

Мельник О.М.

Одеський національний морський університет

БЕЗПЛОТНЕ СУДНОПЛАВСТВО ЯК РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ У МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Морський транспорт нещодавно став однією з нових перспективних галузей для застосування та розвитку інформаційних технологій. Причинами були традиційна консервативність галузі, тривалий цикл проектування та експлуатації суден і, що найголовніше, нерозвинена та дорога інфраструктура телекомунікацій, заснована переважно на супутникових технологіях. Передача великих обсягів онлайн стала основним критерієм ефективності бізнесу. Проте бажаного рівня розвитку таких технологій на морському транспорті поки що не досягли проте судноплавство в значній мірі потребує розроблення та впровадження новітніх технологій з метою підвищення ефективності транспортних операцій та забезпечення їх безпеки. Виключення людського фактору з процесів навігації судном обумовила появу автономних суден втім залишається коло невирішених питань у процесі їх експлуатації таких як контроль за визначенням місцеположення, дослідження обмежень та джерел похибок супутникових радіонавігаційних систем, врахування помилкової або невірно інтерпретованої системою інформації та способи і алгоритм її виправлення з метою підвищення точності у позиціонування що у сукупності представляє значний практичний інтерес. У цій статті проведено аналіз розвитку систем безекіпажного судноводіння та шляхи їх імплементації у сферу торговельного судноплавства, а також способи використання технологій для ефективного обміну даними між автономними судном та берегом у рамках єдиної інформаційної мережі, що пов'язує всі елементи системи управління. Розглянуто особливості моніторингу та місцеположення та забезпечення утримання автономного судна на заданому курсі на основі технологій е-навігації.

Ключові слова: автономне судно, безекіпажне судноплавство, інноваційні технології, морський транспорт, точність позиціонування, безпека судноплавства.

Постановка проблеми. Протягом багатьох століть судноплавна індустрія покладалася на знання та досвід мореплавців, які складали екіпажі суден. Однак, сьогодні автономні технології готові перебудувати морський сектор за допомогою безпілотних суден. Невеликі безпілотні судна вже почали експлуатуватися, а технологія для більших суден перебуває на стадії розробки. Настав час морської галузі прийняти автономність і зрозуміти, як вона формуватиме нові підходи до морських транспортних процесів та як краще її використовувати. Поява морських автономних надводних суден, MASS (англ. Maritime Autonomous Surface Ship), безумовно вплине на проектування суден, їх будівництво, портову інфраструктуру, послуги та інтерфейси. Автономність змінить берегові елементи судноплавства, починаючи з портової інфраструктури та обробки вантажів та закінчуючи наземною логістикою та транспортним ланцюжком.

Виклад основного матеріалу. Великий інтерес до концепції автономних надводних суден проявляється з боку міжнародного морського співтовариства. Ряд високовартісних фінансованих

проектів у цьому напрямі було вже реалізовано, деякі продовжують розвиватися у кількох країнах. В авангарді цієї діяльності країни Північної Європи, переважно Фінляндія та Норвегія. Такі компанії, як Ролс-Ройс, Вяртсила, VVT, MUNIN. Неабиякий інтерес виявляють і країни азіатсько-тихоокеанського регіону, які активно задіяні в морському бізнесі, як у суднобудівній галузі так і в комерційній експлуатації флоту. Підвищення інтересу з боку крупних судноплавних компаній та торговельних міжнародних організацій прогнозується у середньостроковій та довгостроковій перспективі. За даними аналітичної компанії BIS Research, що займається аналізом ринку, передбачуваний світовий дохід від ринку автономних суден, що розвивається, складе близько 3,48 млрд доларів США до 2035 року. Більшість з цих ініціатив спрямовано ті види судноплавства, у яких і комерційні та дослідницькі організації бачать найбільшу перспективу.

Очікується, що в майбутньому обсяги морської торгівлі зростатимуть і в подальшому, відповідно зростатиме і кількість суден, необхідних для перевезення вантажів, а також кількість моряків, необ-

хідних для управління суднами. Слід констатувати той факт, що вже зараз світове судноплавство стикається з проблемою нестачі кваліфікованих морських фахівців. В основі цієї проблеми лежить зростаюча непривабливість морських професій, особливо для нових поколінь що певною мірою викликано притаманними мореплавству недоліками а саме відсутність повноцінного спілкування, сім'ї, високий ступень ізоляції від соціального життя, що супроводжує роботу на морському судні, а також всі труднощі побуту та труднощі цієї професії, такі як погодні умови, специфіка часових поясів та інше. Зростаюча в останні роки тенденція до зниження швидкості суден, заснована на екологічних нормах і вимогах, збільшує тривалість рейсів суден, а разом з цим і час, який моряки проводять на борту.

