

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-85-92](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-85-92)  
УДК 681.2

А.Г. Ткачук, к.т.н., доц.  
О.А. Громовий, к.т.н., доц.  
В.М. Янчук, к.т.н., доц.  
М.С. Гриневич, асистент  
А.Р. Кравчук, асистент

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Мобільна роботизована платформа для проведення геодезичних та екологічних досліджень**

*У статті розглянуто нову мобільну інтелектуальну роботизовану платформу, що дозволяє оперативно проводити дослідження з оцінки якості води у водоймах, а також виконувати аналіз рельєфу дна водойми з подальшим збереженням усіх даних. Встановлено, що використання інтелектуальної платформи для аналізу води суттєво пришвидшує проведення досліджень, дозволяє збільшити досліджувану площу водойми та спрощує процес встановлення відповідності даних певному місцю на водоймі. Описано розроблену конструкцію платформи, яка складається з корпусу, плати керування, датчиків, виконавчих механізмів, таких як сервомотори та безколекторний двигун, радіомодуля та GPS-модуля, регулятора обертів двигуна. Також описано розроблений пульт для керування цією платформою. Приведено функціональну схему інтелектуальної роботизованої платформи для оцінки якості води та аналізу рельєфу дна. Проведено експериментальні дослідження розробленої системи на водоймі, основною ідеєю яких було дослідження коректності роботи системи, оцінка ефективності проведених досліджень та покази датчиків якості води. Досліджено ультразвуковий датчик для вимірювання глибини, датчики кислотності води та температури. Проаналізовано результати проведених експериментів розробленої системи моніторингу, на основі яких побудовано карту дна ділянки водойми та зроблено певні висновки щодо якості води.*

**Ключові слова:** мобільна робототехніка; забруднення; картографія; екологія; геодезія.

**Актуальність теми.** Забруднення води – це негативні зміни фізичних, хімічних та бактеріологічних властивостей води, викликані введенням надлишку неорганічних речовин (твердих, рідких, газоподібних), органічних, радіоактивних або тепла, які обмежують або перешкоджають використанню водних ресурсів у питних та господарських цілях.

Природні водосховища, такі як океани, річки, озера, певною мірою здатні самоочишатися. Однак потрапляння в їх систему занадто великої кількості забруднюючих речовин може завдати величезної, незворотної шкоди. Все залежить від кількості забруднюючих речовин.

Забруднення води викликане в основному хімічними речовинами, бактеріями, а також іншими мікроорганізмами, які містяться в природних водах в надто великій кількості. Хімічні, органічні й неорганічні (мінеральні) речовини зустрічаються у воді у вигляді розчинів, колоїдних розчинів та зависів. Хімічний склад забруднюючих речовин визначається природними чинниками, наприклад, розкладанням речовин у ґрунті та гірських породах, розвитком й загибеллю водних організмів, а також антропогенними факторами.

Враховуючи сказане вище було прийнято рішення створити роботизовану платформу, яка дасть можливість дистанційно проводити аналіз якості води у водоймі, а саме вимірювати її кислотність, температуру, а також глибину водойми. У разі виявлення підвищення кислотності та за наявності забруднення води буде можливість взяти пробу води з певної ділянки водойми для проведення детального аналізу в наземній лабораторії. Також ця платформа дає можливість у реальному часі знімати покази з датчиків та слідкувати за виконавчими механізмами, і, при виявленні джерела забруднення, буде можливість позначити точне місце за допомогою скидання маяка – позначки.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Проблема забруднення водойм щораз постає дедалі більш гостро. Існують «мобільні» лабораторії, які дозволяють проводити дослідження у польових умовах, але це довготривалий процес, який потребує детальної підготовки та попереднього забору води.

Абсолютних аналогів представленої тут системи не виявлено

У [1–5] оглянуто автоматизовані надводні платформи, які є повністю автономними чи можуть бути керованими. Вони використовуються в досить екстремальних умовах для проведення досліджень в океані або для перевезення вантажу за певним встановленим маршрутом.

У [6] запропоновано автономну систему самопілотування, яка дозволяє дистанційно здійснювати управління судном та отримувати на користувацький інтерфейс інформацію з датчиків та мати повне уявлення про стан судна.

У [7] запропоновано метод спектральної обробки для аналізу відбивної здатності проб води і застосовано методи машинного навчання для оцінки параметрів якості води.

