

СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СУДНОВОДІННІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Бень А. П., к.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: a_ben@i.ua, ORCID: 0000-0002-9029-3489.

Стаття присвячена питанням створення, застосування та розвитку систем підтримки прийняття рішень (СППР) у галузі судноводіння. Розглянуто основні напрямки використання СППР та систем штучного інтелекту в морській галузі. Проведено класифікацію існуючих СППР у галузі судноплавства, показано особливості побудови таких систем. Визначено класи практичних задач, які можуть бути успішно вирішені із застосуванням СППР. Розглянуті методологічні основи створення та впровадження СППР у судноводінні. Показано, що ефективне застосування СППР можливе лише за умов гармонізованого розвитку всіх складових, що забезпечують процеси створення, запровадження, розвитку та вдосконалення таких систем – життєвого циклу СППР. Розроблено структуру життєвого циклу СППР та запропоновані підходи до практичної реалізації кожного з його етапів. Визначені специфічні риси процесів прийняття рішень в судноводінні та особливості сприйняття інформації і прийняття рішень судноводієм. Проаналізовано структуру циклу інформаційної взаємодії особи, що приймає рішення, та СППР, визначено його окремі фази. Показано перспективність застосування в СППР моделі особи, що приймає рішення з метою підвищення ефективності процесів інформаційного обміну. Виявлено коло проблемних питань, що виникають при практичному впровадженні СППР в судноводінні та визначені шляхи їх можливого вирішення. Запропоновані підходи до покращення процесів створення та застосування СППР на практиці. Визначено пріоритетні напрямки використання СППР та систем штучного інтелекту в судноводінні та перспективи їх подальшого розвитку.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень; судноводіння; штучний інтелект; методологія створення; життєвий цикл; людський фактор; безпека судноплавства.

DOI: 10.33815/2313-4763.2024.1.28.152-162

Вступ. Стрімкий розвиток сучасних інформаційних технологій істотно вплинув практично на усі галузі науки і промисловості, забезпечуючи їх вихід на принципово новий технологічний щабель. Галузь судноводіння не стала виключенням, про що може свідчити інтенсивний розвиток засобів електронної навігації та автоматизованих систем керування рухом судна та загальносудновими системами, який відбувається протягом останніх двох десятиліть. Окремим важливим напрямом запровадження новітніх інформаційних технологій у судноводінні постає створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія.

Важливою складовою подальшого вдосконалення та успішного запровадження таких систем є визначення методологічних основ їх побудови, перспективних напрямків розвитку та проблемних питань практичного застосування в сучасних умовах, що і стало метою даного дослідження.

Постановка проблеми. Ефективне застосування СППР у судноводінні можливе лише за умов гармонізованого розвитку багатьох складових, що забезпечують процеси створення, запровадження, розвитку та вдосконалення таких систем (так званий життєвий цикл СППР). Вдосконалення вищезазначених процесів, у свою чергу, потребує визначення низки проблемних питань, що виникають при дослідженні та практичному застосуванні СППР і шляхів їх ефективного вирішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання створення та використання СППР у судноводінні докладно розглянуто в низці робіт вітчизняних та зарубіжних авторів [1–19]. Хоча перші згадки про експертні системи в судноводінні беруть свій початок з 80-х років ХХ-ст. [20–22], слід зазначити, що реальне практичне застосування СППР у судноводінні та проведення наукових досліджень у цій галузі розпочалося на початку ХХІ-ст. Зазначені обставини були, обумовлені, перш за все інтенсивним розвитком та впровадженням сучасних інформаційних технологій в усіх сферах діяльності людства. Широке запровадження засобів електронної навігації, та поява концепції E-Navigation [2],

призвело до впровадження інтегрованих систем ходового містка [3, 4], і обумовило необхідність створення сучасних автоматизованих систем керування рухом судна. Таким чином, виникла проблема створення СППР з керування процесами розходження, маневрування та загального планування руху.

