

Бурау Н.І.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Золотарьов Є.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

Оглядову статтю присвячено аналізу останніх розробок систем візуалізації руху для безпілотних підводних апаратів. Розглянуто результати наукових досліджень та сучасні практичні технології, які використовуються у розробці технічних засобів та програмного забезпечення для таких систем. Проведено огляд та аналіз інформації, яка відображається у користувацькому графічному інтерфейсі систем візуалізації руху безпілотних підводних апаратів. Огляд систем візуалізації руху безпілотних підводних апаратів включає готові рішення від відомих компаній, студентські проекти, що знаходяться на стадії розробки, а також проекти з відкритим кодом. В основному всі розробки призначені для не автономних апаратів, які мають фізичний зв'язок (кабель-трос) з судном-носієм.

В статті розглянуто особливості запропонованого розробниками комерційного програмного забезпечення, а також мови програмування для розробки програмного забезпечення систем візуалізації руху. Розкрито важливість вибору архітектури програмного забезпечення. Також, показано тенденцію комплексного підходу до застосування веб-технологій та низькорівневих мов програмування при розробці графічного інтерфейсу користувача. Приведені готові рішення засобів, та їх характеристики, для інформаційного обміну між автономним безпілотним підводним апаратом та поверхневою контрольною станцією. Описані типові інтерфейси призначені для організації прийому-передачі даних.

Загалом, стаття надає детальний огляд сучасних розробок систем візуалізації руху для безпілотних підводних апаратів, аналізує їхні переваги та обмеження, а також вказує на потенційні напрямки подальшого розвитку цих систем. На основі проведеного огляду сформувано вимоги та обґрунтовано підходи до розробки системи візуалізації руху автономного безпілотного підводного апарату, що відноситься до класу міні/мікро апаратів. Показано, що розробка системи візуалізації руху, як складової навігаційного комплексу, сприятиме підвищенню надійності та ефективності використання безпілотних підводних апаратів.

Ключові слова: автономні безпілотні підводні апарати, орієнтація, навігація, керування, візуалізація руху, програмне забезпечення.

Постановка проблеми. Безпілотні підводні апарати (БПА) – це роботизовані підводні апарати, що здатні рухатися в різних напрямках підводного середовища та виконувати різноманітні місії без участі людини в середині такого апарату. Вони використовуються для збору даних в наукових дослідженнях, моніторингу підводного середовища, у пошукових та рятувальних операціях, для картографування дна океану, підводної фотографії та відеозйомки, для виявлення та знищення небезпечних предметів, інспекції та обстеження морських платформ, нафтових та газових трубопроводів, тощо [1; 2]. Загальна класифікація БПА детально описана в роботах [1; 2; 3], відповідно до неї можна виділити такі основні класи: автономні і неавтономні.

Неавтономні, або дистанційно керовані апарати (remotely operated vehicle), зазвичай буксуються за судном-носієм і можуть маневрувати у вертикальній та горизонтальній площинах. До цього класу відносяться і телекеровані апарати, які зв'язані з носієм за допомогою кабель-тросу. Завдяки кабель-тросу людина-оператор на базовому судні може спостерігати за поточним станом БПА і забезпечувати керування ним відповідно до визначених завдань місії. Крім того, кабель-трос може забезпечувати живлення датчиків, систем та приводів БПА.

Автономні безпілотні підводні апарати (АБПА) здатні переміщуватися, занурюватися і спливати самостійно за програмою або командами телеметрії. Відсутність кабель-тросу надає принаймні

дві основні переваги автономним апаратам [3]. По-перше, під час виконання своєї місії АБПА практично не потребує взаємодії з людиною, апарат попередньо запрограмований на бажані цілі місії, і після запуску намагається виконати свою програму без втручання персоналу, розташованого на базовій станції, що зменшує вірогідність помилкових рішень, обумовлених людським фактором. По-друге, відсутність постійно прикріпленого до апарату кабелю забезпечує підвищену маневреність АБПА. Ці переваги обумовлюють застосування саме автономних апаратів для завдань дослідження в складних, динамічних і небезпечних підводних середовищах, що, з іншого боку, висуває низку жорстких вимог як до конструкції, так і до систем керування АБПА.

