

AUTONOMOUS SURFACE AUXILIARY VESSELS: ADVANTAGES AND PROBLEMS

АВТОНОМНІ НАДВОДНІ ДОПОМІЖНІ СУДНА: ПЕРЕВАГИ ТА ПРОБЛЕМИ

O. Volkov, PhD, assistant professor

О. М. Волков, к.т.н., доцент

National University «Odesa maritime academy», Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

With the continuous progress of modern science and technology and the increasing requirements for marine transport in various fields, the intelligence and automation of ships has become a general trend. Autonomous unmanned surface vessel (UASV) control generally includes UASV trajectory planning, path tracking control, and autonomous collision avoidance control. Due to their low cost, small size, fast action, reconnaissance capabilities and other advantages, BPNS play a very important role in everyday life, emergency response and scientific research. UASV, as a rule, consist of a platform and a payload system. But in the whole process of UASV navigation, autonomous mooring is also an important part. And there are fewer studies on the automatic mooring algorithm of UASV. The advanced technology of autonomous mooring of BPNS can effectively reduce the cost of human, material and financial resources, while reducing the accident rate in a reasonable and safe manner. Therefore, it is very important to comprehensively promote the development of autonomous navigation and mooring technology of UASV.

Keywords: Autonomous unmanned surface vessel (UASV), autonomous mooring.

АНОТАЦІЯ

З безперервним прогресом сучасної науки і техніки та зростаючими вимогами до морських транспортних засобів у різних областях інтелект і автоматизація суден стали загальною тенденцією. Автономне керування безпілотним надводним судном (БПНС) загалом охоплює планування траєкторії БПНС, керування відстеженням шляху та автономне керування уникненням зіткнень. Завдяки низькій вартості, невеликим розмірам, швидкій дії, розвідувальним можливостям та іншим перевагам, БПНС відіграють дуже важливу роль у повсякденному житті, реагуванні на надзвичайні ситуації та наукових дослідженнях. БПНС, як правило, складаються з платформи і системи корисного навантаження. Але в усьому процесі навігації БПНС автономна швартовка також є важливою частиною. А досліджень щодо алгоритму автоматичного швартування БПНС менше. Досконала технологія автономної швартовки БПНС може ефективно зменшити витрати на людські, матеріальні та фінансові ресурси, одночасно зменшуючи рівень аварій розумно та безпечно. Тому дуже важливо всебічно сприяти розвитку технології автономної швартовки та керуванню БПНС.

Ключові слова: Автономне безпілотне надводне судно (БПНС), автономна швартовка.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Безпілотний надводний апарат, безпілотне надводне судно або надводне судно без екіпажу (БПНС), яке в розмовній мові називають безпілотним човном, безпілотним кораблем або морським дроном, - це човен або корабель, який працює на поверхні води без екіпажу.

БПНС працюють з різними рівнями автономності, від дистанційного керування до повністю автономних надводних транспортних засобів. Він може використовуватися в таких цивільних сферах, як моніторинг навколишнього середовища, пошук і порятунок, гідрологічна розвідка, а також збір розвідувальних даних, регіональна інспекція, розмінування, протичовнова боротьба та інші військові галузі. З розвитком розвідки висувуються більш високі вимоги до "автономності" БПНС, а технологія автономного причалювання БПНС є важливою ланкою для реалізації справжньої "безпілотності" БПНС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Підводні апарати використовувалися у військових цілях ще у 1920-х роках як дистанційно керовані кораблі-мішені, після розробки "DCB" у Першій світовій війні. До Другої світової війни вони також використовувались як мінні тральщики. У двадцять першому столітті вони набувають дедалі ширшого застосування в різних сферах, включаючи океанографію і моніторинг довкілля, а також вантажні перевезення і військове застосування. Також досліджуються різні інші сфери застосування. Деякі комерційні БПНС можуть використовувати навігацію, сумісну з COLREG. У жовтні 2022 року під час російського вторгнення в Україну Збройні сили України використали 7 БПНС і 8 БПНС в атаці на кілька російських військово-морських суден на Севастопольській військово-морській базі. За даними Naval News, це перше застосування безпілотних надводних апаратів у морській війні[1].