Важливими питаннями постали проблеми вибору оптимальних маршрутів суден з позицій мінімізації витрат палива та забезпечення безпеки перевезень [5–12], побудови логістичних ланцюжків транспортування товарів, складання оптимальних вантажних планів суден-контейнеровозів [13] та керування вантажними операціями при перевезенні великовагових, негабаритних, та небезпечних вантажів, тощо [23, 24]. Окремим напрямом для теоретичних досліджень та практичних напрацювань стало розв'язання питань, пов'язаних з оптимізацією роботи портових терміналів та інфраструктури портів [25, 26].

Великий клас задач для СППР у судноплаванні сформував також проблеми керування ризиками в галузі, а саме: страхування суден та вантажу, керування фрахтуванням, розрахунок рівня ризиків морських перевезень [27], агентування та бербоут-чартеру суден.

Слід зазначити, що активний розвиток та практичне застосування СППР у галузі судноплавання, обумовило також появу низки важливих питань, що потребують нагального вирішення. Перш за все слід сфокусувати увагу на виникненні наступних вимог до СППР:

- збільшення кількості інформаційних джерел та інтенсивності інформаційних потоків з якими доводиться мати справу особам, що приймають рішення (ОПР);
- підвищення загальних вимог до оперативності і своєчасності прийняття рішень в умовах високого рівня відповідальності за їх наслідки;
- потреба максимального зменшення рівня суб'єктивності оцінки ситуації;
- за можливістю, максимальне зменшення впливу так званого людського фактору [28–30] на процеси прийняття рішень.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення методологічних основ побудови СППР у судноводінні, перспективних напрямків розвитку та проблемних питань їх практичного застосування в сучасних умовах.

Об'єктом дослідження є СППР у судноводінні. Предметом дослідження є методологічні основи створення, розвитку та практичного застосування СППР у судноводінні.

Досягнення поставленої мети дослідження обумовлює необхідність вирішення наступних задач:

1. Визначити пріоритетні напрями застосування систем штучного інтелекту (ШІ) та СППР у судноводінні.
2. Побудувати структуру життєвого циклу СППР у судноводінні та з'ясувати особливості практичної реалізації його окремих етапів.
3. Запропонувати нові шляхи розвитку та вдосконалення СППР судноводія.
4. Визначити пріоритетні напрями запровадження СППР та систем ШІ в судноводінні та перспективи подальших наукових досліджень.

Виклад основного матеріалу. Істотне підвищення швидкодії сучасних засобів обчислювальної техніки та інтенсивний розвиток новітніх інформаційних технологій, сприяли істотному розширенню сфер застосування як СППР так і взагалі систем ШІ.

Серед основних напрямів, за якими здійснюється впровадження таких систем, слід зазначити [1]:

- автономні судна та системи автономної навігації;
- СППР з керування рухом суден у складних навігаційних умовах та за наявності факторів ризику;
- технічна діагностика та прогнозування відмов судового обладнання;
- енергетичний менеджмент процесів експлуатації судових енергетичних установок та електрообладнання;

- керування вантажними операціями контейнеровозів та суден, що перевозять негабаритні і великовагові вантажі;
- планування ефективної роботи портової інфраструктури та портових терміналів;
- раціональне планування маршрутів руху суден та управління логістикою морських перевезень.

Безумовно, сфера застосування саме СППР у морській галузі дещо вужча, ніж систем ІІІ взагалі, проте вона також доволі широка і охоплює практично усі напрями. На підставі ґрунтовного аналізу низки наукових робіт [1–19, 23–30] було побудовано узагальнену класифікацію напрямів застосування СППР у суднопластві, яка наведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Класифікація напрямків застосування СППР в галузі суднопластва

Слід зазначити, що хоча специфіка розробки СППР за кожним із зазначених напрямків і має певні відмінності, однак для галузі судноводіння можна визначити певну узагальнену методологію створення та впровадження таких систем. Зазначена методологія побудови СППР обумовлює необхідність послідовного виконання наступних етапів:

- визначення та аналіз особливостей предметної галузі;
- визначення особливостей підтримки прийняття рішень у судноводінні;
- аналіз процесів формування та прийняття рішень судноводієм;
- формування базисних принципів побудови СППР судноводія;
- визначення кола прикладних задач, які будуть вирішуватись за допомогою СППР;
- створення дослідного зразка СППР та аналіз ефективності його практичного застосування;
- модифікація та вдосконалення відповідно з досвідом практичного застосування;
- впровадження та сертифікація (у разі необхідності).