Уряди багатьох країн розуміючи важливість розроблення та впровадження високих технологій все більше інвестують в цільові розробки технологій автономного судноплавства, намагаючись зайняти істотну частку світового ринку таких суден у найближчому майбутньому. Активною мірою розробляються проекти, які передбачають будівництво автономних суден, що відповідають "третьому ступеню" з чотирьох ступенів автономності, визначених Комітетом з безпеки на морі ІМО в ході оцінки нормативних вимог до морських автономних надводних кораблів (МАНС). Наприклад ступінь три описує судно, яке не вимагає екіпажу на борту і керується дистанційно, хоча відзначається той факт, що знаходження моряків може бути потрібне на борту для суто технічних цілей на ранніх стадіях розвитку, що буде ступенем автономії два. Ступінь чотири – це повністю автономне та безпілотне судно, здатне самостійно приймати рішення та визначати порядок та послідовність дій (рис. 1).



Рис. 1. Ступінь автономності суден

Незважаючи на деякі цілком справедливий заперечення, безпілотне автономне судно є виходом із становища, в якому опиниться галузь в найближчій перспективі – дефіцит пропозиції моряків через непривабливість цієї роботи і зростаючий попит на моряків через збільшення обсягів перевезень.

Тому з одного боку, автономне судноплавство може знизити очікуваний тиск на ринок праці моряків, оскільки дозволить принаймні частково зменшити трудомісткість експлуатації судна. З іншого боку, рутинні завдання на борту будуть автоматизовані, і лише складні, але цікаві навігаційні та технічні роботи будуть перенесені з судна до берегового операційного центру, що зробить роботу моряка більш привабливою та ніж сьогодні. Крім того, під час запровадження безпілотного судноплавства очікуються економічні та екологічні вигоди.

Під час експлуатації судна в автономному режимі вкрай важливим є визначення його поточного місцеположення. Сучасні автономні судна оснащуються системами штучного інтелекту для вирішення безлічі завдань управління судном і його обладнанням, у тому числі і вирішення завдань управління (прийняття рішення) за відсутності зв'язку з віддаленим Центром управління і моніторингу. Саме тому навігаційні системи автономного судна мають вирішувати завдання визначення його місцеположення у будь-яких ситуаціях. Для підвищення надійності оцінок точності (визначення) координат автономне судно може оснащуватися комплексом обладнання (технічні засоби оцінки координат – ТЗОК), що дозволяє розраховувати та визначати фізичні координати судна в реальному часі. Таке вимірювальне та обчислювальне обладнання автономного судна використовує технічні системи вимірювання, що ґрунтуються на різних фізичних принципах.

Найбільш поширені методи, засновані на супутникових системах навігації (Global Navigation Satellite System, GNSS). Такі системи, крім оцінки поточних координат судна, дозволяють виміряти швидкість і напрямок (поточний курс) руху судна, що оснащено приймачами сигналу. Системи GNSS містять космічне та наземне обладнання і наземного сегмента (систем управління). Станом на сьогодні чотири супутникові системи забезпечують повне покриття та безперебійну роботу для всієї земної кулі – GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, тому автономне судно одночасно може містити різні системи ТЗОК (рис. 2), за допомогою яких координати судна визначаються:

- методом Доплера за допомогою циклічних вимірювань;
- за допомогою приймачів GNSS;
- методом Доплера на основі траверзного методу.

Безумовно, оцінка поточних координат місця судна за сигналами GNSS дозволяє дати високу точність результату, оскільки сучасні приймачі сигналу

GNSS працюють по всіх доступних супутниках використовуючи метод “All in View” (всі наявні), застосовують автономні алгоритми обробки відбракування сигналів від супутників, які не забезпечують цієї ситуації вимогам заданої точності. Крім того, автономне судно може бути оснащено й іншими не супутниковими системами вимірювання координат в реальному часі. Наприклад, визначення розташування судна може здійснюватися шляхом детектування напрямів приходу сигналів автоматичної ідентифікаційної системи (AIC) від інших джерел таких як суден, буїв, берегових станцій тощо, виділення з цих сигналів інформації про місцезнаходження цих джерел та подальшого вирішення завдання визначення власних координат автономного судна.

Таким чином, на автоматизовану систему керування судном покладається завдання не тільки вимірювання сигналів від різних джерел, але і подальшої їх обробки з метою визначення місцеположення судна в поточному часі. Саме те, що можуть використовуватися різні джерела виміральної інформації, призводить до того, що подальша обробка буде проводитися в різних системах координатних перетворень: а) земна базова система координат; б) пов'язана з корпусом система координат; в) гідродинамічна система координат; г) геометрична система координат. Але остаточне рішення на спосіб вимірювання та подальшу обробку повинен приймати штучний інтелект у разі відсутності зв'язку з Центром управління.

