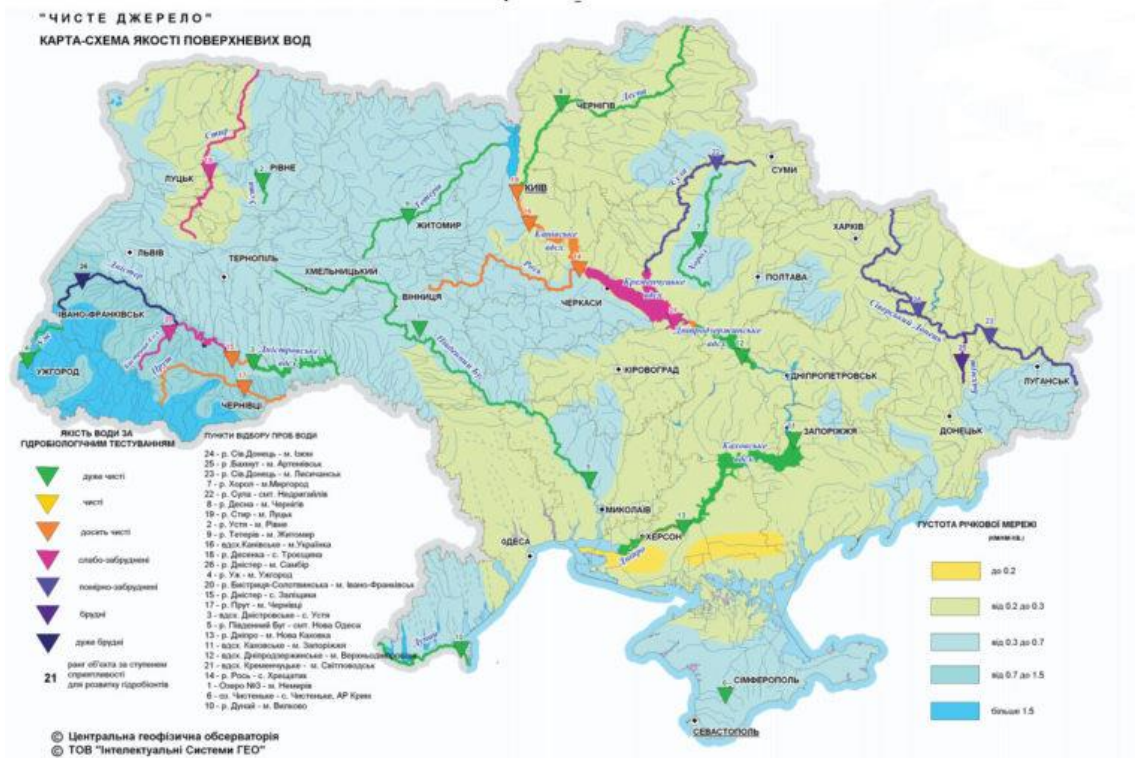


Рис. 1. Мапа якості поверхневих вод України

Отже, забруднення водних ресурсів нітратами та іншими сполуками є поширеною проблемою, особливо в районах сільськогосподарської діяльності, і може мати серйозні екологічні та медичні наслідки.

Обґрунтування вибору програмно-апаратних засобів. Для контролю стану води було обрано програмно-апаратний засіб на основі роботи мікроконтролерів.

Контролер являє собою мініатюрний комп'ютер з набором входів та виходів, який працює за раніше написаною програмою. Мікросхема-контролер обов'язково присутня в комп'ютерній миші, смартфоні, плеєрі та майже у всіх інших сучасних електронних пристроях. Контролер є досить універсальною річчю. До його входів можна підключити як звичайні кнопки так і датчики різних конфігурацій та модулі бездротового зв'язку. Завдання контролера полягає у вимірюванні електричної напруги на його входах і подачі електричної напруги, відповідно заданої програмі, на вихід [5].

Raspberry Pi представляє із себе одноплатний комп'ютер, тобто різні частини комп'ютера, які зазвичай розміщені на різних платах, тут розташовані на одній. Дана плата має відносно невеликий розмір - приблизно 8,5 x 10,5 (рис. 2).

Завдяки різноманітним інтерфейсам, таким як HDMI або AV для підключення монітора, порти USB для підключення миші та клавіатури, а також можливість підключення до мережі Інтернет через кабель або Wi-Fi, Raspberry Pi дозволяє використовувати багато периферійних пристроїв та розширювати його функціональність. Крім того, є спеціальний інтерфейс для підключення камери, що дає можливість знімати фотографії та відео.