Відповідно до вищезазначених етапів було побудовано структуру життєвого циклу СППР у галузі судноводіння, яка наведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Життєвий цикл СППР у судноводінні

Згідно з першим етапом необхідно враховувати, що особливостями предметної галузі, що розглядається, є наступні [15]:

- наявність стохастичних та нетермінованих факторів впливу на процеси керування рухом судна;
- наявність факторів невизначеності та неповноти вихідних даних стосовно ситуацій, що розглядаються;
- наявність часових обмежень на процеси введення, аналізу інформації та формування управлінських рішень;
- необхідність комплексного врахування зовнішніх збурень на процеси прийняття рішень, що обумовлені впливом навколишнього середовища;
- наявність фактору суб'єктивності суджень особи, що приймає рішення (ОПР), що обумовлено наявними в неї стереотипами формування управлінських рішень для певних ситуацій;
- істотний вплив на прийняття рішень психофізіологічного стану ОПР;
- обов'язкова відповідність рішень, що приймаються, вимогам чинних міжнародних нормативних документів, що регламентують діяльність у галузі судноплавства;

– у випадку застосування СППР у сфері запобігання зіткнення суден, слід брати до уваги, що процеси прийняття рішень щодо їх розходження мають розподілений і кооперативний характер за умов цілеспрямованої поведінки всіх учасників навігаційної ситуації.

Зазначені особливості предметної галузі вимагають комбінованого застосування відомих математичних методів керування у поєднанні з моделями і методами ШІ [14].

Наступними, не менш важливими складовими життєвого циклу створення СППР є визначення особливостей підтримки прийняття рішень у судноводінні та аналіз процесів формування і прийняття рішень судноводієм. Слід враховувати, що при прийнятті рішення, судноводій зазвичай керується нижченаведеними правилами [15]:

1. Під час здійснення аналізу ситуації, що склалася, судноводій підсвідомо оцінює динаміку навігаційних параметрів, здійснюючи прогнозування їх змін у часі і формуючи, таким чином, навігаційну ситуацію, що матиме місце у майбутньому.

2. За сприятливих умов (відсутність втоми, нескладна ситуація вибору рішення, стали фактори впливу зовнішнього середовища) судноводій здатний самостійно долати фактори неточності та неповноти вихідних даних, та швидко приймати вірне рішення, спираючись лише на наявний досвід.

3. За несприятливих умов, судноводій підсвідомо здійснює «огрублення» ситуації, що склалася, аналізуючи лише певну кількість, «найбільш важливих», з його суб'єктивної точки зору, параметрів з метою більш швидкого ухвалення рішення.

4. Судноводій зазвичай формує для себе можливий сценарій розвитку подальших дій спираючись на власний досвід прийняття рішень у подібних ситуаціях, якщо вони вже мали місце в минулому, проте не завжди подібні сценарії є коректними і достовірними, що, як наслідок, призводить до прийняття ним суб'єктивних рішень.

5. Судноводій постійно оцінює рівень досягнення ним поставлених результатів керування, що завжди супроводжується певним рівнем емоційного відчуття успіху або тривоги в залежності від складності ситуації, яка має місце.

Саме вищезазначені особливості у поєднанні з постійним збільшенням обсягів інформації, що потребує оперативної обробки, і є першочерговими чинниками виникнення такого явища, як людський фактор. Можливі шляхи його подолання докладно розглянуто у роботах [14–16, 28–30].