Міжнародна морська організація (ІМО) та інтелектуальні судноплавні компанії провели деякі дослідження щодо функції автономного причалювання USV. У 2018 році ІМО розділила рівень автономності суден на 4 класи; четвертий клас - це повністю автономне судно, яке може здійснювати автономну навігацію від берега до берега в повністю безпілотних умовах, включаючи автономне управління причалом. Того ж року пором норвезького оператора Norled "Folgefonn" став першим у світі поромом, оснащеним автоматичною системою швартування, яка була протестована під час декількох зупинок під час кругового рейсу до порту. Під час випробування капітан не виконував жодних операцій ручного управління. Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK), NYK Group компаній MTI Co. Ltd. та Japan Marine Science Inc (JMS) спільно розробили систему для допомоги суднам при швартуванні у 2019 році; у травні того ж року в Циндао було спущено на воду перше в Китаї експериментальне судно з безпіотною автономною навігаційною системою - "Житенг"; судно протестувало дистанційне керування та автоматичне швартування та інші функції; У 2020 році дослідники з Лабораторії комп'ютерних наук і штучного інтелекту (CSAIL) Массачусетського технологічного інституту (MIT) заявили, що створили безпілотний човен, який може пересуватися автономно, перевозити пасажирів через річку та керувати причалюванням, розпізнаючи QR-коди на березі; того ж року південнокорейський проєкт KASS провів тестування та оцінку автономних кораблів. У 2021 році компанія Ouka Smart Hublot також провела дослідження з метою модернізації свого обладнання, що дозволило USV автоматично швартуватися за допомогою автоматичного магнітного всмоктування. У січні 2022 року ВМС США провели випробування автономного причалювання та підйому з води підводного апарату Explorer у Перській затоці. Того ж місяця проєкт MEGURI2040, підтриманий Nippon Foundation, завершив своє перше демонстраційне випробування, успішно провівши першу в світі демонстрацію автономної навігації невеликого екскурсійного човна на острові Сапу, Йокосука. У червні 2022 року перший повністю вітчизняний 100-тонний БПНС успішно завершив свій перший автономний рейс в морі у водах Чжецзян[2].

З теоретичної точки зору, у 2011 році Van Phuoc Vui та ін. використовували автономні буксири для навігації до причалу; у 2015 році Mizuno та ін. розробили експерименти, засновані на різноманітних алгоритмах биття в поєднанні з модельним прогностичним управлінням (MPC) для завершення автоматичного причалювання; у червні 2016 року Joohyun Woo та ін. розробили метод векторного планування поля; у 2017 році Park, Joohyun Woo та ін. розробили метод векторного планування причалу. розробили метод планування причалу на основі

векторного поля; У 2017 році Park, Jong-Yong та ін. запропонували систему причалу з причальним канатом на основі конструкції пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) управління. У тому ж році Zhang et al розробили рішення проблеми автономного причалювання на основі штучного потенційного поля; у липні 2020 року Цзя та ін. провели експерименти з навчання даних у системі координат причалу; у жовтні 2020 року Хуан та ін. розробили нечітку систему управління відстеженням шляху причалу на основі нечіткої лінії зітхання (LOS); у 2022 році Ван та ін. запропонували безпілотний метод автономного причалювання човнів на основі виявлення берегової лінії води. З вищезазначених поточних популярних дослідницьких проєктів, дослідження автономного причалювання БПНС мають важливе науково-технічне значення та економічну цінність.