Світовими лідерами розробки та виробництва АБПА є США, Норвегія, Німеччина, Великобританія, Франція, Канада, Японія, Сінгапур, Данія [4]. За кордоном до створення АБПА залучено комерційні фірми, наукові установи, військові відомства, це свідчить, що цей напрямок відноситься до числа найбільш пріоритетних напрямків морської робототехніки. Тенденції розвитку АБПА охоплюють такі напрямки, як [4]:

- матеріали (нові матеріали на основі композитів, вуглецевого волокна повинні забезпечувати АБПА бути легкими, міцними, витримувати великі навантаження);
- нові двигуни для забезпечення маневреності та дальності плавання;
- енергоживлення (альтернативні джерела енергії, ефективні акумулятори з більшою потужністю та меншими розмірами);
- мініатюризація та здешевлення (дешеві, маленькі, мобільні та прості в експлуатації, група таких апаратів може замінити один великий, дорогий та складний в експлуатації апарат без втрати ефективності виконання місії);
- інтелектуалізація (адаптивні системи керування на основі штучного інтелекту та нейронних мереж, системи групового керування);
- розширення військової сфери використання апаратів (розвідка, виявлення/встановлення мін; виявлення/встановлення засобів зв'язку).

Завдання, які постають перед розробниками АБПА, можна узагальнити до трьох основних напрямків [5]: конструювання апаратів; розробка систем забезпечення руху; розробка систем збору та передачі інформації. Першим і найважливішим завданням є розробка самого АБПА, тобто створення компактного та енергоефективного підводного апарату з високою міцністю, що може пра-

цювати в екстремальних умовах дна океану. Друге завдання передбачає розробку систем забезпечення руху АБПА, зокрема, систем енергозабезпечення, стабілізації, навігації та керування, які зможуть гарантувати достатню точність, довгу тривалість роботи та стабільність руху. Третє завдання полягає в розробці систем зв'язку для забезпечення передачі інформації між АБПА та зовнішнім світом. Це в загальному випадку включає розробку таких систем зв'язку, які будуть здійснювати передачу даних в режимі реального часу, а також зберігання та візуалізацію інформації для подальшого аналізу. Важливою складовою таких систем є система візуалізації руху апарату для забезпечення постійного моніторингу за апаратом у складних та віддалених від оператора умовах в підводному середовищі.

У класі безпілотних літальних апаратів візуалізація є добре розвинутою, однак водне середовище створює проблеми для передачі даних. Мініатюризація АБПА обумовлює низку проблем, пов'язаних з їх функціональними елементами та характеристиками, зокрема, значно обмежує використання деяких датчиків, важливих для ефективної роботи під час виконання місії. Тому створення такої системи візуалізації, яка забезпечує комплексне вирішення завдань орієнтації, навігації, прийому-передачі та відображення інформації для АБПА класу міні або мікро, є важливим і актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для візуалізації руху безпілотних підводних апаратів достатньо відобразити наступні параметри руху: орієнтацію, швидкість, положення в просторі та відео зображення. Ці параметри можуть бути показані в реальному часі на екрані планшета або монітора з морською картою, що дозволить операторам відслідковувати їх рух і контролювати їх поведінку в морському середовищі. Розглянемо доступні рішення для систем візуалізації даних.

В роботі [6] представлено архітектуру БПА на базі відкритого програмного забезпечення «ArduPilot». Наземна чи поверхнева станція керування використовує програмне забезпечення «QGroundControl», система візуалізації даних зазвичай знаходиться у складі поверхневої станції. По протоколу «MAVLink» БПА передає дані на поверхневу станцію, а саме дані про напругу живлення, орієнтацію апарату (кути курсу, крену, тангажу), сигнали гіроскопів, та дані про глибину занурення. Для передачі даних в підводному середовищі використовують систему кабель-трос. Схожий проект описаний в роботі [7] з використанням

наземної станції керування «QGroundControl» для візуалізації руху БПА «LoCo».

