

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-44>

УДК 629.5

Каленюк Петро Вадимович, студент

Круліковський Борис Борисович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-7944-551X>

Рейнська Вікторія Борисівна, к.е.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3969-2054>

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

## МАКЕТ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО АПАРАТА

**Каленюк П. В., Круліковський Б. Б., Рейнська В. Б. Макет безекіпажного надводного апарата.** В даний час для ведення бойових дій на фронтах російсько-української війни значно зростає доля автономних керованих систем враження ворога на землі, в повітрі і на воді. Основам побудови таких систем присвячена дійсна робота, в якій представлені принципи конструювання та побудови безекіпажних надводних апаратів (БНА) з використанням доступних технологій і матеріалів. На основі огляду сучасних БНА у вигляді одно- та багатокорпусних конструкцій від різних виробників показано переваги корпусу тримарана, що можуть бути використані для виконання поставлених цілей. Тому в роботі пропонується варіант створення легкого трьохкорпусного апарату з доступних матеріалів. Для його реалізації наводяться ескізи деталей корпусів, що враховують особливості гідродинаміки малих плавальних засобів, і можуть бути реалізовані без використання металообробних верстатів. Представлений порядок виготовлення та збирання корпусу БНА дозволяє не тільки тиражувати їх силами учнівської спільноти, а також комплектувати виріб необхідним достатньо складним обладнанням для виконання реальних бойових завдань. Крім того, достатньо уваги приділено опису конструкції та особливостей виконання системи керування напрямком руху апарата і герметизації корпусу в зоні розташування гребного вала.

**Ключові слова:** Unmanned surface vehicle (USV), autonomous vessel, balsa, range, propeller, buoyancy, deadwood.

**Kalenjuk P., Krulikovskiy B., Reinska V. Model of a crewless boat.** At this time, in order to conduct hostilities on the fronts of the Russian-Ukrainian war, the share of autonomous controlled systems for defeating the enemy on the ground, in the air and on the water is significantly increasing. This work is devoted to the basics of the construction of such systems, which presents the principles of design and construction of unmanned surface vehicles (USV) using available technologies and materials. Based on the review of modern USVs in the form of single and multi-housing structures from various manufacturers, the advantages of the trimaran body that can be used to fulfill the set goals are shown. Therefore, the work proposes the option of creating a light three-hull apparatus from available materials. For its implementation, sketches of hull parts are given, taking into account the peculiarities of hydrodynamics of small swimming facilities, and can be implemented without the use of metalworking machines. The presented procedure for the manufacture and assembly of the USV corps allows not only to replicate them by the forces of the student community, but also to complete the product with the necessary sufficiently complex equipment for performing real combat missions. In addition, sufficient attention is paid to the description of the design and features of the system for controlling the direction of movement of the device and sealing the hull in the area of the propeller shaft.

**Key words:** unmanned surface vehicle (USV), autonomous vessel, balsa, radius of action, propeller, buoyancy, deadwood.

**Постановка наукової проблеми.** В даний час для ведення бойових дій на полях російсько-української війни постійно зростає доля автономних керованих систем враження ворога на землі, в повітрі та на воді. Основною метою впровадження таких засобів є виконання бойових завдань із збереженням особового складу збройних сил України (ЗСУ), тому розробка та виготовлення таких дронів є одним з пріоритетних напрямків розвитку ЗСУ.

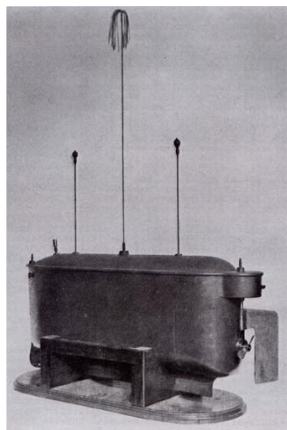


Рис. 1 – Судно Ніколи Тесла

Сучасна військова агресія Росії проти України викликала тенденцію до широкомасштабного використання різноманітних технічних засобів для ведення бойових дій на суші, в повітрі та на морі.

Внаслідок цього значно зросла потреба у фахівцях в галузі розробки, виготовлення та використання таких автономних апаратів, що часто називаються дронами. В збройних силах України навіть створено новий рід віськ - Сили безпілотної системи (СБС), що є відповіддю на сучасні виклики та зміни характеру війни, і які вимагають широкого застосування дронів та роботизованих комплексів. Найбільша увага приділяється повітряній складовій таких систем. Підготовкою фахівців для створення та використання бойових безпілотної системи в морському середовищі активно займаються тільки Служба безпеки України та Головне управління розвідки МО України. Поруч з тим в світі розробкою надводних дронів займається достатня кількість фірм, які зорієнтовані на використання своїх розробок в цивільних цілях. Тому метою дійсної роботи є ознайомлення майбутніх фахівців з сучасними тенденціями в галузі та їх підготовка з метою інтеграції до спільноти СБС ЗСУ.