В даний час більшість кораблів потребують ручної допомоги для виходу з доку, наприклад, капітан, який керує яхтою, щоб завершити стоянку в доці, а БПНС потребує ручної допомоги для виходу з берега; БПНС потребує ручної допомоги, щоб прибрати човен на великих кораблях. З розвитком штучного інтелекту, якщо існує система управління, яка може скопіювати або пересадити багатий досвід водіння "старого капітана", управління маневруванням БПНС стане легким; якщо всі БПНС можуть самостійно покинути док, то буде заощаджено багато робочої сили та фінансових ресурсів для експлуатації БПНС. Якщо всі БПНС можуть самостійно покинути док або материнське судно, то "безпілотне" управління буде по-справжньому реалізовано.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ця стаття має на меті проаналізувати основні небезпеки та проблеми, які можуть бути визваними технічними неполадками та вразливістю перед аварійними ситуаціями, які можуть виникнути внаслідок використання автономних суден.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Більшість існуючих БПНС є інтелектуальними платформами, які покладаються на декілька суднових датчиків і здійснюють навігацію на водній поверхні автономно або напівавтономно. Вони оснащені лише веслами, кермом або двома гребними гвинтами, які є типовими системами управління з недостатнім приводом, особливо коли маневри швартування і відшвартування виконуються в портах, де швидкість невелика; втручання зовнішніх сил, таких як вітер, хвилі і течії, відносно збільшені, а переповнене і вузьке портове середовище значно знижує маневреність корпусу, а система управління БПНС демонструє сильні нелінійні характеристики. Для вирішення цих проблем, яких неможливо уникнути при швартуванні БПНС, необхідний набір архітектури з продуманим мисленням, щоб організувати різні функціональні модулі впорядковано і строго для реалізації функції автономного швартування БПНС [3].

Для вирішення проблеми автономного причалювання безпілотних суден у складних умовах навколишнього середовища, для підвищення надійності та практичності всього процесу причалювання безпілотних суден, як правило, використовується класичний цикл управління OODA в якості архітектури системи, який складається з спостереження, судження, рішення та дії. Система швартування БПНС включає ситуаційну обізнаність БПНС, моделювання швартування БПНС, планування маршруту швартування БПНС і управління швартуванням БПНС. Поєднуючи свої функції в тандемі, частини завжди реагують на невідоме середовище, небезпечні ситуації та різні надзвичайні ситуації, виконують моніторинг подій невизначеності, а згодом автономно виконують ієрархію та прийняття рішень, спонукаючи комп'ютер до ручного попередження та втручання людини.

Потім автономне машинне навчання буде здійснюватися шляхом ручного моделювання, ручного прийняття рішень і дистанційного керування всіма системами. БПНС також завжди буде передавати вхідні інструкції на вихід і зворотний зв'язок до системи збору інформації для циклічної обробки з метою отримання оптимального робочого процесу, тобто завершення

автономного причалювання БПНС. Зокрема, обладнання для швартування включає в себе берегове обладнання та обладнання на борту судна. До берегового обладнання відносяться інтелектуальні комп'ютери берегового моніторингу БПНС та обладнання для дистанційного зв'язку. Бортове обладнання включає підсистему автономного керування рухом, навігаційну підсистему, підсистему інтелектуального планування, підсистему обробки звуку та підсистему оптико-візуальної обробки. Система швартування починається з взаємодії людини і комп'ютера, відкриває весь процес швартування і налаштовує програму автопілота; система планування здійснює планування шляху і обхід перешкод на місцевості, аварійне відновлення в непередбачуваних умовах і оновлює інформацію про навколишнє середовище в режимі реального часу; система навігації та інтелектуального управління: здійснює управління швартуванням судна в режимі реального часу, коригує його курс і положення. Система обробки звуку та зображення перетворює виявлену звукову та графічну інформацію, а потім отримує необхідну інформацію. Після перетворення і отримання необхідної важливої інформації БПНС здійснює навігацію в реальному часі і виконує завдання швартування. У цьому процесі бортове обладнання завжди динамічно збирає аудіо та зображення середовища, в якому знаходиться БПНС, і об'єднує отриману інформацію для безперервного багатоконтурного визначення дій в режимі реального часу, після чого раніше отримана інформація передається в уніфікованому вигляді, щоб представити весь процес руху БПНС на комп'ютері[4].