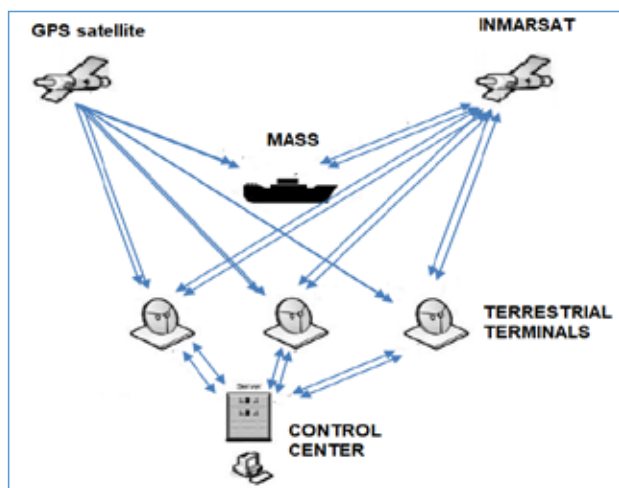


Рис. 2. Алгоритм інформаційного обміну МАНС

Враховуючи те, що перші пілотні проекти безекіпажного судноводіння стали застосовуватися саме у внутрішніх водних басейнах, перешкоди у визначенні місцеположення таких об'єктів у просторі є набагато більшою проблемою на

малих водних шляхах, ніж у відкритому морі. Перешкоди – це спотворення малопотужних сигналів GPS через такі перешкоди, як радіохвилі, лінії стільникового зв'язку, які є глушниками, що використовуються за аналогією з автомобільними антирадарми контролю швидкості. Ненавмисні перешкоди також можуть бути викликані різними пристроями на борту судна, такими як радари, радіостанції, антени та супутникові модеми.

До проблем точності позиціонування суден в процесі автоматизації внутрішнього морського транспорту слід віднести протоки, вузькі внутрішні водні шляхи, системи шлюзів і гавані портів що вимагають від суден граничної точності навігації, іноді залишаючи лише кілька метрів між суднами, що розходяться. Маневри підходу та відходу судна від причалу вимагають особливої уваги з боку віддаленого оператора, який веде моніторинг цього процесу. Для того, щоб правильно оцінити ситуацію і при необхідності дистанційно керувати судном, віддаленому оператору необхідно знати точне положення судна з точністю до метрів. Помилки викликані тим, що сигнали супутників GPS відбиваються від довколишніх структур, таких як стіни шлюзу, мости та їх опори, будівлі та інші судна. Такі перешкоди затримують сигнали GPS і знижують точність та надійність позиціонування судна. Ще одним фактором, що впливає на визначення місця положення автономного судна та його точність, є видимість супутників GPS. Наприклад коли судно опускається в шлюз, стінки шлюзу блокують пряму видимість від судна до супутників GPS, що призводить до втрати інформації для розрахунку місцеположення. Вирішення проблеми позиціонування на сантиметровому рівні може бути досягнуто шляхом отримання поправок сигналу – зазвичай відомих як RTK поправки RTK (Real Time Kinematic) кінематичні виміри, що виконуються у реальному часі. Вони використовуються для додатків, що вимагають високої точності, таких як позиціонування на рівні сантиметрів, з точністю до 1 см від місцевої базової станції або через стільниковий зв'язок. У традиційному RTK з фізичними базовими станціями або віртуальними референсними станціями (VRS – virtual reference stations) поправки надходять як спостережень, у яких всі джерела помилок об'єднуються як частина спостережень. Інші корекції, забезпечують субметрове позиціонування та використовують корекції з геостаціонарних супутників або вбудовані алгоритми зменшення багатопроменевості, що дозволяє виявити та мінімізувати вплив її помилок. Відстеження кількох частот сигналу та

кількох супутникових угруповань ГНСС забезпечує надмірність, завдяки чому судновий приймач ГНСС завжди має достатню кількість вимірювань для визначення точного місця розташування від чотирьох основних супутникових систем позиціонування: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou (рис. 3).