### Різновиди БНА

Безпілотні надводні апарати відомі з XIX століття. Першим таким винаходом прийнято вважати мініатюрне радіокероване судно, яке розробив та продемонстрував Нікола Тесла, але спроби створення таких засобів пересування по водній поверхні були відомі і до нього, відколи людство зрозуміло важливість опанування світового океану. Гідросфера Земної кулі займає близько 71% поверхні Землі, тому людство з давніх давен опановувало цей безмежний простір навколо себе шляхом розробки та виготовлення різноманітних плавальних засобів для задоволення різноманітних потреб по переміщенню вантажів та людей водним середовищем. Зокрема, військовий час викликав потребу у дистанційній доставці вантажів та військовослужбовців по водних шляхах.

В даний час безекіпажні надводні апарати (БНА) широко використовуються в наукових, військових, розважальних та інших цивільних сферах, що породжує чималий попит, який не можуть покрити комерційні рішення, адже їхня вартість сягає від 10000\$ до 500000\$, що робить їх недоступними або мало доступними для загального використання.

Наразі на ринку існують десятки моделей від різних виробників, наприклад:

Wave Glider компанії Liquid Robotics (рис.2). Його особливість полягає в поєднанні надводного модуля, який рухається по хвилях, і підводного, що за рахунок зміни кута пластин генерує поступальний рух. Така система дозволяє йому працювати без двигунів, використовуючи енергію хвиль, а для живлення електроніки застосовуються сонячні панелі.

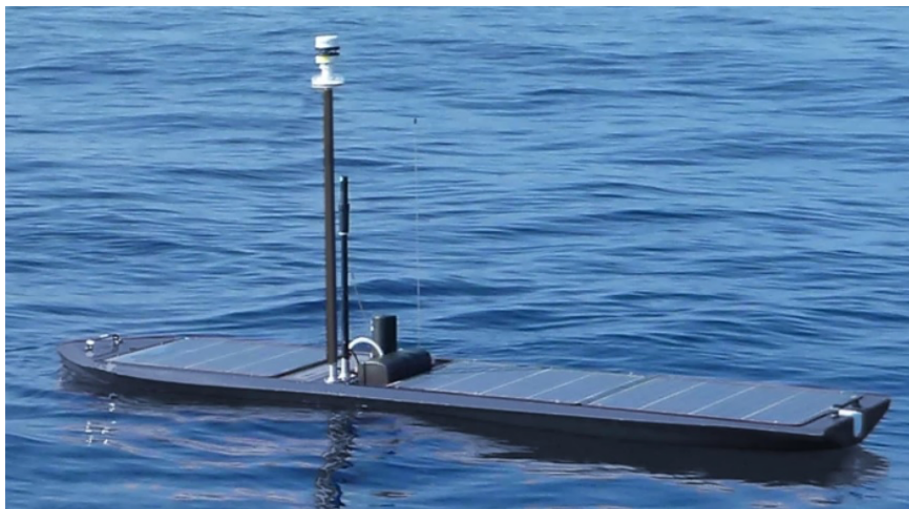


Рис. 2 – Автономний дрон Wave Glider компанії Liquid

Завдяки цьому апарат здатен автономно працювати до року без зовнішнього втручання. Його навантаження може включати широкий набір сенсорів, супутниковий зв'язок, камери, гідрофізичні вимірювачі та інші прилади. Він ідеально підходить для довготривалого моніторингу океанів, екологічних досліджень, військової розвідки або збору метеорологічних даних. При цьому

швидкість його руху досить невелика, у середньому 1,3 вузла, але така автономність робить його незамінним у багатьох наукових та оборонних місіях. [1]

Платформа C-Worker 4 (рис.3) від британської компанії ASV Global [2] розрахована на більш потужні та динамічні завдання. Це автономне судно середнього класу з дизельним двигуном, водометним приводом і міцною алюмінієвою конструкцією.