З метою зменшення негативного впливу людського фактору, та підвищення ефективності взаємодії СППР із судноводієм у цілому, доцільно враховувати структуру процесів інформаційного обміну, та застосовувати в СППР інтегровану модель ОПР, або судноводія. У такому випадку процес взаємодії розглядається у вигляді безперервного ланцюжка послідовних циклів, що наведені на рис. 3. Безпосередньо цикл інформаційної складається з чотирьох фаз: «С»–«П»–«В»–«А» («Синтез», «Подання», «Взаємодія», «Аналіз»).

Під час циклу інформаційної взаємодії СППР застосовує модель судноводія з метою визначення пріоритетності розв'язання задач, що вирішуються, визначення форми візуалізації вихідних даних та змісту інформаційних повідомлень. Одночасно в СППР також здійснюється накопичення інформації про дії судноводія, яка в подальшому застосовується для уточнення його моделі.

Наявність моделі ОПР дозволяє знизити рівень інформаційного навантаження на ОПР та підвищити швидкість процесів обміну інформацією. Вищевказане набуває особливо важливого значення за умов прийняття рішень у критичних ситуаціях та наявності обмежень часу на їх формування та практичну реалізацію. Докладно особливості практичного запровадження зазначеного підходу розглянуті у роботі [29].

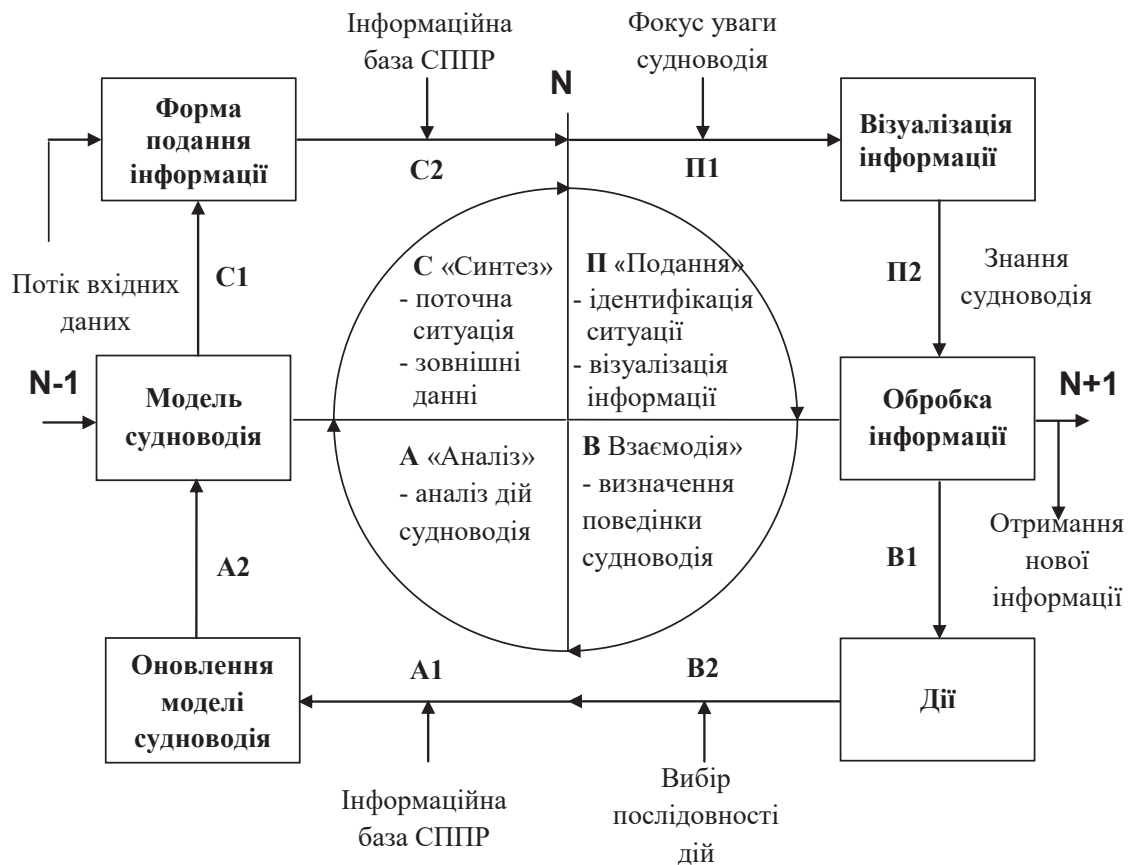


Рисунок 3 – Цикл інформаційної взаємодії судноводія з СППР

Безумовно проблема зниження впливу людського фактору є однією з найбільш важливих у галузі створення СППР, проте, разом з тим, слід зазначити, що впровадження СППР у судноводінні також стикається з низкою і інших проблемних питань, серед найбільш значущих з яких слід вказати наступні:

- складність сертифікованої технічної інтеграції з існуючими навігаційними системами та системами керування судновими технічними засобами;
- необхідність гармонізації рішень, прийнятих СППР з нормативною правовою базою у сфері морського судноплавства, перш за все МППЗС-72, формалізація яких істотно ускладнена внаслідок неповної детермінованості;
- юридично-правові аспекти відповідальності за наслідки керування рухом судна згідно норм чинного законодавства у сфері мореплавства;
- інертність мислення осіб командного складу суден із запровадження новацій та побоювання втрати робочих місць внаслідок підвищення рівня автоматизації систем керування судном.

Незважаючи на вищезазначені проблеми, практичне впровадження СППР у судноводінні продовжується і активно розвивається. В умовах, що склалися, пріоритетними напрямками є [1]:

- створення СППР судноводія, що дозволять здійснювати керування рухом суден у складних навігаційних ситуаціях у режимі реального часу;
- подальший розвиток і вдосконалення систем автоматичної візуальної ідентифікації рухомих об'єктів (машинний зір), особливо в складних умовах спостереження, за наявності зовнішніх завад;
- розвиток моделей і методів координації колективної поведінки автономних суден (у тому числі у військовій сфері);
- планування маршрутів руху суден у відповідності до погодних умов та їх адаптивне корегування;

– раціональне керування трафіком морських суден у вузькостях та зонах інтенсивного мореплавства.

Можливо, стрімкий розвиток сучасних інформаційних технологій і судноплавства в цілому сприятиме істотному розширенню вищезазначеного переліку, але з впевненістю можна констатувати, що частка функцій та задач керування, які в майбутньому виконуватимуться СППР або повністю автономними системами з ШІ, буде лише постійно зростати.

Висновки. З метою підвищення ефективності проєктування, створення, тестування та практичного запровадження СППР та систем ШІ в галузі судноводіння, пропонується здійснювати виконання вказаних етапів з урахуванням структури запропонованого життєвого циклу СППР та особливостей процесів взаємодії таких систем з технічними засобами та безпосередньо ОПР. Таким чином буде скорочено витрати часу, необхідні на реалізацію вищезазначених етапів, що сприятиме підвищенню якості програмних та апаратних засобів, які створюються. Врахування структури процесу інформаційного обміну з СППР також забезпечить поліпшення умов інформаційної взаємодії з ОПР і, як наслідок, позитивно вплине на надійність та ефективність функціонування таких систем в цілому.

Перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження показали необхідність удосконалення і подальшого розвитку СППР та систем ШІ в галузі судноводіння. Перспективним напрямом подальших наукових досліджень стане трансформація та перенесення наявних теоретичних та практичних напрацювань, що вже отримані в галузі створення СППР у судноводінні, у сферу розробки систем ШІ для керування роботою безекіпажних та автономних морських суден. Окремим важливим напрямом стане дослідження питань, пов'язаних з координацією спільних дій та цілеспрямованою поведінкою таких суден для вирішення поставлених задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бень А. П., Чернявський В. В., Носов П. С. Системи підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту – нові реалії розвитку сучасного судноводіння. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2024): матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2024. С. 29–30.
2. Бень А. П., Паламарчук И. В. Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-Navigation. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). С. 19–24.
3. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы. Одесса : НУ “ОМА”, 2016. 238 с.
4. Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. Л. Поддержка решений по расхождению с судами: Фенікс, 2010. 229 с.
5. Паламарчук И. В. Использование систем поддержки принятия решений для повышения эффективности и безопасности судоходства. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції*, 24–26 травня 2016 р. Херсон: ХДМА, 2016. С. 29–30.
6. Ben A. P., Palamarchuk I. V. Solving tasks of vessel collision avoidance and maneuvering during designing decision support systems of the navigator // *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries : monograph / edited by authors*. 3rd ed. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2019. P. 58–77.
7. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*. 2005. Vol. 2. P. 1285–1292.
8. Lazarowska A. A trajectory base method for ship's safe path planning/ 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, *Procedia Computer Science* 96 (2016), pp. 1022–1031.