Розроблена інтелектуальна роботизована платформа для проведення геодезичних та екологічних досліджень буде легкою в керуванні, «мобільною» та швидкою порівняно з аналогічними системами, та дозволить досить швидко зробити набори проб води для глибшого й детальнішого аналізу в лабораторії.

**Метою статті** є дослідження особливостей конструкції інтелектуальної роботизованої платформи для проведення геодезичних та екологічних досліджень водою.

**Викладення основного матеріалу.** Науковцями Державного університету «Житомирська політехніка» розроблено мобільну інтелектуальну роботизовану платформу для проведення геодезичних та екологічних досліджень. Конструкція роботизованої платформи (рис. 1) передбачає наявність таких основних елементів: корпусу; блока управління (1), який містить в собі мікроконтролер на базі плати Arduino Nano (2), радіомодуль (3), плату управління датчика JSN-SR04T – 2.0 (4), модуль PH-4502C, до якого підключається датчик кислотності води (5); безколекторного двигуна (6), його сорочки охолодження (7), регулятора двигуна (9) з'єднувальної муфти (24) для передачі обертання від валу двигуна на вал дейдвуда (23), який в свою чергу з'єднаний з гребним гвинтом (22); живлення системи забезпечується акумулятором (8); сервомотори (10–13), що використовуються як приводи вантажних відсіків (25) та (26), привід керма (21) та привід механізму набору води; датчиків температури (14), рівня кислотності (15), ультразвукового для вимірювання відстані від дна платформи до дна водойми (16), датчика відстані (27); навігація платформи забезпечується GPS модулем (28) та антеною (29); габаритні випромінювачі (17–20), що допомагають у керуванні в темну пору доби.

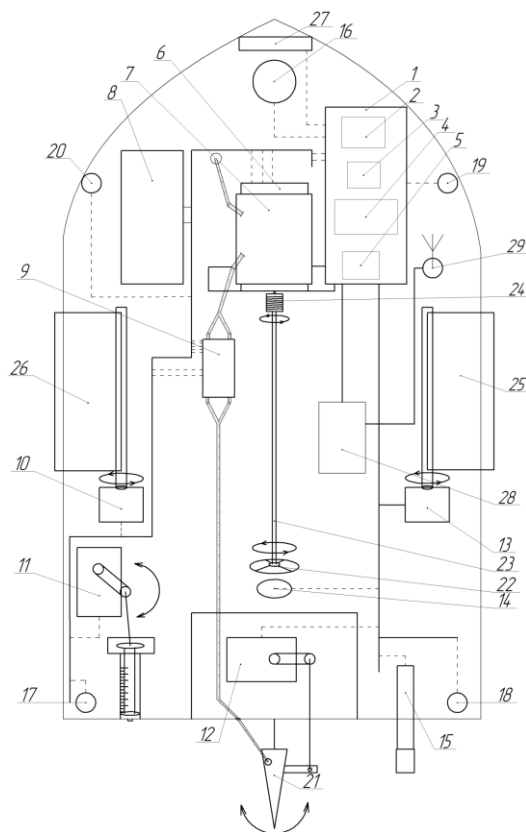


Рис. 1. Схема розміщення конструктивних елементів мобільної роботизованої платформи для проведення геодезичних та екологічних досліджень

Обладнання платформи живиться від акумулятора Turnigy Li-Po 7.4V 5300mAh 2S2P 25C, який дозволяє тривалий час використовувати роботизовану платформу та забезпечує необхідну напругу живлення для коректної роботи системи. Як управляючий пристрій обрано плату Arduino Nano, побудовану на мікроконтролері ATmega328. Вона компактна та дозволяє реалізувати всі поставлені в цьому проєкті задачі. Для дистанційної передачі даних та управління платформою використано радіомодуль NRF 24L01P+, який забезпечує хорошу якість прийому-передачі сигналу на відстані до