Рис. 3. Рівні точності позиціонування залежно від приймача та поправок, що їм використовуються

Перешкоди, викликані глушінням, знижують точність позиціонування і навіть можуть призвести до втрати сигналів GPS-позиціонування в радіусі сотень метрів навколо джерела перешкод. Коли глушіння викликає випадковий шум у частотному діапазоні GPS, спуфінг замінює інформацію про місцеположення судна, що передається супутниками у вигляді невірної інформації про його положення у просторі. Такий пристрій підміни даних може бути потенційно використано для порушення траєкторії руху судна і зробити його вразливим для крадіжки або навіть захоплення. З метою уникнення таких проявів розробляються і застосовуються алгоритми придумання перешкод, які забезпечують надійне позиціонування в умовах глушіння або спуфінгу. Вони визначають частоту перешкод і блокують при розрахунку позиціонування а графічний аналізатор спектру допомагає оцінити частоту перешкод та визначити джерело перешкод.

Що стосується систем курсовказання автономного судна то завдання визначення його орієнтації може відрізнятись від вектору швидкості через вплив водної течії і вітру. Тому лише за наявності точної інформації про курс віддалений оператор може отримати візуалізацію довжини судна в картографічному програмному забезпеченні. Традиційні рішення на основі магнітного компаса не знайшли ефективного застосування з огляду на їхню чутливість до масивних металевих об'єктів на маршруті переходу, на них можуть впливати шлюзи, мости, а також інші судна, що проходять поруч. Втім існують більш сучасні рішення на основі гірокомпаса що доступні і, як правило, більш надійні, проте їх ціна надмірно висока, і вони є надто дорогим компонентом для невеликих проектів автоматизації

суден. Рішенням є застосування супутникових компасів, де пара антен розміщуються в діаметральній площині на відстані декількох метрів один від одного на борту судна і за допомогою двохчастотного приймача GNSS визначається точна інформація про позиціонування антен, що дає визначення курсового кута з точністю до $0,01^\circ$.

Алгоритм уникнення зіткнень для безпілотної навігації суден зазвичай включає набір правил і процедур, які дозволяють такому судну уникати зіткнень з іншими суднами або перешкодами на своєму шляху. В загальному випадку такий алгоритм може бути наступним:

1. Виявлення перешкод за допомогою датчиків, таких як радар, лідар і камери, далі ця інформація передається в систему запобігання зіткненням.

2. Оцінка ризиків де використовується інформація, зібрана датчиками, для визначення ризику зіткнення з кожною із виявлених перешкод. Оцінка ризику враховує такі фактори, як розмір, швидкість і напрямок руху перешкоди, а також швидкість і напрямок руху самого судна.

3. Корекція курсу яка на основі оцінки ризику рекомендує коригування курсу для уникнення перешкоди. Це може передбачати зміну швидкості або напрямку судна, або і того, і іншого.

4. Прийняття рішення про те, чи прийняти або відхилити рекомендовану корекцію курсу. Якщо судно приймає корекцію курсу, воно виконує необхідні зміни швидкості і напрямку, щоб уникнути перешкоди.

5. Прогнозування зіткнення, коли система безперервно відстежує навколишню обстановку і прогнозує потенційні зіткнення з іншими суднами або перешкодами в майбутньому. Згодом вона рекомендує подальшу корекцію курсу, щоб уникнути цих потенційних зіткнень. Якщо система запобігання зіткненням не може прийняти рішення або ситуація вимагає втручання людини – оператора, щоб він взяв на себе контроль над судном і прийняв необхідні рішення для уникнення зіткнення.

Висновки. Варто підкреслити, що в контексті концепції безекіпажного судноводіння не йдеться про винахід нового підходу або нової сутності перевезення вантажів морем, йдеться про перетворення того функціоналу, який вже притаманний екіпажам морських суден. Процеси судноводіння, технології перевезення вантажів та всі інші функції послідовно виконуються в автоматичному та дистанційному режимах. Завдяки впровадженню автономних суден судноплавні компанії зможуть скоротити операційні витрати

на 15–30%. Це також дозволить покрити дефіцит висококваліфікованих моряків, який зараз досягає 20% від необхідної робочої сили. Застосування математичних моделей для вирішення практичних навігаційних завдань, нових технологій визначення місцеположення і курсовказання і управління рухом автономних суден стає все більш актуальним, в основному завдяки використанню комп'ютерних технологій у суднових навігацій-

них систем. Впровадження інноваційних методів і технологій в процеси управління автономним судном при виконанні ключових суднових операцій, зумовлює також необхідність постійного розроблення нового та удосконалення наявного суднового та берегового обладнання, а також створення основ для розвитку автономного портового флоту та підготовки спеціалістів для експлуатації та управління автономними суднами.