9. Timchenko V., Kondratenko Y., Kreinovich V. Decision Support System for the Safety of Ship Navigation Based on Optical Color Logic Gates // *Information Technology and Implementation IT&I-2022*, pp. 42–52.
10. Krata P., Kniat A., Vettor R., Krata H., Guedes Soares C. The Development of a Combined Method to Quickly Assess Ship Speed and Fuel Consumption at Different Powertrain Load and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2021. Vol. 15, № 2. P. 437–444.
11. Cai Y., Wen Y.Q.: Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2014. Vol. 8, № 4. P. 551–556.
12. Паламарчук І. В. Моделювання розходження суден в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2020. № 1 (22). С. 45–53.
13. Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. Система підтримки прийняття рішень по завантаженню великотоннажного контейнеровозу. *Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. Серія: “Комп’ютерні технології”*. 2016. Вип. 271. Т. 283. С. 60–63.
14. Бень А. П. Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень судноводія / Бень А. П. // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 12–19.
15. Бень А. П. Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении. *Штучний інтелект*. 2012. № 3. С. 222–227.
16. Бень А. П., Мальцев А. С. Системы поддержки принятия решений по управлению движением судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с.
17. Якусевич Ю. Г., Тришин В. В., Дорофєєва З. Я. Побудова навігаційної системи судна на основі сучасних інформаційних технологій. *Кибернетика та системний аналіз*. №4(70). 2021. С. 83–88.
18. Pietrzykowski Z., Wolejsza P., Borkowski P. Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* 2017. Vol. 70. P. 447–464.
19. Dugan S. A., Skjetne R., Wróbel K., Montewka J., Gil M., Utne I. B. Integration Test Procedures for a Collision Avoidance Decision Support System Using STPA. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2023. Vol. 17, № 2. P. 375–381.
20. Koyama T. and Yan J. An expert system approach to collision avoidance, 8th Ship ControlSystem Symposium, Hague, 1987.
21. Положенцев М. А., Шепетуша Ю. М. Применение двухэлементных стратегий расхождения в эргатических системах предупреждения столкновений судов // *Кибернетика и вычислительная техника*. 1987. №76. С. 19–21.
22. Smeaton G., Coenen F. Developing an intelligent marine navigation system. *Computing & Control Engineering Journal*. 1990. Vol. 1. Issue 2. P. 95–103. doi: 10.1049/cce:19900024.
23. Kebedow K. G., Oppen J. Including Containers with Dangerous Goods in the Multi-Port Master Bay Planning Problem. *MENDEL*. 2018. vol. 24. no. 2. P. 23–36.
24. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov P. Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), p. 48–56.
25. Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*. 2014. vol. 236, no. 1. P. 1–13.
26. Rodriguez-Molins M., Salido M.A., Barber F. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39(1). P. 978–989.
27. Yishan L., Zhiqiang G., Jie Y. et al. Prediction of ship collision risk based on CART. *IET Intelligent Transport Systems*. 2018. Vol. 12. Issue 10. pp. 1345–1350.

28. Лелеко Н. В. Пути повышения качества взаимодействия оператора с системой динамического позиционирования. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018. № 1 (18). С. 27–33.

29. Nosov P. S., Ben A. P., Safonova A. F., Palamarchuk I. V. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Науковий журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління»*. 2019. № 2 (49).