Регуляторне середовище для операцій з використанням БПНС швидко змінюється в міру розвитку технології і все частіше застосовується в комерційних проектах. Принципи поведінки морських автономних надводних суден у Великобританії та Кодекс практики 2020 (V4) були підготовлені Робочою групою з регулювання морських автономних систем Великобританії (MASRWG) і опубліковані компанією Maritime UK через Товариство морської індустрії. Серед організацій, які зробили свій внесок у розробку Кодексу практики MASS, - Агентство морської та берегової охорони (МСА), Atlas Elektronik UK Ltd, AutoNaut, Fugro, Палата судноплавства Великобританії, UKHO, Trinity House, Морський інститут, Національний океанографічний центр, Dynautics Limited, SEA-KIT International, Sagar Defence Engineering та багато інших.

У липні 2021 року компанія SEA-KIT International стала першим розробником і будівельником БПНС, який отримав сертифікат безпілотних морських систем (UMS) від Lloyd's Register за свій проект 12-метрового БПНС X-класу.

Наприкінці 2017 року Sagar Defence Engineering стала першою компанією в Індії, яка побудувала і поставила БПНС для урядової організації[5].

Ще наприкінці Другої світової війни дистанційно керовані БПНС використовувалися ВМС США для наведення безпілотників на ціль і мінно-трального пошуку. У двадцять першому столітті прогрес у системах управління і навігаційних технологіях призвів до того, що оператор може дистанційно керувати БПНС з суші або з судна, що знаходиться поблизу: БПНС, які працюють з частково автономним управлінням, і БПНС, які працюють повністю автономно. Сучасні сфери застосування і дослідження БПНС і АППА включають комерційне судноплавство, моніторинг навколишнього середовища і клімату, картографування морського дна, пасажирські пороми, роботизовані дослідження, спостереження, огляд мостів та іншої інфраструктури, військові і військово-морські операції[6].

17 січня 2022 року Soleil вдалося завершити першу повністю автономну морську подорож на кораблі. Демонстрація, побудована компанією МНІ, була проведена у співпраці з поромом Shin Nihonkai Ferry. Під час семигодинної 240-кілометрової подорожі з Шинмодзі на півночі Кюсю до моря Іенада було зафіксовано максимальну швидкість 26 вузлів.

У серпні 2022 року судно MV Mikage компанії Mitsui O.S.K. Lines пододало 161 морську милю за два дні з Цуруги до Сакаї, успішно завершивши перший морський рейс без екіпажу, що включав швартування автономного прибережного контейнеровоза, в рамках дводенного випробування.

Розроблено низку платформ автономності (комп'ютерне програмне забезпечення), пристосованих спеціально для операцій з ПНС. Деякі з них прив'язані до конкретних суден, тоді як інші є гнучкими і можуть бути застосовані до різних конфігурацій корпусу, механічних і електричних систем.

Проектування і будівництво надводних кораблів без екіпажу є складним і відповідальним завданням. Необхідно проаналізувати і реалізувати сотні рішень, пов'язаних з цілями місії, вимогами до навантаження, енергетичним бюджетом, конструкцією корпусу, системами зв'язку, а також контролем і управлінням рушійною установкою. Суднобудівники, які будують судна з екіпажем, часто покладаються на єдиного постачальника силових установок і приладів, які допомагають екіпажу керувати судном. У випадку судна без екіпажу (або частково без екіпажу) будівельнику необхідно замінити елементи людського інтерфейсу на віддалений людський інтерфейс[7].

Таблиця 1. Платформи автономії ПНС

Ім'я	Продавець	Тип	Розгорнуті судна	ПНС на замовлення постачальника	Перетворення на БПНС	COLREGs
ASView	L3Harris	Комерційний	100+	Так	Так	здатний
MOOS	MIT	Відкрите джерело		Немає	Так (відкритий код)	здатний
SDE	Sagar Defense Engineering Private Limited	Комерційний	7	Так	Так	здатний
SM300	Морські машини	Комерційний	7	Немає	Так	здатний
Тайфун	Satfinder	Комерційний	2	Так	Так	здатний

Надводні судна без екіпажу варіюються за розміром від менш ніж 1 метра до 20+ метрів, з водотоннажністю від кількох кілограмів до багатьох тонн, тому рушійні системи охоплюють широкий діапазон рівнів потужності, інтерфейсів і технологій.