Рис. 3 – Платформа C-Worker 4

Його швидкість може досягати 6 вузлів, а час безперервної роботи складає до 48 годин. Завдяки наявності великої монтажної бази, апарат здатен вміщати професійне гідрографічне обладнання, ехолоти, доплерівські вимірювачі течій, гідроакустичні системи та навіть пасивні акустичні масиви. Його застосовують у морській навігації, обстеженні інфраструктур, картографії дна та нафтогазових розвідках.

Навігаційна система ASView з підтримкою GNSS, радарів і алгоритмів уникнення зіткнень робить його практично повністю автономним у складних умовах. Це судно менше підходить для тривалої присутності в океані, але незамінне у швидкій, точно керованій роботі в прибережній зоні або на ділянках з високою навігаційною складністю.

Китайська компанія OceanAlpha пропонує широку лінійку БНА, що охоплює як компактні, легкі платформи для інспекцій, так і великі апарати для комплексного гідрологічного моніторингу. Найбільш відомі їхні моделі мають автономність від 6 до 10 годин, швидкість до 10 вузлів і оснащуються системами глибокого сканування дна, камерами з передачею відео у реальному часі, GPS-навігацією та функціями автоматичного повернення. Їхні корпуси, як правило, виконані з легких композитів, що дозволяє зменшити витрати пального або енергії.

Апаратами OceanAlpha активно користуються в дослідженнях, екологічному моніторингу, охороні водойм та в сфері безпеки [4].

Seafloor Systems зі США орієнтується на створення компактних рішень, зокрема EchoBoat (Рис.4). Це невелике судно, яке можна транспортувати навіть легковим автомобілем, з електроприводом, модульною конструкцією, простим запуском і обслуговуванням [3].



Рис. 4 – Безекіпажний надводний апарат EchoBoat -240

Воно оснащується ехолотами, автопілотом, GPS і є оптимальним вибором для обстеження внутрішніх водойм, портів, дамб, ставків і річок. Хоча автономність EchoBoat складає лише близько 6 годин, цього цілком достатньо для невеликих завдань на точність та мобільність. Його головною перевагою є простота, компактність та швидке розгортання в польових умовах. Очікується, що в найближчі 5-10 років БНА стануть важливим елементом інтегрованих систем спостереження, охорони довкілля та логістики, для цього потрібно здешевити та спростити їхню розробку, щоб зробити більш привабливими для державних та цивільних структур. У цьому контексті відкриті та прості платформи, зокрема Arduino, відіграють ключову роль у демократизації доступу до таких технологій. Вони дозволяють створити власні прототипи, протестувати ідеї та навчити нове покоління інженерів працювати з реальними автономними системами.

Найбільш відомими представниками БНА сьогодні є marine-drone-sea-baby [5]. Морський дрон Sea Baby (рис. 5) - це система з великою кількістю функцій, на якій може розміщуватись така різноманітна зброя: літаючі дрони, ракетні системи залпового вогню та крупнокаліберні кулемети. Наприклад, українська інновація із встановленням ракетної системи залпового вогню (РСЗВ) "Град" на морський дрон – перша в світовій історії.



Рис.5 – Морський дрон Sea Baby

Дрон здатен виконувати не лише атаки морських цілей, а й дистанційне мінування та удари по берегових об'єктах. В даний час Sea Baby володіє наступними технічними параметрами:

- корисне навантаження: до 1000 кг (паливе разом з вибухівкою у потрібних пропорціях);
- радіус дії сягає понад 1000 км;
- максимальна швидкість руху дрону може досягати 90 км/год;
- засоби вогневого враження: можливість оснащення реактивними системами залпового вогню та великокаліберними кулеметами;
- модифікація конструкції, що дозволяє адаптувати дрон до різних бойових завдань.

Корпус дрона Sea Baby виготовлений із спеціальних композитних матеріалів, що зменшують його радіолокаційну помітність. Саме завдяки цій особливості вказаний морський дрон залишається непомітним для ворожих радарів, ефективно проникає в охоронювані акваторії та непомітно підходить до своїх цілей.

Вартість одного дрона Sea Baby складає приблизно 8,5 млн грн, що у сотні разів менше за вартість кораблів Чорноморського флоту, які він знищив. Наприклад, патрульний корабель "Павел Державін", який Малюк вивів зі строю, оцінюється у 65 млн доларів.

Дрон Magura V7 (рис.6) відноситься до класу багатоцільових надводних безпілотних апаратів, розроблений для виконання різноманітних бойових завдань, зокрема, спостереження, розвідки, патрулювання, пошуково-рятувальних операцій, протимінної боротьби та інших бойових місій [6]. Дрон має наступні технічні характеристики.