Список літератури:

1. Mingyu & Joung, Tae-Hwan & Jeong, Byongug & Park, Han-Seon. Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*. 2020. 4. 10.1080/25725084.2020.1779427.
2. Pietrzykowski, Zbigniew & Hajduk, Jerzy. Operations of Maritime Autonomous Surface Ships. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2019. 13. P. 725-733. 10.12716/1001.13.04.04.
3. Kurt, Ismail & Aymelek, Murat. Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations. *Maritime Economics & Logistics*. 2022. 24. 10.1057/s41278-022-00213-1.
4. Kim, Tae-eun & Perera, Lokukaluge & Sollid, Magne-Petter & Batalden, Bjørn-Morten & Sydnese, Are. Safety challenges related to autonomous ships in mixed navigational environments. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2022. 10.1007/s13437-022-00277-z.
5. Kim, Tae-eun & Mallam, Steven. A Delphi-AHP study on STCW leadership competence in the age of autonomous maritime operations. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2020. 19. P. 163–181. 10.1007/s13437-020-00203-1.
6. Størkersen, Kristine. Safety management in remotely controlled vessel operations. *Marine Policy*. 2020. 130. 104349. 10.1016/j.marpol.2020.104349.
7. Bogusławski, Krzysztof & Gil, Mateusz & Nasur, Jan & Wróbel, Krzysztof. Implications of autonomous shipping for maritime education and training: the cadet's perspective. *Maritime Economics & Logistics*. 2022. 24. 10.1057/s41278-022-00217-x.
8. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Voloshyn, A. Maritime situational awareness as a key measure for safe ship operation. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022. 114, P. 91-101. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8>.
9. Onishchenko, Oleg & Shumilova, Kateryna & Volyansky, S. & Volyanskaya, Y. & Volianskyi, Y. Ensuring Cyber Resilience of Ship Information Systems. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2022. 16. P. 43-50. 10.12716/1001.16.01.04.
10. Golikov, V. & Golikov, V. & Volyanskaya, Ya & Mazur, Oksana & Onishchenko, Oleg. A simple technique for identifying vessel model parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. 172. 012010. 10.1088/1755-1315/172/1/012010.
11. Kooij, Carmen & Colling, Alina & Benson, C. When will autonomous ships arrive? A technological forecasting perspective. 2018. 10.24868/issn.2515-818X.2018.016.
12. IMO MSC.1/Circ.1638 (Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS))
13. Miyoshi, T., Fujimoto, S., Rooks, M., Konishi, T., & Suzuki, R. Rules required for operating maritime autonomous surface ships from the viewpoint of seafarers. *Journal of Navigation*, 2022. 75(2), P. 384-399. doi:10.1017/S0373463321000928.
14. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Koryakin, K. Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2021. 113, P. 145-153. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>.
15. Onyshchenko S., Melnyk O. Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2021. 14 (6), 132 – 136. DOI: 10.25103/jestr.146.15
16. Autonomous ship steering system developed. *Digital Ship – Digital Energy Journal*. 2017. URL: <https://thedigitalship.com/news/maritime-satellite-communications/item/5016-autonomous-ship-steering-system-developed>. (Доступно на 25.07.2022).
17. V.Filimonov Autonomous ships and the difficulties of their operation. *Baltic Lloyd*. 2020. URL: <https://baltlloyd.ru/sudohodstvo/avtonomnye-suda-i-trudnostihjekspluatacii.html>. (Доступно на 25.07.2022).

Melnyk O.M. CREWLESS SHIPPING AS A DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN MARITIME TRANSPORTATION

Maritime transport has recently become one of the new promising industries for the application and development of information technology. The reasons for this were the traditional conservatism of the industry, the long cycle of ship design and operation, and, most importantly, the underdeveloped and expensive telecommunications infrastructure based mainly on satellite technologies. The transfer of large volumes online has become the main criterion for business efficiency. However, the desired level of development of such technologies in maritime transport has not yet been achieved, but shipping is in great need of developing and implementing the latest technologies to improve the efficiency of transportation operations and ensure their safety. The exclusion of the human factor from ship navigation processes has led to the emergence of autonomous vessels, but there are still a number of unresolved issues in the course of their operation, such as positioning control, study of limitations and sources of errors of satellite radio navigation systems, consideration of erroneous or incorrectly interpreted information by the system and methods and algorithms for its correction in order to improve positioning accuracy, which together are of significant practical interest. This article analyzes the development of unmanned navigation systems and the ways of their implementation in the field of merchant shipping, as well as the ways of using technologies for efficient data exchange between autonomous vessels and the shore within a single information network linking all elements of the control system. The article considers the peculiarities of monitoring and location and ensuring that an autonomous vessel stays on a given course based on e-navigation technologies.

Key words: *autonomous ship, crewless navigation, innovative technologies, maritime transport, positioning accuracy, navigation safety.*