Типи інтерфейсів (загалом) у порядку зростання розміру/потужності:

- електронні регулятори швидкості, керовані ШІМ, для простих електродвигунів;
- послідовна шина, з використанням ASCII-кодованих команд;
- послідовна шина з використанням двійкових протоколів;
- аналогові інтерфейси, які можна знайти на багатьох великих суднах;
- власні протоколи CANbus, що використовуються різними виробниками двигунів;
- пропріетарні протоколи CANbus, що використовуються виробниками загальних систем керування двигунами.

Хоча багато з цих протоколів містять вимоги до рушія, більшість з них не повертають жодної інформації про стан. Зворотний зв'язок про досягнуті оберти може надходити від тахоімпульсів або від вбудованих датчиків, які генерують CAN або послідовні дані. Можуть бути встановлені й інші датчики, наприклад, датчики струму на електродвигунах, які можуть показувати потужність, що подається. Безпека є критично важливим питанням, особливо на високих рівнях потужності, але навіть невеликий пропелер може спричинити пошкодження, і система управління повинна бути розроблена з урахуванням цього. Це особливо важливо в протоколах передачі керування для човнів з опціональним екіпажем.

Частою проблемою, з якою стикаються при управлінні БПНС, є досягнення плавного переходу від повного заднього ходу до повного переднього. Екіпажні судна зазвичай мають затримуючу поведінку, з широкою зоною нечутливості навколо положення зупинки. Щоб досягти точного управління диференціальним керуванням, система управління повинна

компенсувати цю зону нечутливості. Двигуни внутрішнього згоряння мають тенденцію рухатися через коробку передач, з неминучим різким перемиканням при вмиканні коробки передач, яке система керування повинна враховувати. Водометні двигуни є винятком, оскільки вони плавно регулюються через нульову точку. Електричні приводи часто мають подібну зону нечутливості, тому знову ж таки, система керування повинна бути спроектована таким чином, щоб зберегти цю поведінку для людини на борту, але згладити її для автоматичного керування, наприклад, для маневрування на низьких швидкостях і динамічного позиціонування.

Підводні апарати цінні в океанографії, оскільки вони більш маневрені, ніж пришвартовані або дрейфуючі метеорологічні буї, але набагато дешевші, ніж еквівалентні метеорологічні судна і дослідницькі судна, і більш гнучкі, ніж комерційні судна, що беруть участь у дослідженнях. Підводні апарати, що використовуються в океанографічних дослідженнях, як правило, живляться і рухаються за рахунок відновлюваних джерел енергії. Наприклад, хвильові планери використовують енергію хвиль для первинного руху, тоді як вітрильники і вітрильні буї використовують вітер. Інші БПНС використовують сонячну енергію для живлення електродвигунів, такі як Data Explorer, продукт компанії Open Ocean Robotics, і Xosean. Океанські підводні апарати, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, мають сонячні батареї для живлення своєї електроніки. Тривалість автономної роботи БПНС на відновлюваних джерелах енергії зазвичай вимірюється місяцями[8].

Станом на 2022 рік БПНС переважно використовуються для моніторингу довкілля і гідрографічної зйомки, і в майбутньому їхнє застосування, ймовірно, зростатиме для моніторингу і спостереження за дуже віддаленими місцями завдяки їхньому потенціалу для міждисциплінарного використання. Низькі операційні витрати є постійним фактором, що сприяє використанню БПНС порівняно з екіпажними суднами. З часом змінюються й інші чинники популярності БПНС, зокрема, зменшення ризику для людей, просторово-часова ефективність, витривалість, точність і доступ до мілководдя.

Підводні апарати з невідновлюваними джерелами енергії є потужним інструментом для використання в комерційній гідрографічній зйомці. Використання малих ГБО паралельно з традиційними суднами як "мультиплікатора сили" може подвоїти покриття зйомки і скоротити час перебування на об'єкті. Цей метод був використаний для дослідження, проведеного в Беринговому морі, біля Аляски; автономний надводний апарат (АПА) ASV Global "C-Worker 5" зібрав 2275 морських миль, що становить 44% від загального обсягу проекту. Це було вперше в індустрії досліджень і дозволило заощадити 25 днів у морі. У 2020 році британський підводний апарат Maxlimer завершив безпілотне обстеження 1000 квадратних кілометрів (390 квадратних миль) морського дна в Атлантичному океані на захід від Ла-Маншу[9].