Рис.6 – Морський дрон Magura V7

Таблиця 1. Технічні характеристики морського дрону Магура V7.

| Характеристика          | Magura V7                                      |
|-------------------------|------------------------------------------------|
| Довжина                 | 7,2 м                                          |
| Корисне навантаження    | 650 кг                                         |
| Бойова частина          | Безпілотники та ракетне озброєння.             |
| Максимальний радіус дії | до 540 морських миль                           |
| Максимальна швидкість   | 39 вузлів                                      |
| Двигун                  | 270 к.с; дизельний                             |
| Озброєння               | Протиповітряна ракета <a href="#">AIM-9M/X</a> |

Його часто використовують для атак на російські кораблі в Чорному морі

#### Основні компоненти та технології БНА

Сучасні безпілотні надводні апарати являють собою сукупність різних систем, поєднання яких створює основу БНА. Зокрема в них поєднуються механічна складова, електроніка, програмне забезпечення та зв'язок. Створення працездатної моделі БНА вимагає ретельного підбору не тільки електронних модулів, а й елементів корпусу, матеріалів корпусу, методів гідроізоляції всього електронного обладнання. Для створення таких систем потрібно перш за все обрати ту програмно-апаратну платформу, яка зможе не тільки керувати окремими модулями, а й збирати та обробляти інформацію. Гарним варіантом є платформа Arduino [7].

Arduino популярна платформа для створення прототипів електронних пристроїв. У контексті БНА вона використовується як головний контролер для обробки даних з датчиків, керування виконавчими механізмами (двигунами, сервоприводами) та організації зв'язку з оператором або іншими системами [8].

Важливою складовою таких систем є підсистеми керування, навігації, передачі даних та орієнтації, для чого використовують різноманітні GPS-модулі (наприклад Neo 6M), модулі зв'язку (зазвичай на частоті 2,4 ГГц для простих команд керування та 5 ГГц для передачі фото/відео), компаси, гіроскопи та акселерометри. Ці системи можна інтегрувати в систему керування та навіть забезпечити автономне керування за заданим маршрутом без участі оператора та при зміні умов навколишнього середовища.

Також для побудови БНА необхідно обрати рушії та засоби реалізації пристроїв керування напрямком руху. Для приведення в рух судна вибирають гребний гвинт та двигуни постійного струму, безколекторні двигуни, які широко розповсюджені для виготовлення дронів будь-якого типу.

Для зміни напрямків руху в рульовій системі найчастіше використовуються сервоприводи, більшість з них є доволі дешевими та надійними. В деяких випадках замість цього розробляються системи з двома двигунами та здійснюються повороти судна шляхом короточасного покрокового вмикання чи вимикання того чи іншого двигуна. Це спрощує виробництво і додає більше потужності для судна, що не завжди є плюсом.

У випадку використання електричного двигуна для здійснення руху, що відбувається зазвичай, важливим є забезпечення стабільного енергоживлення. Самим простим та поширеним варіантом є Li-ion-акумулятори, але вони мають чималу вагу і становлять небезпеку при

пошкодженні, що не є гарним вибором для багаторазових та надійних систем. Більш кращими є літій-залізо-фосфатні акумулятори ( $\text{LiFePO}_4$ ), котрі мають меншу вагу та більшу струмовіддачу. Поширеною практикою є встановлення і сонячних панелей, особливо для автономних систем, які виконують тривалі завдання без втручання людини.

Важливою умовою для роботи БНА є захист від потрапляння вологи та водонепроникність. Оскільки ці системи працюють у водному середовищі, всі компоненти електронної частини повинні бути захищеними від води, для чого використовують різні силіконові ущільнювачі, герметики, лаки та епоксидні смоли. Також всі роз'єми та з'єднувачі повинні мати ступінь захисту від вологи IP67 і вище. Краще уникнути використання роз'ємів та всі електричні з'єднання здійснювати безпосередньо пайкою, що дасть змогу ідеально загерметизувати всю апаратну частину.

Для прикладу схема електрична структурна БНА, яка розповсюджена і для інших типів дронів, може бути побудована у відповідності до схеми (рис.7).