1 кілометра. За отримання даних про навколишнє середовище відповідатимуть такі датчики: ультразвуковий датчик відстані JSN-SR04T – 2.0, який забезпечує вимірювання відстані від плавальної платформи до дна водойми і тим самим дозволить відобразити карту рельєфу дна за рахунок побудови графіка по отриманим з датчика даним, а також виміряти глибину в певному місці водойми й зробити попередній розрахунок об'єму води водойми; для аналізу якості води використано датчик кислотності води DFRobot ADC151, який дає змогу провести аналіз та визначити кислотність води практично миттєво; для вимірювання температури води використано цифровий датчик DS18B20 з функцією тривожного сигналу контролю за температурою та діапазоном вимірюваної температури від -55 до +125 С; для визначення плавучих перешкод, що можуть виявитися на шляху платформи, використано інфрачервоний датчик відстані Sharp GP2Y0A21YK0F; для визначення точного місцезнаходження цієї системи та подальшої побудови карти дна і прив'язки отриманих даних до точних координат використано GPS модуль GPS NEO-6M SMA + IPEX та активну антену ANT GPS BY-GPS-07 SMA-M для збільшення чутливості і підвищення співвідношення «сигнал – шум» і зниження впливу перешкод. Виконавчі механізми представлені у вигляді серводвигунів MG995 Tower Pro та MG996R-180, які необхідні для реалізації механізму набору води для її подальшого глибокого аналізу, а також для забезпечення руху плавальної платформи в необхідному напрямку та для вивантаження вантажу, розміщеного в двох вантажних відсіках зверху платформи.

Також розроблено пульт керування платформою шляхом модернізації готового пульта, структурна схема якого наведена на рисунку 2. Керування здійснюється платою Arduino Nano, яка забезпечує обробку даних, а також виконує функцію керуючого пристрою та забезпечує опрацювання даних з GPS модуля та їх запис на флеш накопичувач.

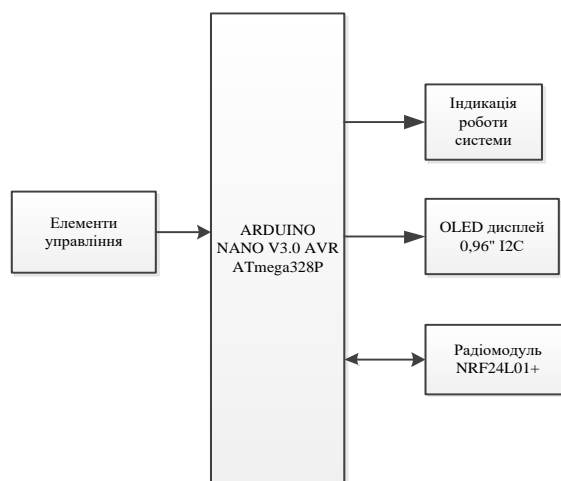


Рис. 2. Структурна схема дистанційного пульта керування

Для віддаленого керування платформою використовуються стіки, для приведення в рух вантажних відсіків, а також активації системи набирання проби води використовуються кнопки. Для відображення стану роботи системи застосовуються світлодіоди.

Пульт керування отримує і передає дані по радіомодулю NRF 24L01+, отримані дані з сенсорів від радіомодуля обробляються платою управління та відображаються на OLED-дисплеї пульта керування.

Для повноцінної роботи роботизованої платформи необхідно організувати синхронну роботу плавальної платформи і пульта (прийм та передачу даних). Відповідно до алгоритму роботи системи (рис. 3, а), спочатку відбувається налаштування портів контролера та обнуління вхідних даних. Роботизована платформа в такому випадку розглядається передатчиком, тобто ініціатором обміну даних, отже відбувається подача запиту в ефір на підключення до пульта, за відсутності відповіді відбувається повторне циклічне надсилання запиту на підключення до пульта керування, за наявності підключення і отримання сигналу – відповіді, відбувається робота по обміну даними з пультом та перевірка необхідності продовження роботи, якщо робота закінчена – відбувається закінчення циклу, якщо ж робота системи продовжується, то відбувається циклічна робота з пультом аж до того моменту, доки робота з пультом все ж не буде закінчена.

Алгоритм роботи пульта управління (рис. 3, б) починається аналогічно, з ініціалізації. Пульт керування в цьому випадку розглядається приймачем, тому відбувається очікування вільного запиту в ефірі на підключення до роботизованої платформи, за відсутності активних запитів відбувається повторне циклічне очікування на запит підключення, за наявності підключення і отримання сигналу

відбувається робота по обміну даними з платформою та перевірка необхідності продовження роботи, якщо робота закінчена – відбувається закінчення циклу.