Для БПА «PIONERO500» розроблено апаратне та програмне забезпечення для роботи апарату з дистанційним керуванням, яке використовує підхід системної інженерії [8]. Для передачі даних між БПА та поверхневою станцією використовується акустичний метод. В роботі представлено розроблений графічний інтерфейс поверхневої станції керування, де відображається інформація про положення та курс БПА відносно судна-носія та глобальних координат, глибина занурення, відстань до дна та водної поверхні. В роботі [9] цих же авторів розроблений графічний інтерфейс для БПА «VISOR3», він є зрозумілим та простим у використанні, що дозволяє просто керувати апаратом. Для зменшення перевантаження інформацією оператора програма відображає дані на відеопотоці (відображаються кути крену і тангажу, є індикація кута курсу, градація глибини з позначкою дійсної висоти над рівнем дна, значення тиску, відносної солоності, температури та вимір часу з моменту запуску місії).

Програмне забезпечення (ПЗ), що використовується для геодезичних рішень при проведенні ефективних і безпечних дистанційних операцій із застосуванням безпілотних апаратів, наведено в [10; 11; 12]. На сьогоднішній день це програмне забезпечення «NaviSuite Mobula» використовується в БПА «VideoRay Defender» та «BlueROV2». Акцент зроблений на об'єднання даних з найсучасніших сенсорів та на функціях ефективності, що дозволяють швидко інспектувати дуже великі об'єкти при моніторингових місіях БПА, наприклад, трубопроводів. Забезпечуються такі можливості візуалізації ПЗ «NaviSuite Mobula» для поверхневої станції керування [10]: об'єднання тривимірних даних; комбінування кількох видів з картами/зображеннями, зондуванням, лазером, камерою; можливості використання пристроїв переднього огляду, багатопроменевого зондування; позиціонування за допомогою різних типів сенсорів для забезпечення руху до заданої точки та режиму відслідковування маршруту; використання технологій та алгоритмів комп'ютерного зору для створення в реальному часі хмар точок навіть за допомогою одного камерного відеопотоку. Для БПА «BlueROV» в [11] обговорюється розробка графічного інтерфейсу з використанням Microsoft Visual Studio як платформи розробки інтерфейсу. Дані про орієнтацію, глибину, відеопотік, швидкості двигунів з датчиків, встановлених на борту БПА, обробляються мікро-

контролерами Arduino та Raspberry Pi, після чого відображаються на інтерфейсі для користувача. А в [12] представлений концепт системи візуалізації даних для БПА «BlueRov2», розробка ПЗ графічного інтерфейсу і керування БПА реалізована в інструментарії для візуального програмування потоком даних «Node-Red» з поєднанням різноманітних пристроїв та онлайн-сервісів, як складових частин Інтернету речей.

Програмне забезпечення для БПА «SRV-8» [13] забезпечує точне утримання позиції та функцію фіксації БПА на певному напрямку, глибині або куті нахилу. Передбачено запис усіх доступних даних, можливість відтворення місій БПА для детального перегляду відео після місії за допомогою функції перемотування з виділенням та детальним аналізом фрагментів. Можливість відображення повної орієнтації, кута повороту камери, введення джерела тяги та інтенсивності освітлення дозволяє оператору контролювати продуктивність та вносити корективи в команди керування. За наявності додаткових систем позиціонування ПЗ програмне забезпечення надає підтримку місії, відображаючи в реальному часі інформацію про положення БПА відносно місця розташування оператора.

Описані вище технічні та програми засоби передачі, візуалізації, відтворення та аналізу даних розроблені для неавтономних БПА, інформація на наземні чи поверхневі (надводні) станції керування подається через кабель-трос, яким БПА з'єднаний з судном-носієм.

В [14] створено ПЗ для поверхневої станції керування SmartFlight 2.0, яка є інерційною системою навігації та керування БПА «vLBV» з обмеженою автономною роботою, яка забезпечує стабільність і маневреність апарату. Всі дані БПА повністю інтегруються, мають відмітки часу і географічну прив'язку, збір даних є систематичним, об'єднаний інтерфейс користувача відображає всю інформацію про БПА на екрані комп'ютера, включаючи навігацію, планування місій, гідролокатор та відео.