Рис. 7 – Типова схема електрична структурна БНА

Пульт керування за допомогою кнопок, джойстиків, перемакачів, потенціометрів, різних давачів та інших органів керування формує керуючі сигнали, котрі по радіоканалу надходять до приймача. Передавач пульта керування оцифровує інформацію з елементів вводу і відправляє її на приймач, основна функція якого надіслати розпізнану команду до необхідного модуля, що приєднаний до цього каналу. Це може бути сервопривод, що керує рулем чи ESC (англ. ESC, Electronic Speed Controller – електронний регулятор обертів) що керує обертами двигуна. Живиться система від електричного акумулятора, зазвичай це 3S-4S LiPo акумулятор. Акумулятор напряду під'єднаний до регулятора обертів, котрий містить стабілізатор із виходом 5 вольт для живлення приймача та інших компонентів. [8]

#### Основи гідродинаміки безекіпажного надводного апарата

При розробці БНА необхідно брати до уваги чималу кількість різних факторів водного середовища, які суттєво впливають на поведінку та властивості надводних апаратів у відповідності із законами гідродинаміки і пов'язані з впливом води на корпус, лобовим опором, хвильовими коливаннями, розташуванням центру мас, заглибленням корпусу плавального засобу і т.ін. [1].

Одним з ключових факторів гідродинаміки є форма корпусу, адже від неї безпосередньо залежить, з яким опором вода взаємодітиме із судном (рис. 8).

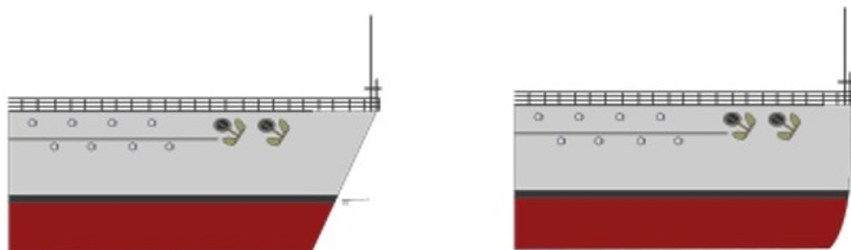


Рис. 8 – Різновиди носових частин корпусу судна

Найбільш поширеною формою корпусу є звужена обтічна конструкція із загостреним носом і розширеною кормою. Така форма гарантує зменшений лобовий опір, що як лезо буде розрізати водне середовище. В протилежному варіанті, коли корпус має тупу передню частину, вода створює значне гальмування, що призводить до зниження швидкості та збільшення енерговитрат, але

забезпечує більшу міцність та вантажопід'ємність. У конструкції невеликого безекіпажного катера, де потужність джерела живлення зазвичай обмежена, це є критично важливим аргументом на користь загостреного клиноподібного корпусу БНА.

Ще одним важливим фактором гідродинаміки БНА є принцип виникнення підйомної сили. Вода, на відміну від повітря, характеризується високою щільністю, через що рух судна вимагає значних витрат енергії для подолання опору водного середовища. Однак при досягненні певної критичної швидкості корпус катера частково виходить із води, переходячи з режиму звичайного плавання у режим глісування. Глісування — це особливий режим руху, за якого площа контакту корпусу з водною поверхнею значно зменшується. В результаті цього суттєво знижується гідродинамічний опір та зменшуються енергетичні витрати на рух апарата. Для забезпечення глісування необхідною є не тільки правильно спроектована обтічна форма днища катера, але й наявність достатньо потужного двигуна. Надто важкий або неправильно збалансований апарат не зможе перейти у глісуючий режим. Також важливим фактором є відсутність значної парусності корпусу, оскільки це може призвести до нестабільності судна на воді, втрати керованості і навіть перекидання в умовах високих швидкостей або сильного вітру.

Окрему увагу треба приділяти питанню розміщення центру ваги. Неправильно зосереджена маса, наприклад, якщо важкий акумулятор чи інша електроніка розташовані надто близько до носа або корми, може призвести до порушення балансу. Це проявляється в надмірному зануренні носа або підйомі корми під час руху, що збільшує опір воді й робить апарат нестійким. Для безпілотного катера, в котрого відсутній оператор для швидкої корекції курсу, це може призвести до втрати керованості або навіть до перевертання. При нестачі знань для розрахунку балансу варто розміщувати елементи в геометричній середині судна, якщо воно має класичну кораблеподібну форму.

Також варто враховувати хвильовий опір. Зі збільшенням швидкості амплітуда таких хвиль зростає, і, якщо не передбачити правильну геометрію носа, апарат буде змушений постійно «підстрибувати» на воді, що зменшить ефективність руху, збільшить ризик виходу з ладу електромеханічних модулів та знизить комфорт навіть для відеоспостереження з камери. Подібні коливання можуть негативно вплинути й на електроніку, якщо не передбачена достатня демпфуюча чи антивібраційна система кріплення.