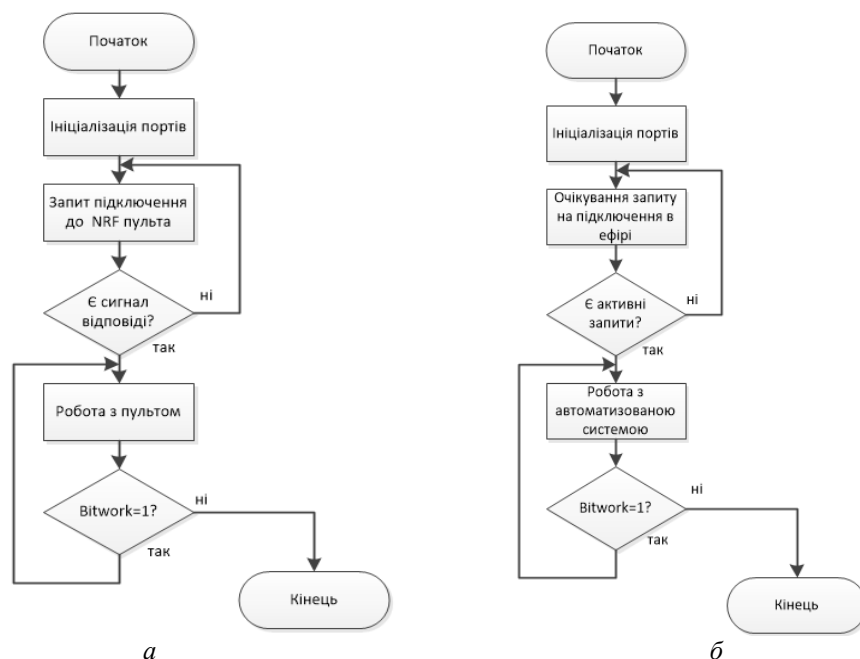


Рис. 3. Загальні алгоритми роботи роботизованої платформи (а) та пульта керування (б)

При активації системи запису даних для побудови тривимірної моделі дна ділянки водойми відбувається перевірка активації системи, запуск GPS-модуля, SD-модуля, їх налаштування на роботу. GPS-модуль потребує деякий час на підключення до супутників та визначення своїх координат, тому відбувається очікування визначення координат місцезнаходження роботизованої платформи. Потім створюється файл для подальшого запису даних з датчика глибини та відповідних координат, а також запускається таймер, який за замовчуванням виставлений на 10 хвилин, протягом цього часу буде відбуватися запис даних у створений файл. Далі відбувається циклічне зчитування координат та глибини, запис цих даних до файлу з проміжком у 30 секунд протягом часу, встановленого таймером. Цей файл з даними послугує основою для побудови вейвлет-діаграми ділянки дна водойми. Якщо систему запису даних активовано знову, відбувається перевірка того, чи визначені координати модуля і робота далі по циклу, інакше очікується повторна активація системи.

За допомогою радіомодулів відбувається передача таких даних, як сигнали керування з пульта. Вони відповідають за рух платформи, ввімкнення / вимкнення габаритів, набір проби води для глибшого її аналізу. Також відбувається передача даних, які отримуються з датчиків, а саме рівень кислотності води, температура, глибина, координати місцезнаходження платформи, а також рівень заряду акумулятора.

Для побудови карти рельєфу дна в першу чергу необхідно зібрати дані про глибину водойми за допомогою ультразвукового датчика відстані JSN-SR04T – 2.0. Зрозуміло, що для побудови тривимірної моделі необхідно ще два параметри, одним з них є час, а іншим – координати, визначення яких виконується за допомогою даних GPS-розміщення мобільної платформи на водоймі. Під час проведення досліджень необхідно обрати ділянку на водоймі і, рухаючись по водоймі крок за кроком, отримувати дані з датчика глибини та координати в цих точках відповідно, та записувати ці дані в файл на платформі мінікомп'ютера RPі 3B+, встановленого на мобільній платформі.