Вітрильник - це тип безпілотного надводного апарату, що використовується переважно в океанах для збору даних. Вітрильники живляться від вітру та сонця і мають набір наукових датчиків та навігаційних приладів. Вони можуть слідувати за набором дистанційно заданих маршрутних точок. Вітрильник винайшов Річард Дженкінс, британський інженер, засновник і генеральний директор компанії SAILDRONE, Inc. Вітрильники використовуються вченими та дослідницькими організаціями, такими як Національне управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA), для спостереження за морською екосистемою, рибальством та погодою. У січні 2019 року невеликий флот вітрильників був запущений, щоб спробувати здійснити перше автономне навколосвітнє плавання навколо Антарктиди. Один з вітрильників завершив місію, подолавши 12 500 миль (20 100 км) за сім місяців подорожі, зібравши детальний набір даних за допомогою бортових приладів для моніторингу навколишнього середовища.

У серпні 2019 року SD 1021 здійснив найшвидший безпілотний перехід через Атлантику з Бермудських островів до Великої Британії, а в жовтні завершив зворотню подорож, ставши першим автономним апаратом, який перетнув Атлантику в обох напрямках. У 2019 році Вашингтонський університет і компанія SAILDRONE розпочали спільне підприємство під назвою The SAILDRONE Pacific Sentinel Experiment, в рамках якого шість безпілотників розмістили вздовж західного узбережжя США для збору атмосферних і океанічних даних.

Saildrone і NOAA розгорнули п'ять модифікованих суден ураганного класу в ключових точках Атлантичного океану до початку сезону ураганів 2021 року в червні. У вересні SD 1045 був на місці, щоб отримати відео та дані зсередини урагану Сем. Це було перше дослідницьке судно, яке коли-небудь наважувалося потрапити в центр великого урагану.

Військове застосування БПНС включає ураження морських цілей з електроприводом і мінне полювання, а також спостереження і розвідку, ударні операції і заборону доступу до певної території або акваторії[10].

Очікується, що в майбутньому води перетнуть багато безпілотних вантажних суден. У листопаді 2021 року в Норвегії спустили на воду перше автономне вантажне судно MV Yara Birkeland. Очікується, що повністю електричне судно суттєво зменшить потребу в вантажних перевезеннях.

У 2021 році в каналах Амстердама, Нідерланди, з'явилися перші у світі міські автономні судна Roboats. Кораблі, розроблені трьома інституціями, можуть перевозити до п'яти осіб, збирати сміття, доставляти товари, стежити за станом доквілля та забезпечувати "інфраструктуру на вимогу". Безпілотні надводні апарати також можуть допомогти у вирощуванні морських водоростей і знизити операційні витрати.

Основний принцип використання еталонного методу моделі для проектування адаптивного регулятора полягає в тому, що параметри керування модифікуються відповідно до деякого функціонального критерію різниці між фактичним виходом об'єкта керування та виходом еталонної моделі, намагаючись зробити узагальненим помилка між фактичним виходом контрольованого об'єкта та виходом еталонної моделі збігається до нуля, щоб керована система досягла або наближалася до бажаної динамічної поведінки.

Поєднання всіх цих функцій в одному пакеті дає ідеальну систему причалів. Таким чином, майбутні дослідження все ще потребують вивчення здатності покращувати здатність запобігати перешкодам і мати справу з нелінійними проблемами, покращувати стабільність і швидкість при реагуванні на проблеми, бути стійким перед обличчям різних і мінливих динамічних середовищ, повністю відмовитися від участі людини або судна допомоги.

Все ще існує велика різниця між теорією та практикою, фактичне навігаційне середовище складне та мінливе, і існують різні проблеми; існує велика різниця між штучним інтелектом, комп'ютерним програмуванням і інтелектом людського мозку. Тому технологія причалювання БПНС також стикається з багатьма проблемами та можливостями[15].