30. MacKinnon S. N., Weber R., Olindersson F., and Lundh M. Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective/In book: *Advances in Human Aspects of Transportation*, N. Stanton (Ed.): AHFE 2020, AISC 1212, pp. 429–435.

REFERENCES

1. Ben, A. P., Cherniavskiy, V. V., Nosov, P. S. (2024). Systemy pidtrymky pryiniattia rishen ta tekhnolohii shtuchnoho intelektu – novi realii rozvytku suchasnoho sudnovodinnia. Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINTT-2024): materialy XVI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kherson. S. 29–30.

2. Ben, A. P., Palamarchuk, Y. V. (2015). Pryntsypy postroenyia system podderzhky pryniattia reshenia sudovodytelia v ramkakh kontseptsyy e-Navigation. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. № 2 (13). S. 19–24.

3. Vahushchenko, L. L. (2016). Судовые навигационно-информационные системы. Odessa : NU “OMA”. 238 с.

4. Vahushchenko, L. L., Vahushchenko, A. L. (2010). Podderzhka reshenyi po raskhozheniyu s sudamy: Feniks. 229 s.

5. Palamarchuk, Y. V. (2016). Yspolzovanye system podderzhky pryniattia reshenyi dlia povysheniya efektyvnosti y bezopasnosti sudokhodstva. Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINTT-2016): materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 24–26 travnia 2016 r. Kherson: KhDMA. S. 29–30.

6. Ben, A. P., Palamarchuk, I. V. (2019). Solving tasks of vessel collision avoidance and maneuvering during designing decision support systems of the navigator // *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries : monograph / edited by authors*. 3rd ed. Riga, Latvia : Baltija Publishing. P. 58–77.

7. Lisowski, J. (2005). Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*. Vol. 2. P. 1285–1292.

8. Lazarowska, A. (2016). A trajectory base method for ship’s safe path planning/ 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, *Procedia Computer Science* 96, pp. 1022–1031.

9. Timchenko, V., Kondratenko, Y., Kreinovich, V. (2022). Decision Support System for the Safety of Ship Navigation Based on Optical Color Logic Gates // *Information Technology and Implementation (IT&I-2022)*, pp. 42–52.

10. Krata, P., Kniat, A., Vettor, R., Krata, H., Guedes Soares, C. (2021). The Development of a Combined Method to Quickly Assess Ship Speed and Fuel Consumption at Different Powertrain Load and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 15, № 2. P. 437–444.

11. Cai, Y., Wen, Y.Q. (2014). Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 8, № 4. P. 551–556.

12. Palamarchuk, I. V. (2020). Modeliuvannia rozkhozhenia suden v systemi pidtrymky pryiniattia rishen sudnovodiia. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. № 1 (22).S. 45–53.

13. Nikolskiy, V. V., Nikolskiy, M. V., Nakul, Yu. A. (2016). Systema pidtrymky pryiniattia rishen po zavantazhenniu velykotonnazhnoho konteinerovozu. *Naukovi pratsi ChDU im. Petra Mohyly. Seriya: “Kompiuterni tekhnolohii”*. Vyp. 271. T. 283. S. 60–63