Raspberry Pi випускається в двох версіях - А і В. Версія В на сьогоднішній день більш популярна. Порівняння версій і основні характеристики Raspberry Pi:

- Процесор ARM11, Broadcom BCM2835, 700 МГц;
- Оперативна пам'ять - 256 Мб у А, 512 у В
- USB входи/виходи - 1 у А, 2 у В;
- SD вхід;
- RCA вихід;
- HDMI вихід;
- Ethernet вхід/вихід - присутній тільки у В версії;

- Audio вихід;
- GPIO контакти.



Рис. 2. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 (B)

Будучи повноцінним комп'ютером, Raspberry Pi здатний працювати з операційною системою. Raspberry Pi Foundation, організація, відповідальна за проектування та розробку Raspberry Pi SBC, надає дистрибутив Linux на основі Debian під назвою Raspberry Pi OS (раніше відома як Raspbian OS).

Іншим важливим аспектом Raspberry Pi є те, що будучи комп'ютером на базі Linux, він підтримує кілька мов програмування для розробки програмного забезпечення, таких як C, C++, Python, Java, HTML.

Для постійного моніторингу стану водного середовища запропановані дво та трьохканальні датчики. При вимірюванні нітратів у воді за допомогою фотометрії в УФ-спектрі виявленні перевищення не тільки в малих річках (брудних притоках), але й в морських водах. Використовуючи сучасну елементну базу з автономним живленням за рахунок акумуляторів на 12 В (9АГ) з підзарядкою від сонячних батарей з розмірами до 0,25 м.кв можна забезпечити цілодобову роботу інформаційно-вимірювальної системи [6].

Загальна блок-схема запропонованої системи виглядає так, як показано на рисунку 3. Запропонована блок-схема складається з ряду пристроїв з відповідними датчиками, а зібрані дані з усіх пристроїв збираються та надсилаються на Raspberry Pi.

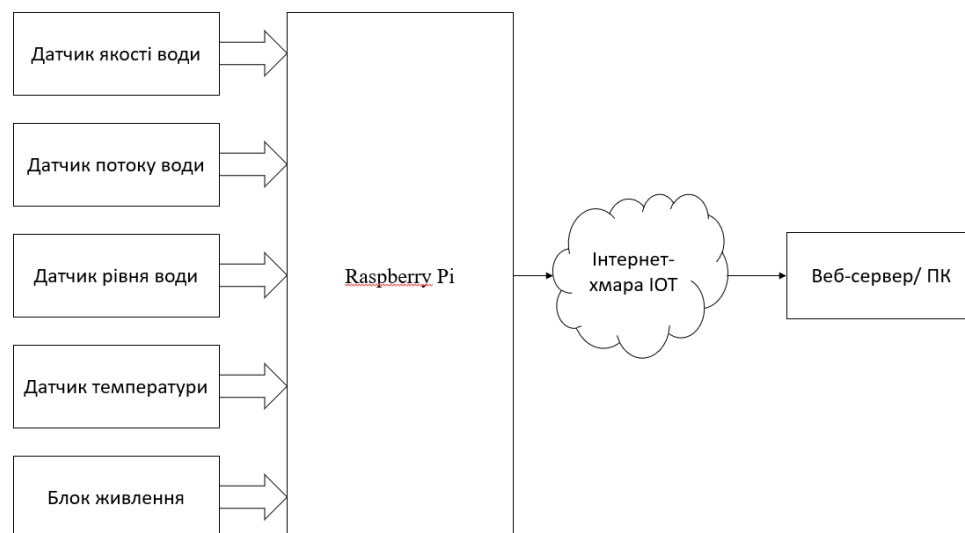


Рис. 3. Блок-схема системи автоматизованого екологічного моніторингу стану стічних вод

Пристрій складається з декількох датчиків для вимірювання параметрів температури, R_h , провідності, рівня води, потоку вод. Дані з датчиків надсилаються безпосередньо на Raspberry Pi. Таким чином запропонована система отримує дані з датчиків і обробляє їх, поміщає дані в текстовий файл, який передається в ІОТ. Для передачі даних на ІОТ, створюється шлюз на Raspberry pi використанням протоколу FTP (file transfer protocol). У запропонованій системі, для моніторингу оброблених даних в мережі Інтернет використовується технологія хмарних обчислень, яка забезпечує персональний локальний сервер. У хмарних обчисленнях виділяється окрема ІР-адреса, яка дає можливість моніторингу даних з будь-якої точки світу за допомогою Інтернету [7-9].