Для опрацювання даних і побудови тривимірної моделі рельєфу ділянки дна водойми використано систему MATLAB, а саме необхідно використати Wavelet Toolbox, що забезпечує функції і додатки для аналізу й синтезу сигналів і зображень. Тулбокс включає алгоритми для безперервного аналізу вейвлета, когерентності вейвлета, synchrosqueezing і адаптивного даними частотно-часового аналізу. Використовуючи безперервний аналіз вейвлета, можна вивчити спосіб, яким спектральні функції розвиваються залежно від часу, ідентифікують загальні змінюються в часі шаблони в двох сигналах і виконують локалізовану часом фільтрацію. Використовуючи дискретний аналіз вейвлета, можна аналізувати сигнали і зображення в різних розширеннях, щоб виявити розриви та інші дефекти, що погано видимі в необроблених даних. Можна порівняти статистику сигналу за декілька шкалами і виконати фрактальний аналіз даних, щоб показати приховані шаблони. З Wavelet Toolbox можна

отримати розріджене представлення даних, корисних для шумозаглушення або стиснення даних при збереженні важливих функцій. Багато функцій тулбокса підтримують генерацію коду C/C++.

**Проведення експерименту.** Для початку роботи з роботизованою платформою було детально перевірено готовність та правильність усіх елементів платформи для роботи в реальних умовах. Для проведення дослідження було обрано мілку водойму. Протягом дослідження було виконано проходження по маршруту з різною траєкторією та отримано покази з датчиків.

Під час проведення дослідження було отримано файл, що розміщується на флеш-накопичувачі, що в свою чергу, дозволяє швидко і легко переглядати отримані дані з датчиків. Вигляд файлу, отриманого при проведенні дослідження, зображено на рисунку 4.

A	B	C	D	E	F	G
9:42:34	50.236396	28.611356	155	24	6	5
9:42:37	50.236400	28.611360	146	24	6	5
9:42:40	50.236412	28.611358	140	30	6	4
9:42:43	50.236412	28.611354	134	29	6	4
9:42:46	50.236415	28.611351	145	29	6	4
9:42:49	50.236412	28.611351	132	30	6	4
9:42:52	50.236396	28.611356	144	30	6	4
9:42:55	50.236385	28.611362	144	30	6	4
9:42:58	50.236381	28.611370	135	30	6	4
9:43:01	50.236377	28.611373	151	30	6	4
9:43:04	50.236373	28.611377	136	30	6	4
9:43:07	50.236370	28.611379	147	30	6	4
9:43:10	50.236362	28.611383	156	29	6	4
9:43:13	50.236358	28.611383	131	29	6	4
9:43:16	50.236354	28.611383	138	29	6	4
9:43:19	50.236354	28.611381	147	29	6	4
9:43:22	50.236354	28.611377	149	29	6	4
9:43:25	50.236354	28.611375	99	29	6	4

Рис. 4. Зовнішній вигляд вихідного файлу з записаними даними

При використанні GPS-модуля є можливість визначення не тільки поточного місцезнаходження, але й визначення точного часу. Проаналізувавши отримані дані, необхідно виконати побудову карти маршруту, по якій рухалась інтелектуальна роботизована платформа (рис. 5).

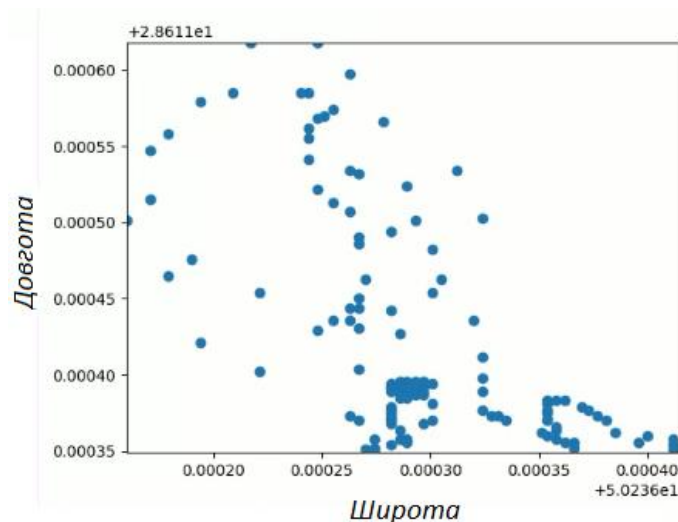


Рис. 5. Маршрут руху роботизованої платформи

Відповідно до маршруту руху було розроблено тривимірну модель, яка не є високо деталізованою, адже для побудови карти з високою точністю необхідно заповнити всі точки, а не тільки ті, що показані на маршруті (рис. 6).