У звіті [15] обґрунтовано перспективи об'єднання ПЗ «ROS» (Robotics Operating System) та «OpenROV Software», яке є відкритим і загальнодоступним проектом для керування БПА «Trident» по Wi-Fi через смартфон, планшет або ноутбук. Розробники використали інтернет-стандарти від HTML5 та webRTC до WebVR та WebGL. В браузері показується відеопотік, зворотній зв'язок з датчиків та засоби керування, крім простих механізмів безпосереднього керу-

вання двигунами, є розробки автопілотних механізмів, таких як утримання напрямку або глибини.

Роботу [16] присвячено розробці автономної підводної системи зв'язку АБПА з безпілотним поверхневим (надводним) апаратом. Для місій АБПА великої дальності (радіус дії до 1000 км) існує проблема відсутності зв'язку, а також необмеженого збільшення помилок розрахунку навігаційних параметрів (без спливання АБПА відсутня можливість корегування даних про місцезнаходження апарату). Автори пропонують проект, який поєднує автономний надводний апарат з АБПА великого радіусу дії технологіями акустичного та оптичного зв'язку, в результаті розробляється система огляду великої дальності, в якій надводний апарат забезпечує шлюз зв'язку в режимі реального часу з АБПА, а також забезпечує акустичне оновлення даних позиціонування для зв'язаного навігаційного дрейфу. Для забезпечення зв'язку між апаратами, вони були оснащені модемом GyroUSBL\AvTrak і парою передавач/приймач Sonardyne BlueComm 200. Як показали експериментальні випробування, акустичний зв'язок ефективно працює на середніх частотах (19–34 кГц), забезпечується швидкість передачі даних від 2,5 до 12,5 Мбіт/с на відстані до 150 м, робоча глибина АБПА збільшувалась від 30 м до 150 м.

Таким чином, проведений огляд стану наукових досліджень та практичних розробок за напрямком показав, що не зважаючи на значний науковий та практичний інтерес до проблеми розвитку АБПА та їх систем, має місце обмеженість таких досліджень для створення систем візуалізації руху АБПА, особливо в умовах мініатюризації апаратів. Така проблема потребує комплексного вирішення завдань орієнтації, навігації, прийому-передачі та візуалізації інформації для АБПА класу міні або мікро.

Метою статті є формування вимог та обґрунтування підходів до розробки системи візуалізації руху АБПА, що відносяться до класу міні/мікро апаратів.

Виклад основного матеріалу. Система візуалізації руху АБПА є невід'ємною частиною програмно-апаратного навігаційного комплексу підводного апарату та його системи комунікації з судном-носієм. Навігаційний комплекс повинен забезпечувати надійну навігаційну підтримку АБПА при виконанні апаратом багатоцільових місій, зокрема [5]:

- визначення поточних координат місцезнаходження АБПА;
- визначення навігаційних параметрів для забезпечення заданих режимів руху та місії в цілому;

- швидкісний обмін інформацією між АБПА та судном-носієм;

- визначення та відображення на борту судна-носія інформації про поточне місцезнаходження АБПА;

- забезпечення можливості дистанційного керування апаратом;

- забезпечення можливості на борту судна-носія моніторингу функціонального технічного стану АБПА та його систем;

- ефективне функціонування навігаційної системи в режимі автономної навігації, в умовах наявності/відсутності систем стаціонарних маяків, в режимі корекції – при комбінації різних бортових систем і датчиків.

Для більшості АБПА до складу навігаційного комплексу входять бортова навігаційна система (безплатформна інерціальна навігаційна система (БІНС), компас, доплерівський лаг) та гідроакустична навігаційна система (ГАНС). Для автономного режиму навігації використовується БІНС, яка може бути побудована на волоконно-оптичних гіроскопах, на мікроелектромеханічних гіроскопах та акселерометрах, тощо [17]. Режим корекції забезпечується БІНС у поєднанні доплерівським лагом, глибиноміром, магнітометрами. Навігація в умовах наявності стаціонарної системи маяків забезпечується ГАНС.