Глибина занурення корпусу також має велике значення. Якщо катер занадто глибоко занурений у воду, він створює більший опір в напрямку руху і матиме меншу швидкість реакції на зміну курсу. Це також може призвести до пошкоджень. Якщо ж він надто легкий чи плаский, збільшується парусність, і він стає нестійким при боковому вітрі чи зустрічних хвилях та може навіть перевернутися на них. Ідеальним вважається такий баланс, при якому корпус занурений у воду приблизно на 30-50% висоти борта, це забезпечить гарне співвідношення швидкості та стійкості на воді.

Ширина корпусу відіграє також важливу роль для забезпечення стійкості БНА при русі у водному середовищі. Надто вузький корпус хоч і матиме менший опір воді, більшу енергоефективність та швидкість, проте він менш стійкий при бортовій качці, особливо в умовах хвиль чи поворотів. Ширший корпус забезпечує більшу поперечну стійкість відповідно і більше тертя, тому для моделі безекіпажного катера доцільно застосовувати помірно широку основу або навіть катамаранну схему (з двома або трьома паралельними корпусами), що дає змогу зменшити глибину осадки та поліпшити плавучість.

Не менш важливо взяти до уваги матеріал, з якого виготовляється корпус. Матеріали з високою щільністю, як метал або різні щільні пластики, збільшують масу, що може потребувати використання потужніших двигунів і більших акумуляторів, що може ще збільшити і так не малу вагу. З іншого боку, матеріали на основі пінопласту, легких композитів дають перевагу в енергоефективності, проте вимагають додаткового підсилення для збільшення жорсткості корпусу. Гарним варіантом є використання деревини. В залежності від сорту вона може мати посередні показники міцності, але для використання на воді потрібно додатково промашувати або пропитувати деревину водостійкими матеріалами.

#### **Корпус БНА.**

Корпус БНА виготовлений з бальсової деревини товщиною 3 мм, яка є найлегшою відомою деревиною, що майже у 8 разів легше деревини сосни.

Для реалізації БНА обрано тип корпусу тримаран, який складається з трьох складових: основний корпус (Вака), який забезпечує основну плавучість та стабільність БНА, та два бокових

корпуса-аутригера (Ака), що кріпляться до основного корпусу за допомогою бокових балок. Прототип корпусу БНА представлений на рисунку 9, де наглядно представлено спосіб з'єднання основного корпусу та аутригерів за допомогою бокових балок.



Рис. 9 – Прототип корпусу тримарана

На рис.10 представлено ескізи шаблонів для виготовлення основного корпусу БНА: 1 – верхня палуба, 2 – бокова дошка (борт).

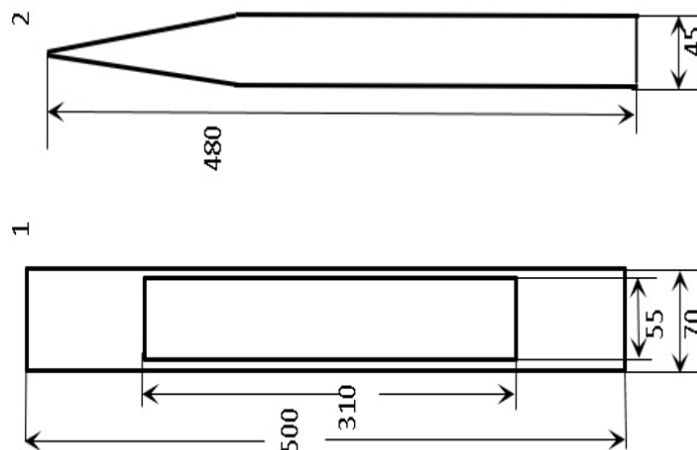


Рис.10 – Шаблиони корпусу БНА

За розмірами деталі 1 виготовляється одна дошка без отвору всередині – днище майбутнього БНА. Друга деталь 1 виготовляється з прямокутним вирізом  $310 \times 55$  мм для встановлення і монтажу обладнання. Разом з двома боковинами 2 вони утворюють основний корпус БНА, який треба зібрати, зачистити та покрити вологозахисною фарбою. На рис.11. представлено ескізи шаблонів для виготовлення прототипів аутригерів тримарана.