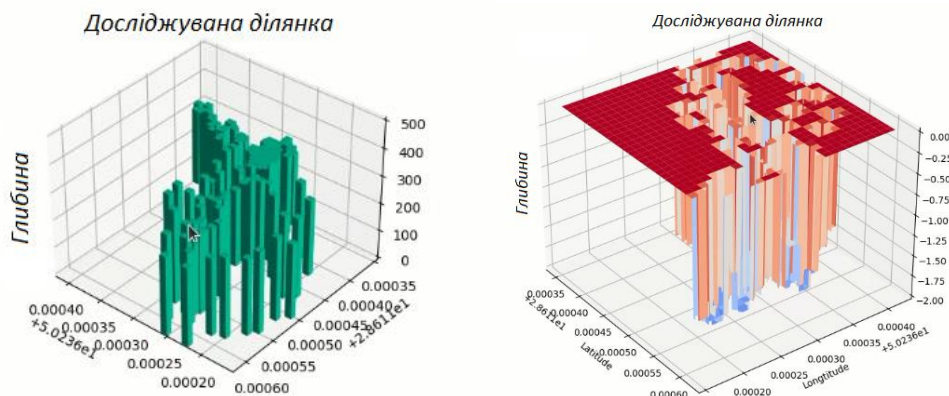


Рис. 6. Тривимірні моделі ділянки дна водойми

Також відповідно до показів датчика температури та кислотності було побудовано графіки змін цих величин протягом проведення дослідів (рис. 7, 8).



Рис. 7. Графік змін величини кислотності води водойми

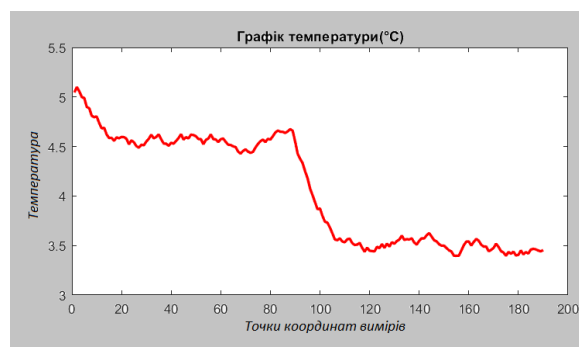


Рис. 8. Графік змін температури води водойми

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Описано нову мобільну роботизовану платформу для проведення геодезичних та екологічних досліджень водойм, яка дозволяє провести дослідження, пов'язані з якістю води водного об'єкта, а також виміряти глибину в ньому. Представлено детальну схему розміщення всіх конструктивних елементів та описано методологію проведення вимірювань за допомогою такої системи і подальшу обробку отриманих даних. Як чутливі елементи системи було обрано датчик температури, кислотності води та відстані (як глибиномір), які задовольняють усі необхідні вимоги для встановлення на зазначену платформу. Було досліджено ефективність та коректність роботи розробленої системи на природній водоймі (річка та озеро). Також було проведено всі необхідні виміри та взято пробу води. На основі отриманих результатів було зроблено висновки про якість води у водоймі та побудовано тривимірні моделі дослідженої ділянки дна, графіки зміни досліджуваних величин (температури та кислотності) за пройденим маршрутом. Також описано проблему використання вейвлет-діаграми для опису ділянки дна водойми.

Розроблена установка має широкий набір функцій, який може бути збільшений у подальшому, наприклад, з додаванням функції автономності роботи по заданим точкам, що дозволить побудувати повноцінну деталізовану карту дна ділянки водойми. Також розглядається можливість детальнішого аналізу води локально.

#### Список використаної літератури:

1. *Dimitropoulos S.* The new ocean explorers / *S.Dimitropoulos* // Popular Mechanics. – New York. – 2019. – Nov. 19 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/DHPECWR>.
2. *Brans P.* What Norwegians are learning as they pioneer autonomous ships / *P.Brans*. – London : Computer Weekly, 2021. – Nov. 10 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/HPR0jL>.
3. *Rivero N.* Japan is home to the world's first autonomous container ships / *N.Rivero* // Quartz. – New York City. – 2022. – Feb. 12 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/tHPR3Zn>.
4. *Miller E.* The robot ships are coming...eventually / *E.Miller* // Wired. – San Francisco. – 2020. – Oct 30 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.wired.com/story/mayflower-autonomous-ships/>.
5. *Drăgan O.* This solar-powered electric ferry is the first maritime robotaxi in Europe / *O.Drăgan* // Autoevolution. – Bucharest. – 2021. – Jul 30 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/GHPR6AX>.