Важливе значення в навігаційному комплексі має система гідроакустичного зв'язку, до складу якої входять випромінювачі та приймачі низькочастотних акустичних сигналів. Зв'язок забезпечується в режимах командного обміну (навігація, телеметрія) та високошвидкісного інформаційного обміну між АБПА та судном-носієм за допомогою ультразвукового гідроакустичного модему (ГАМ) [18; 19]. Основними технічними характеристиками гідроакустичного модему є: дальність дії (у середньому на 3000 м), швидкість передачі даних (в межах 10 кбіт/с), смуга частот випромінюваних сигналів, центральна частота, діаграма направленості, максимальна глибина роботи та ін. Середня глибина функціонування ГАМ складає близько 1000 м, модеми для різних глибин відрізняються лише матеріалом корпусних елементів (для глибин до 200 м використовуються армовані пластики та полімери, для більших – сплави алюмінію та титану). Основними інтерфейсами зв'язку ГАМ з бортовою мережею БПА є RS232 / 422, RS 485 і Ethernet. Інтерфейс RS-232 (ТІА/ЕІА-232) призначений для організації прийому-передачі даних між передавачем (або терміналом) і приймачем (або комунікаційним облад-

нанням) за схемою точка-точка, тобто забезпечує зв'язок лише між двома пристроями. Інтерфейс RS-485 підтримує мережу із декількома передавачами і приймачами, в одному сегменті мережі RS-485 може бути до 32 пристроїв з можливістю розширення, в кожний момент часу активним може бути тільки один передавач.

Розглянуті рішення систем візуалізації даних дозволяють сформуванню до неї такі загальні функціональні вимоги:

- відображення даних у реальному часі в інтерфейсі користувача, який налаштовується таким чином, щоб оператори могли швидко реагувати на будь-які сигнали від АБПА;
- програмне забезпечення повинно підтримувати різні типи сенсорів для збору даних (багатохвильовий ехолот, лідар, підводні лазери, камери, гідролокатори бічного/секторного огляду, акустичні профілометри, сенсори БНС та інші);
- необхідно забезпечити стиснення даних для систем з низькою пропускнуою здатністю і стабільності з'єднання;
- зручне переключення між автоматичним і ручним режимами керування дослідженням БПА;
- точність відображення позиції АБПА та зменшення впливу часового запізнення у процесі передачі та відображення даних.

Для відображення на борту судна-носія інформації про поточне місцезнаходження БПА, про стан систем апарату та підводного середовища кожна з фірм-розробників пропонує своє алгоритмічне та ПЗ для поверхневої станції керування. Найбільш технологічними є комерційні рішення ПЗ [10; 13], але комерційне ПЗ має високу вартість, обмежену сумісність з іншими БПА, залежність від виробника та закритість коду.

Архітектура ПЗ для системи візуалізації даних є ключовим елементом його розробки. Хороша архітектурна конструкція дозволяє ефективно організувати компоненти ПЗ та забезпечити його функціональність, надійність та розширюваність. Одним з поширених підходів до архітектури є модульна архітектура. У такій архітектурі ПЗ розділяється на незалежні модулі або компоненти, які взаємодіють між собою через визначені інтерфейси. Це спрощує розробку, тестування та підтримку ПЗ, оскільки кожен модуль може бути розроблений та тестований окремо.

Вибір конкретної мови програмування залежить від вимог розробки, характеристик обладнання та навичок розробників. Для розробки програмного забезпечення системи візуалізації руху БПА використовуються різні технології, що

охоплюють широкий спектр мов програмування. Одними з таких технологій є веб-мови програмування, такі як HTML, CSS і Node-Red. Веб-технології дозволяють створювати інтерактивні та візуально привабливі інтерфейси, які можна легко відтворювати на різних пристроях. Окрім веб-мов програмування, також використовуються мови низького рівня, такі як С, Асемблер і С++. Ці мови дозволяють здійснювати більш прямий контроль над обладнанням і оптимізувати роботу програми для підвищення швидкодії. Вони особливо корисні для написання чутливих до часу алгоритмів та взаємодії з жорсткими дисками, сенсорами і іншими пристроями. Кожна мова має свої переваги і обмеження, і важливо обрати ту, яка найкраще відповідає потребам розробки ПЗ системи візуалізації руху БПА.