Автономна система електропостачання на основі сонячних панелей є важливою інновацією саме тому, що вона дозволяє розробляти і розгортати додатки IoT в місцях, де немає доступу до надійного електропостачання. Цю систему можна використовувати для живлення дистанційних датчиків і моніторингового обладнання в таких місцях, як ліси та інші природні місця спостережень (рис. 4).

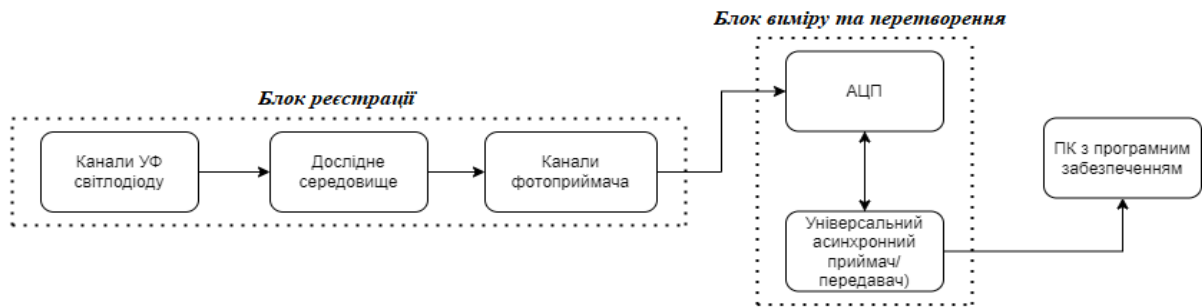


Рис. 4. Структурна схема датчика з автономним живленням

На рисунку 5 показано схема з'єднання та роботи датчиків рівня води, рН, витрати води та температури до Raspberry Pi 0W через піни GPIO [7].

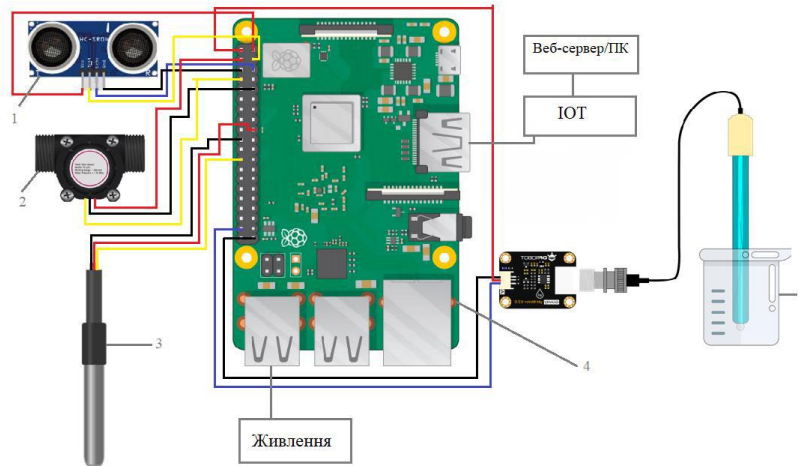


Рис. 5. Схема роботи датчиків з Raspberry Pi 0W:

1-Ультразвуковий датчик hc-sr 04, 2-Датчик DS18B20, 3-Датчик витрати води YF-S201, 4- Датчик температури Raspberry Pi 0W. 5- Датчик рН V2.

Алгоритм роботи системи автоматизованого екологічного моніторингу.

Після отримання даних з датчиків, Raspberry Pi виконує роль центрального контролера, який обробляє та аналізує ці дані. Використовуючи програмне забезпечення та програми, розроблені на Raspberry Pi, можна здійснювати різні операції з цими даними, наприклад, фільтрування, агрегування або обчислення показників (рис. 6).



Рис. 6. Функціональна схема системи автоматизованого екологічного моніторингу

Після обробки Raspberry Pi передає дані на хмарне сховище. Це може бути хмарна платформа або сервіс, який забезпечує зберігання та обробку даних в хмарному середовищі [8].