6. SM300 autonomous command & control. – Boston : Sea Machines [Electronic resource]. – Access mode : <https://sea-machines.com/sm300>.
7. Lagoon water quality monitoring based on digital image analysis and machine learning estimators / Yuanhong Li, Xiao Wang, Zuoxi Zhao, Sunghwa Han, Zong Liu. – Water Research, Vol. 172, 2020, 115471. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115471.

**References:**

1. Dimitropoulos, S. (2019), «The new ocean explorers», *Popular Mechanics*, New York City, Nov. 19, [Online], available at: <https://cutt.ly/DHPECWR>
2. Brans, P. (2021), «What Norwegians are learning as they pioneer autonomous ships», *Computer Weekly*, London, Nov. 10, [Online], available at: <https://cutt.ly/IHPR0jL>
3. Rivero, N. (2022), «Japan is home to the world's first autonomous container ships», *Quartz*, New York City, Feb. 12, [Online], available at: <https://cutt.ly/tHPR3Zn>
4. Miller, E. (2020), «The robot ships are coming...eventually», *Wired*, San Francisco, Oct 30, [Online], available at: <https://www.wired.com/story/mayflower-autonomous-ships/>
5. Drăgan, O. (2021), «This solar-powered electric ferry is the first maritime robotaxi in Europe», *Autoevolution*, Bucharest, Jul 30, [Online], available at: <https://cutt.ly/GHPR6AX>
6. Sea Machines, «SM300 autonomous command & control», Boston, [Online], available at: <https://sea-machines.com/sm300>
7. Yuanhong, Li, Xiao, Wang, Zuoxi, Zhao, Sunghwa, Han, Zong, Liu (2020), «Lagoon water quality monitoring based on digital image analysis and machine learning estimators», *Water Research*, Vol. 172, 115471, doi: 10.1016/j.watres.2020.115471.

**Ткачук Андрій Геннадійович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-2466-6299>.

Наукові інтереси:

- автоматизований електропривод;
- сучасні інформаційно-вимірювальні системи;
- інтелектуальні мехатронні системи.

**Громовий Олексій Андрійович** – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-2761-0736>.

Наукові інтереси:

- системи автоматизованого проектування в машинобудуванні;
- адитивні технології виробництва.

**Янчук Валентин Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-6715-4667>.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання технологічних процесів,
- розробка програмного забезпечення,
- підтримка систем електронної комерції.

**Гриневич Марія Степанівна** – асистентка кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- мобільні роботизовані платформи;
- інформаційно-вимірювальні системи;
- системи штучного інтелекту.

**Кравчук Антон Романович** – асистент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-8305-2492>.

Наукові інтереси:

- промислова та мобільна робототехніка;
- САПР;
- вбудовані системи.

**Tkachuk A.H., Gromovyy O.A., Yanchuk V.M., Hrynevych M.S., Kravchuk A.R.**

**Mobile robotic platform for geodetic and ecological research**

The article considers a new mobile intelligent robotic platform that will allow you to quickly conduct experiments to assess the water in the reservoir, as well as to analyze the relief of the reservoir bottom with the subsequent preservation of all data. It is established that the use of an intelligent platform for water analysis significantly speeds up research, increases the study area of the reservoir and simplifies the process of establishing the correspondence of data to a particular place on the reservoir. The developed design of the platform is described, which consists of a housing, control board, sensors, actuators, such as servomotors and collectorless motor, radio module and GPS module, engine speed controller. The developed remote control for this platform is also described. The functional scheme of the intelligent robotic platform for water quality assessment and analysis of the terrain of the day is given. Experimental studies of the developed system on the reservoir were conducted, the main idea of which was the study of the correctness of the system, evaluation of the effectiveness of research and demonstrations of water quality sensors. An ultrasonic sensor for measuring depth, water acidity and temperature sensors was investigated. The results of the conducted experiments of the developed monitoring system are analyzed, on the basis of which the map of the bottom of the reservoir section is constructed and certain conclusions concerning the water quality are made.

**Keywords:** mobile robotics; pollution; cartography; ecology; geodesy.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2022.