Таким чином, для розробки системи візуалізації руху АБПА потрібно вирішити низку науково-практичних завдань, які можна згрупувати за такими напрямками:

1. Розробка/вдосконалення алгоритмів автономної орієнтації та навігації (обробка даних для визначення орієнтації, швидкості та координат АБПА).
2. Розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для збору та попередньої обробки даних множини сенсорів АБПА в режимах його руху.
3. Розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для передачі даних з АБПА та прийому даних базовою (поверхневою) станцією в режимі реального часу.
4. Розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для візуалізації отриманих даних про місцезнаходження та параметри руху АБПА на пристроях базової станції.

Таким чином, розробка системи візуалізації, як невід'ємної складової навігаційного комплексу АБПА, сприятиме підвищенню надійності та ефективності експлуатації таких апаратів у складних умовах підводного середовища, а також розширить їх функціональні можливості у процесі виконання поставлених завдань.

Висновки. Проведений аналіз стану сучасних розробок пристроїв та систем збору, передачі та відображення даних про параметри руху БПА на поверхневих/наземних стаціях показав, що візуалізація положення та руху БПА є однією з важливих проблем у розвитку підводної робототехніки. На сьогоднішній день можна стверджувати про успішне вирішення її для БПА, пов'язаних кабель-тросом з судном – носієм. Для автономних БПА, зокрема

апаратів класу міні чи мікро, вирішення проблеми візуалізації потребує комплексного підходу на основі підвищення точності навігації та позиціонування, збільшення автономності роботи, вдосконалення систем комунікацій та передачі даних, а також забезпечення високої стійкості та надійності роботи в умовах впливу зовнішніх факторів.

Сформовано загальні функціональні вимоги до системи візуалізації даних для АБПА, визначено основні напрямки досліджень та практичних завдань для її створення.

Розробка системи візуалізації з використанням сучасних технологій машинного навчання та комп'ютерного зору забезпечить інтелектуальну підтримку місії АБПА, сприятиме створенню високопродуктивних систем спостереження. Така система може стати основою для створення імітаційних моделюючих комплексів, які здатні генерувати віртуальне середовище та відображати рух об'єкта для відпрацювання самої системи візуалізації та дослідження різних умов та сценаріїв руху АБПА.

Список літератури:

1. J. Wang, Z. Wu, H. Dong, M. Tan, and J. Yu. Development and control of underwater gliding robots: A review. *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*. 2022. Vol. 9, No. 9, P. 1543–1560. DOI: 10.1109/JAS.2022.105671
2. Бурау Н.І., Яцко Л.Л., Расулов М.Д., Бобрик В.С. Огляд стану сучасних автономних безпілотних підводних апаратів. *Вісник інженерної академії України*. 2017. № 4. С. 12 – 17.
3. Autonomous Underwater Vehicles / Edited by Nuno A. Cruz. Published by InTech, 2011. 270 p.
4. Gafurov S. A., Klochkov E.V. Autonomous unmanned underwater vehicles development tendencies. *Procedia Engineering*. 2015. № 106, P. 141 – 148.
5. Underwater vehicles / Edited by Aleksander V. Inzartsev. 2009. 582 p.
6. Luo Z., Xiang X., Zhang Q. Autopilot System of Remotely Operated Vehicle Based on Ardupilot. *Intelligent Robotics and Applications*. Cham, 2019. P. 206–217. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27535-8_19.
7. Edge C. et al. Design and Experiments with LoCO AUV: A Low Cost Open-Source Autonomous Underwater Vehicle. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2020. <https://doi.org/10.1109/iros45743.2020.9341007>.
8. Aristizabal L.M. et al. Hardware and software development for the navigation, guidance, and control system of a remotely operated vehicle. *IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*. 2017. <https://doi.org/10.1109/ccac.2017.8276422>.
9. Osorio S. P., Aristizabal L. M., Zuluaga C. A. Development of a command interface based on handheld devices for remotely operated vehicles. *IEEE Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA)*. 2016. <https://doi.org/10.1109/ccra.2016.7811422>.
10. EIVA launches a complete software solution for ROV steering. EIVA – Maritime survey and construction solutions. URL: <https://www.eiva.com/about/eiva-log/eiva-launches-a-complete-software-solution-for-rov-steering> (дата звернення: 14.05.2023).
11. Jayasinghe M. C. Graphical User Interface for the Supervisory Motion Control of BlueROV1.1. *2nd International Conference On Electrical Engineering (EECON)*. 2018. <https://doi.org/10.1109/eecon.2018.8540998>
12. Andrew. A different approach to controlling the Bluerov2. Blue Robotics Community Forums. URL: <https://discuss.bluerobotics.com/t/a-different-approach-to-controlling-the-bluerov2/3072> (дата звернення: 14.05.2023).
13. Integrated SubNav™ Software | SRV-8 ROV | RJE Oceanbotics. Oceanbotics – Professional Grade ROVs. URL: <https://www.oceanbotics.com/sub-nav/> (дата звернення: 14.05.2023).
14. SmartFlight 2.0 – Control software by Seabotix | NauticExpo. NauticExpo – The B2B marketplace for the boating and maritime sectors: powerboats, sailboats, yachts, fittings, sailing dinghies, commercial vessels, etc. URL: <https://www.nauticexpo.com/prod/seabotix/product-25474-578444.html> (дата звернення: 14.05.2023).
15. Brew C., Lane D. CSE 145/237D Embedded Systems Design Project. Kastner Research Group | KRG @ UC San Diego. URL: <https://kastner.ucsd.edu/ryan/wp-content/uploads/sites/5/2014/03/admin/openROV-final-report.pdf> (дата звернення: 14.05.2023).
16. Phillips A., Salavasidis G., Kingsland M. and Harris C. Autonomous Surface/Subsurface Survey System Field Trials. *IEEE OES Autonomous Underwater Vehicle Symposium*. 2018. doi:10.1109/AUV.2018.8729740
17. Balestrieri E., Daponte P., De Vito L., Lamonaca F. Sensors and Measurements for Unmanned Systems: An Overview. *Sensors*. 2021, No 21. P. 1518-1545. <https://doi.org/10.3390/s21041518>
18. Annalakshmi, G. Underwater Acoustic Modem-Challenges, Technology and Applications-A Review Survey. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*. 2017. Vol. 2(3). P. 60-69. doi: 10.19080/OFOAJ.2017.02.555592
19. Золотарьов Є.О. Методи передачі та відображення інформації про рух безпілотного підводного апарату. *XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*: збірник праць, Київ, 2023. С. 12-14.

Bouraou N.I., Zolotarov Ye.O. SYSTEMS OF VISUALIZATION OF THE MOVEMENT OF UNMANNED UNDERWATER APPARATUS

The review article is dedicated to the analysis of recent developments in motion visualization systems for unmanned underwater vehicles. It examines the results of scientific research and modern practical technologies used in the development of hardware and software for such systems. The review and analysis of information displayed in the user graphical interface of motion visualization systems for unmanned underwater vehicles are conducted. The review of motion visualization systems for unmanned underwater vehicles includes ready-made solutions from well-known companies, student projects at the development stage, as well as open-source projects. Most developments are intended for non-autonomous vehicles that have a physical connection (cable) with the host vessel.

The article discusses the peculiarities of the proposed commercial software by the developers, as well as programming languages for motion visualization software development. The importance of selecting software architecture is revealed. The trend of a comprehensive approach to the use of web technologies and low-level programming languages in developing the user interface is also demonstrated. Ready-made solutions for information exchange between autonomous unmanned underwater vehicles and surface control stations, along with their characteristics, are provided for data transmission.

Overall, the article provides a detailed overview of modern developments in motion visualization systems for unmanned underwater vehicles, analyzing their advantages, limitations, and potential directions for further development. Based on the conducted review, requirements and approaches to developing a motion visualization system for autonomous unmanned underwater vehicles belonging to the mini/micro-class are formulated and justified. It is shown that developing a motion visualization system as a component of the navigation complex will contribute to enhancing the reliability and efficiency of unmanned underwater vehicle utilization.

Key words: *autonomous unmanned underwater vehicles, orientation, navigation, control, motion visualization, software.*