Передача даних на хмару дозволяє зберігати дані в безпечному та доступному місці, а також забезпечує можливість подальшої обробки та аналізу даних на різних пристроях або платформах.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Було розроблено архітектурно-функціональну концепцію системи автоматизованого екологічного моніторингу стану стічних вод з можливістю інтеграції в масштабовані мережі IoT та розробкою комплексу програмно-апаратних засобів для збирання та агрегації IoT даних.

Архітектурна концепція реалізована у вигляді комплексу програмно-апаратних засобів для збирання та агрегації IoT даних, на базі яких розроблено експериментальний прототип системи автоматизованого екологічного моніторингу стану водних ресурсів. Система створена з використанням різних датчиків, Raspberry Pi OW - в якості контролера, та хмари для зберігання даних з Raspberry Pi з надсиланням команди на Raspberry Pi для вимірювання якості та рівня води. Згенеровані дані можна переглянути за допомогою веб-інтерфейсу з будь-якої локації.

Розроблена система дозволяє оперативно реагувати на ситуацію про рівень води, її якість, витрати та температурний режим, що дозволяє відстежувати динаміку та виявляти потенційні проблеми, а формат агрегованих даних придатний для подальшого аналізу, в тому числі інтелектуального. Запропоновані засоби можуть бути використані в системах технічного обслуговування розумними містами.

Література

1. Защепкіна Н.М. Розробка прототипу інформаційно-вимірювальної системи для експрес-вимірювання нітратів в рідинах/Вимірювальна техніка в технологічних процесах//№3.-2023.-С.57-63.
2. Зорі А. А., Тарасюк В. П., Штепа О. А. Сучасні мікроконтролери. Теорія і практика використання стандартних модулів Arduino: навчальний посібник, Донецьк, 2017. - 264 с.
3. Ковальчук І.П., Курганевич Л.П. Гідро-екологічний моніторинг: навчальний посібник, Львів, 2009. - 254 с.
4. Степова О.В., Рома В.В. Моніторинг поверхневих вод: навчальний посібник, Полтава, 2017, 82 с.
5. Хосе М. Ангуло. Мікропроцесори: Архітектура, програмування та проектування систем. Тбілісі: Ганатлеба, 1989. – С. 45-54.
6. Щелкунов М. М. Мікропроцесорні засоби та системи / Щелкунов М. М., Діанов О. М. - Харків.: Радіо і зв'язок, 2009. – 360 с.
7. Lim C. Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations / Lim C., Kim K.-J., Maglio P.P. // Cities. – 2018. – Vol. 82. – PP. 86–99.
8. Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review /Verma A., Prakash S., Srivastava V., Kumar A., Muk S.C.// IEEE Sensors Journal. – Vol. 19 Issue: 20 – 2019. – p. 9036 – 9046.
9. Toth C. Using Road Pavement Mark-ings as Ground Control for Lidar Data /C. Toth, E. Paska , D. Brzezinska // The Inter-national Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. (Beijing, China, 3-11 Jul). – 2008–Vol. XXXVII, Part B1. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228545976>.

References

1. Zashchepkina N.M. Development of a prototype information and measurement system for express measurement of nitrates in liquids/Measuring equipment in technological processes//№3.-2023.-S.57-63.
2. Zori A. A., Tarasyuk V. P., Shtepa O. A. Modern microcontrollers. Theory and practice of using standard Arduino modules: training manual, Donetsk, 2017. - 264 p.
3. Kovalchuk I.P., Kurganovich L.P. Hydro-ecological monitoring training manual, Lviv, 2009. - 254 p.
4. Stepova O.V., Roma V.V. Surface water monitoring: study guide, Poltava, 2017, 82 p.
5. Jose M. Angulo. Microprocessors: Architecture, programming and system design. Tbilisi: Hanatleba, 1989. - C. 45-54.
6. Shchelkunov M. M. Microprocessor devices and systems / Shchelkunov M. M., Dianov O. M. - Kharkiv. Radio and Communication, 2009. – 360 p.
7. Lim C. Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations / Lim C., Kim K.-J., Maglio P.P. // Cities. – 2018. – Vol. 82. – PP. 86–99.
8. Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review /Verma A., Prakash S., Srivastava V., Kumar A., Muk S.C.// IEEE Sensors Journal. – Vol. 19 Issue: 20 – 2019. – p. 9036 – 9046.
9. Toth C. Using Road Pavement Mark-ings as Ground Control for Lidar Data /C. Toth, E. Paska , D. Brzezinska // The Inter-national Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. (Beijing, China, 3-11 Jul). – 2008–Vol. XXXVII, Part B1. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228545976>