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

У цій роботі було досліджено важливу та актуальну тему розвитку сучасного морського транспорту та його автоматизації. На основі проведеного аналізу і дослідження літературних джерел та даних можна зробити наступні висновки:

- автономні надводні допоміжні судна представляють інноваційний підхід до оптимізації морських перевезень та забезпечення безпеки на морі. Вони відкривають нові можливості для зменшення витрат та ризиків у галузі морського транспорту.

- перевагами автономних надводних суден є підвищена точність навігації, можливість безперервної роботи, зменшення впливу людського фактора на операції та збільшення транспортної потужності.

- автономність суден вимагає розробки та впровадження нових технологій у галузі морського транспорту, що потребує інвестицій та наукових досліджень. Проблемами можуть бути технічні неполадки та вразливість перед аварійними ситуаціями.

- автономні надводні допоміжні судна мають потенціал зменшити вплив судовласників та операторів на навколишнє середовище через ефективнішу роботу і зменшення викидів.

- для успішного впровадження автономних надводних суден вирішальну роль грають стандартизація, законодавча база, безпека та навчання кадрів у сфері автономних систем.

У цілому, розвиток автономних надводних допоміжних суден є важливим напрямком розвитку сучасного морського транспорту, який може призвести до покращення ефективності,

безпеки та сталості морських перевезень, але вимагає комплексного підходу та вирішення технічних та регуляторних викликів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мазур В. Ю., Боровик О. В. Функціональний аналіз варіантів створення єдиної системи висвітлення надводної обстановки на морській (річковій) ділянці в контексті забезпечення прикордонної безпеки //Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки. – 2017. – №. 4. – С. 158-175.
2. Злобіна О. Перспективні напрямки вдосконалення підготовки майбутніх морських офіцерів у вищих військових навчальних закладах в умовах військових реалій //Вісник Національного університету "Чернігівський колегіум" імені ТГ Шевченка. – 2022. – Т. 174. – №. 18. – С. 60-65.
3. Дубов О. В., Петровський О. Г., Філоненко О. В. Москитний флот Військово-Морських Сил Збройних Сил України: перспективи та реалії //Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технічні науки. – 2017. – №. 2. – С. 117-126.
4. Който Ж. Морські автономні надводні кораблі: Нові можливості та виклики в океанічному праві та політиці // Дослідження міжнародного права. - 2021. - Т. 97. - №. 1. - С. 19.
5. Kim T., Schröder-Hinrichs J. U. Research developments and debates regarding maritime autonomous surface ship: status, challenges and perspectives //New Maritime Business: Uncertainty, Sustainability, Technology and Big Data. – 2021. – С. 175-197.
6. Zhang X. et al. Collision-avoidance navigation systems for Maritime Autonomous Surface Ships: A state of the art survey //Ocean Engineering. – 2021. – Т. 235. – С. 109-380.
7. Бай Х. та ін. Огляд сучасних досліджень і досягнень у галузі безпілотних надводних транспортних засобів // Журнал морської науки і застосування. - 2022. - Т. 21. - №. 2. - С. 47-58.
8. Вагале А. та ін. Планування шляху та уникнення зіткнень для автономних наземних транспортних засобів I: огляд // Журнал морської науки і техніки. - 2021. - С. 1-15.
9. Лю К. та ін. Дослідження людино-машинної взаємодії для навігації морських автономних надводних кораблів: Огляд та розгляд // Інженерія океану. - 2022. - Т. 246. - С. 110-555.
10. Wang L. et al. State-of-the-art research on motion control of maritime autonomous surface ships //Journal of Marine Science and Engineering. – 2019. – Т. 7. – №. 12. – С. 438.
11. Deling W. et al. Marine autonomous surface ship-a great challenge to maritime education and training //American Journal of Water Science and Engineering. – 2020. – Т. 6. – №. 1. – С. 10-16.
12. Kurt I., Aymelek M. Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations //Maritime Economics & Logistics. – 2022. – Т. 24. – №. 2. – С. 302-326.
13. Zanella T. V. The Environmental Impacts of the " Maritime Autonomous Surface Ships"(MASS) //Veredas do Direito. – 2020. – Т. 17. – С. 367.
14. Chang C. H. et al. Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships //Reliability Engineering & System Safety. – 2021. – Т. 207. – С. 107-324.
15. Akdağ M., Solnør P., Johansen T. A. Collaborative collision avoidance for maritime autonomous surface ships: A review //Ocean Engineering. – 2022. – Т. 250. – С. 110