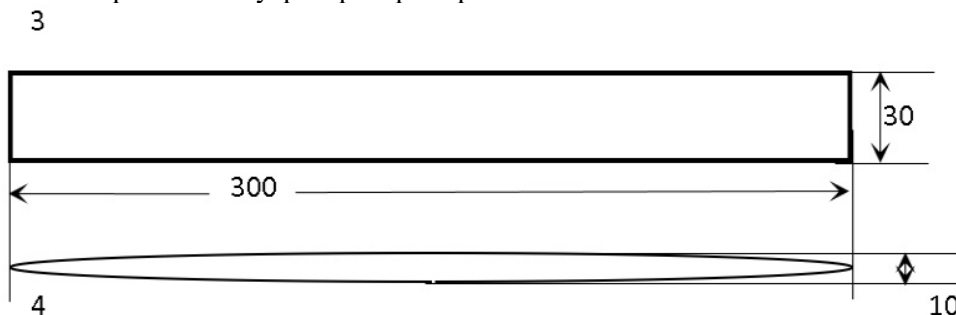


Рис.11 – Шаблиони аутригерів тримарана

Для двох аутригерів треба виготовити 4 дошки по шаблону 3 та 4 дошки по шаблону 4.

Дві паралельно розташовані планки 4 аутригерів закріпити між боковинами 3 за допомогою водонепроникного клею утворюючи водонепроникний поплавок прямокутного поперечного перерізу. Один та другий поплавок кріпляться до основного корпусу тримарана як показано на рис.9 утворюючи єдину трьохкорпусну конструкцію БНА

До основних конструктивних елементів БНА відносяться також поворотний руль і гвинтовий рушій, які призначені для приведення БНА в рух в заданому напрямку.

#### **Силова установка БНА.**

Так як корпус дуже легкий та стійкий, а двигун здатен видати до 2380 обертів на хвилину дуже важливим аспектом є точність керування. Задля цього поворотний руль розміщується відразу за гребним гвинтом за класичною схемою (рис.12) [10].

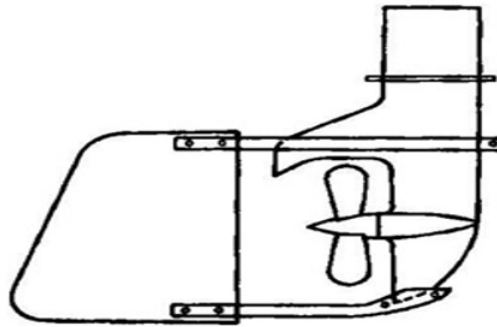


Рис. 12 – Вигляд рульового пристрою

Для забезпечення гідроізоляції корпусу необхідно використати дейдвуд, зовнішній вигляд якого представлений на рис.13.



Рис. 13 –Зовнішній вигляд дейдвуда

Дейдвудом називають спеціальний пристрій для герметичного виведення гребних валів назовні, котрий являє собою трубку з підшипниками та гідроізоляційними сальниками [9]. Найчастіше дейдвуд поставляється з готовими зажимами для коаксіального з'єднання валу двигуна та валу дейдвуда. Поворотний руль керується за допомогою сервопривода та розробленої системи тяг, до плеча сервопривода приєднаний сталевий прутик товщиною 1,2 мм, інша сторона прутика приєднана до руля, при русі джойстика по певній вісі на передавачі - рухається сервопривод, а той в свою чергу приводить в рух руль в необхідному для оператора напрямку, кут відхилення руля залежить від позиції джойстика. Керування двигуном здійснюється за таким самим принципом, кількість обертів залежить від позиції джойстика, використання аналогових джойстиків сильно пом'якшує керування, робить його зручнішим та простішим для оператора.

#### **Виготовлення моделі БНА**

Виготовлення корпусу моделі БНА слід розпочати із збирання центрального корпусу, для якого був обраний найлегший вид матеріалу. Корпус виготовляється без верхньої пластини, що дає змогу в подальшому зручніше встановлювати апаратну частину і виконувати налаштування.

З'єднання деталей корпусу відбувається за допомогою професійного столярного клею. Бальса відносно пористий матеріал та легко приймає в свою структуру різні пропитки та клеї. Таким чином

подібне з'єднання стає надміцним та герметичним, а також легким, що є важливим при конструюванні судна такого розміру.

Наступним етапом є розмітка та свердління отворів під дейдвуд, кріплення бокових підтримок та рульового пера. Також виконується отвір під тягу руля. При свердлінні бальси варто враховувати її низьку твердість, щоб не допустити локальних заминів або сколів, що може вплинути на загальну міцність з'єднання в цьому місці. Після виконання отворів у відведених місцях слід виготовити бокові аутригери. З основним корпусом вони з'єднуються за допомогою круглого дерев'яного профілю з бальси вищої міцності, вона все ще легша за будь-яке дерево, проте має вищу пружність, що забезпечує достатню амортизацію судна на хвилях.