14. Ben, A. P. (2012). Perspektyvy rozvytku system pidtrymky pryiniattia rishen sudnovodiia / Ben A. P. // Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii. Kherson : Vydavnytstvo KhDMA, № 1 (6). S. 12–19.
15. Ben, A. P. (2012). Kontseptualnye osnovy sozdaniya system podderzhky pryiniatyia reshenyi v sudovozhdenyyu. Shtuchnyi intelekt. № 3. S. 222–227.
16. Ben, A. P., Maltsev, A. S. (2019). Системы подderzhky pryiniatyia reshenyi po upravleniyu dvyzhenyem sudna // Monohrafiia. Kherson : Vydavnytstvo KhDMA. 244 s.
17. Yakusevych, Iu. H., Tryshyn, V. V., Dorofieieva, Z. Ia. (2021). Pobudova navihatsiinoi systemy sudna na osnovi suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii. Kibernetika ta systemnyi analiz. №4(70). С. 83–88.
18. Pietrzykowski, Z., Wołajsza, P., Borkowski, P. (2017). Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* Vol. 70. P. 447–464.
19. Dugan, S. A., Skjetne, R., Wróbel, K., Montewka, J., Gil, M., Utne, I. B. (2023). Integration Test Procedures for a Collision Avoidance Decision Support System Using STPA. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 17, № 2. P. 375–381.
20. Koyama, T. and Yan, J. (1987). An expert system approach to collision avoidance, 8th Ship Control System Symposium, Hague.
21. Polozhentsev, M. A., Shepetukha, Yu. M. (1987). Prymenenye dvukh elementnykh stratehi raskhozhdeniya v erhatycheskykh systemakh preduprezhdeniya stolknovenyi sudov // Kibernetika y vychyslytelnaia tekhnika. №76. S. 19–21.
22. Smeaton, G., Coenen, F. (1990). Developing an intelligent marine navigation system. *Computing & Control Engineering Journal*. Vol. 1. Issue 2. P. 95–103. doi: 10.1049/cce:19900024.
23. Kebedow, K. G., Oppen, J. (2018). Including Containers with Dangerous Goods in the Multi-Port Master Bay Planning Problem. *MENDEL*. vol. 24. no. 2. P. 23–36.
24. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov, P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), p. 48–56.
25. Carlo, H. J., Vis, I. F. A., Roodbergen, K. J. (2014). Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*. vol. 236, no. 1. P. 1–13.
26. Rodriguez-Molins, M., Salido, M.A., Barber, F. (2012). Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert Systems with Applications*. Vol. 39(1). P. 978–989.
27. Yishan, L., Zhiqiang, G., Jie, Y. (2018). et al. Prediction of ship collision risk based on CART. *IET Intelligent Transport Systems*. Vol. 12. Issue 10. pp. 1345–1350.
28. Leleko, N. V. (2018). Puty povysheniya kachestva vzaymodeistviya operatora s systemoi dynamicheskoho pozytsyonyrovaniya. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii. № 1 (18). S. 27–33.
29. Nosov, P. S., Ben, A. P., Safonova, A. F., Palamarchuk, I. V. (2019). Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Науковий журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління»*. № 2 (49).
30. MacKinnon, S. N., Weber, R., Olindersson, F., and Lundh, M. (2020). Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective/In book: *Advances in Human Aspects of Transportation*, N. Stanton (Ed.): AHFE, AISC 1212, pp. 429–435.

Ben A. P. DECISION SUPPORT SYSTEMS IN NAVIGATION: CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR FURTHER DEVELOPMENT

The article is devoted to issues of creation, application and development of decision support systems (DSS) in the field of shipping. The main areas of use of DSS and artificial intelligence systems in the maritime industry are considered. The classification of existing DSS in the field is carried out, the peculiarities of the construction of such systems are shown. The classes of practical problems that can be successfully solved with the use of DSS are defined. The methodological foundations of the creation and implementation of DSS in

navigation are considered. It is shown that the effective application of the DSS is possible only under the conditions of the harmonized development of all components that ensure the processes of creation, introduction, development and improvement of such systems - the life cycle of the DSS. The structure of the DSS life cycle was developed and approaches to the practical implementation of each of its stages were proposed. The specific features of decision-making processes in navigation and the features of information perception and decision-making by the shipmaster are determined. The structure of the cycle of information interaction of the decision-maker and the DSS was analyzed, and its separate phases were determined. The perspective of using the model of a decision-maker in the DSS is shown in order to increase the efficiency of information exchange processes. A number of problematic issues that arise during the practical implementation of the DSS in navigation are identified and the ways of their possible solution are determined. Approaches to improving the processes of creation and application of DSS in practice have been proposed. The priority directions for the use of DSS and artificial intelligence systems in ship navigation and the prospects for their further development have been determined.

Key words: *decision support systems; navigation; artificial intelligence; creation methodology; life cycle; human factor; safety shipping.*

© Бень А. П.

Статтю прийнято до редакції 14.06.2024