REFERENCES

1. Mazur V. Yu., Borovik O. V. Funktsionalniy analiz variantiv stvorenniya edinoї sistemi visvitlennya nadvodnoї obstanovki na morskoy (richkoviy) dilyantsi v konteksti zabezpechennya prikordonnoї bezpeki //Zbirnik naukovikh prats Natsionalnoї akademii Derzhavnoї prikordonnoї sluzhbi Ukraїni. Ser.: Viyskovi ta tekhnichni nauki. – 2017. – №. 4. – S. 158-175.
2. Zlobina O. Perspektivni napryamki vdoskonalennya pidgotovki maybutnikh morskikh ofitseriv u vishchikh viyskovikh navchalnikh zakladakh v umovakh viyskovikh realiy //Visnik Natsionalnogo universitetu "Chernigivskiy kolegium" imeni TG Shevchenka. – 2022. – T. 174. – №. 18. – S. 60-65.
3. Dubov O. V., Petrovskiy O. G., Filonenko O. V. Moskitniy flot Viyskovo-Morskikh Sil Zbroynikh Sil Ukraїni: perspektivi ta realii //Zbirnik naukovikh prats Viyskovoї akademii (m. Odesa). Tekhnichni nauki. – 2017. – №. 2. – S. 117-126.
4. Koyto Zh. Morski avtonomni nadvodni korabli: Novi mozhlivosti ta vikliki v okeanichnomu pravi ta polititsi // Doslidzhennya mizhnarodnogo prava. - 2021. - T. 97. - №. 1. - S.
5. Kim T., Schröder-Hinrichs J. U. Research developments and debates regarding maritime autonomous surface ship: status, challenges and perspectives //New Maritime Business: Uncertainty, Sustainability, Technology and Big Data. – 2021. – C. 175-197.
6. Zhang X. et al. Collision-avoidance navigation systems for Maritime Autonomous Surface Ships: A state of the art survey //Ocean Engineering. – 2021. – T. 235. – C. 109-380.
7. Bay X. ta in. Oglyad suchasnikh doslidzhen i dosyagnen u galuzi bezpilotnikh nadvodnikh transportnikh zasobiv // Zhurnal morskoї nauki i zastosuvannya. - 2022. - T. 21. - №. 2. - S. 47-58.
8. Vagale A. ta in. Planuvannya shlyakhu ta uniknennya zitknen dlya avtonomnikh nazemnikh transportnikh zasobiv I: oglyad // Zhurnal morskoї nauki i tekhniki. - 2021. - S. 1-15.
9. Lyu K. ta in. Doslidzhennya lyudino-mashinnoї vzaemodii dlya navigatsii morskikh avtonomnikh nadvodnikh korabliv: Oglyad ta rozglyad // Inzheneriya okeanu. - 2022. - T. 246. - S. 110-555.
10. Wang L. et al. State-of-the-art research on motion control of maritime autonomous surface ships //Journal of Marine Science and Engineering. – 2019. – T. 7. – №. 12. – C. 438.
11. Deling W. et al. Marine autonomous surface ship-a great challenge to maritime education and training //American Journal of Water Science and Engineering. – 2020. – T. 6. – №. 1. – C. 10-16.
12. Kurt I., Aymelek M. Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations //Maritime Economics & Logistics. – 2022. – T. 24. – №. 2. – C. 302-326.
13. Zanella T. V. The Environmental Impacts of the " Maritime Autonomous Surface Ships"(MASS) //Veredas do Direito. – 2020. – T. 17. – C. 367.
14. Chang C. H. et al. Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships //Reliability Engineering & System Safety. – 2021. – T. 207. – C. 107-324.
15. Akdağ M., Solnør P., Johansen T. A. Collaborative collision avoidance for maritime autonomous surface ships: A review //Ocean Engineering. – 2022. – T. 250. – C. 110