З'єднання основного корпусу та аутригерів за допомогою бокових балок виконується також столярним клеєм, який забезпечує міцне з'єднання та герметизацію місця склеювання. Після з'єднання варто знайти центр маси корпусу, щоб зрозуміти, де необхідно розмістити внутрішнє обладнання за вагою. Дейдвуд з двигуном та сервоприводом рекомендується розмістити в задній частині, апаратуру дистанційного керування ближче до центру, а акумулятор в носовій частині для створення рівноваги між двигуном та дейдвудом.

Після розміщення та налаштування всіх компонентів основного корпусу виготовляється, встановлюється та закріплюється верхня кришка корпусу. Можливість відкривати її дає доступ до всіх агрегатів для подальшого обслуговування чи заміни.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень створено макет безпілотного надводного апарату у вигляді тримарану з бальсових дощок, що дозволило розробити максимально легкий та технологічний корпус для розміщення електромеханічного обладнання дрону та його системи керування. Коротко представлена технологія виготовлення надводного апарату для виконання завдань дистанційної доставки вантажів або засобів ураження до місця призначення в складних умовах військового часу.

#### Список використаних джерел

1. Liquid Robotics : веб-сайт. URL: <https://www.liquid-robotics.com> (дата звернення: 08.09.2025).
2. C-Worker 4 ASV : веб-сайт. URL: <https://www.l3harris.com/all-capabilities/c-worker-4-asv> (дата звернення: 08.09.2025).
3. Echoboat-160 : веб-сайт. URL: <https://www.seafloorsystems.com/echoboat-160> (дата звернення: 08.09.2025).
4. Ігнатенко С. Г., Коломієць Л. А. Безекіпажні морські апарати: класифікація, принципи дії та перспективи застосування. Військово-технічний збірник. 2021. № 2. С. 14–21.
5. Морський дрон Sea Baby : веб-сайт. URL: <https://azov.one/blog/drones/marine-drone-sea-baby> (дата звернення: 08.09.2025).
6. Дрон Magura V7 : веб-сайт. URL: <https://nv.ua/ukraine/events/dron-magura-v7> (дата звернення: 08.09.2025).
7. Arduino IDE official documentation : веб-сайт. URL: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2> (дата звернення: 08.09.2025).
8. Servo Motor Basics. Adafruit Learning System : веб-сайт. URL: <https://learn.adafruit.com/servo-motors> (дата звернення: 08.09.2025).
9. Дейдвудний пристрій : веб-сайт. URL: <https://surl.lu/sjvrtj> (дата звернення: 08.09.2025).
10. Системи керування човном. UA-Lodki.com : веб-сайт. URL: <https://ua-lodki.com/ua/g18218331-sistemy-upravleniya-lodkoj> (дата звернення: 08.09.2025).

#### References

1. Liquid Robotics. Website. URL: <https://www.liquid-robotics.com> (accessed: 08.09.2025).
2. C-Worker 4 ASV. Website. URL: <https://www.l3harris.com/all-capabilities/c-worker-4-asv> (accessed: 08.09.2025).
3. Echoboat-160. Website. URL: <https://www.seafloorsystems.com/echoboat-160> (accessed: 08.09.2025).
4. Ihnatenko, S. H., Kolomiets, L. A. (2021). Bezekipazhni morskii aparaty: klasyfikatsiia, pryntsyipy dii ta perspektyvy zastosuvannia. Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk, 2, 14–21.
5. Morskyi dron Sea Baby. Website. URL: <https://azov.one/blog/drones/marine-drone-sea-baby> (accessed: 08.09.2025).
6. Dron Magura V7. Website. URL: <https://nv.ua/ukraine/events/dron-magura-v7> (accessed: 08.09.2025).
7. Arduino IDE official documentation. Website. URL: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2> (accessed: 08.09.2025).
8. Servo Motor Basics. Adafruit Learning System. Website. URL: <https://learn.adafruit.com/servo-motors> (accessed: 08.09.2025).
9. Deidvudnyi prystroi. Website. URL: <https://surl.lu/sjvrtj> (accessed: 08.09.2025).
10. Systemy keruvannia chovnom. UA-Lodki.com. Website. URL: <https://ua-lodki.com/ua/g18218331-sistemy-upravleniya-lodkoj> (accessed: 08.09.2025).