

УДК 656.12

**ASSESSMENT OF THE NAVIGATION SITUATION  
IN THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR NAVIGATOR****ОЦІНКА НАВІГАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ****В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СУДНОВОДІЯ**DOI [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).12](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).12)**Andrii P. Ben**

А. П. Бенъ, канд. техн. наук, доц.,  
проректор з науково-педагогічної роботи  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Vice-rector for Scientific and Pedagogical Work  
a\_ben@i.ua  
ORCID: 0000-0002-9029-3489

**Ihor V. Palamarchuk**

І. В. Паламарчук, аспірант  
Postgraduate  
ihor3107@meta.ua  
ORCID: 0000-0001-9161-1592

*Kherson State Maritime Academy, Kherson**Херсонська державна морська академія, м. Херсон*

**Abstract.** *Purpose.* The article consider with the creation of decision support systems of the navigator with the estimation of navigation situation. *Method.* The main idea of the research is to study the peculiarities of the process of formation and decision-making of the navigator in order to improve the process of interaction of the navigator with the information navigation system, to improve the quality of the decisions they make, and to develop new approaches to the construction of a high-precision decision support systems of the navigator. *Results.* The key areas of research in this field are identified; the influence of the human factor on the ship management decision-making processes is shown. It is shown that the creation of a decision support systems of the navigator will simultaneously solve a complex of problems in operational management of the ship's movement from the standpoint of achieving the set level of safety and economic efficiency. An algorithm for the operation of such a system is proposed. A set of criteria for assessing the level of danger of vessels in a convergence situation has been identified. *Scientific novelty.* An important area of further research is the study of the influence of maneuverability of ships on the processes of formation of control effects in intelligent decision support systems of the navigator. The proposed approaches to the creation of decision support systems of the navigator reduce the risks of collision of ships and increase the economic efficiency of navigation. *Practical importance.* An important problem today is to improve the accuracy of the ships' planned trajectory. The presence of a large number of recent marine casualties, including the large number of human casualties and severe man-made consequences, the major cause of which is the «human factor» clearly demonstrates the need to create modern decision support systems of the navigator which include the process of human interaction with the technical means of navigation and making decisions in difficult navigational conditions and critical situations. The development of such systems requires taking into account the peculiarities of human interaction with the technical means of control of the ship.

**Key words:** decision support system, navigation, vessel divergence, ship collision risk assessment criteria.

**Анотація.** У статті розглянуті питання створення систем підтримки прийняття рішень судноводія з оцінкою навігаційної ситуації. *Методика.* Головною ідеєю дослідження є вивчення особливостей перебігу процесів формування і прийняття рішень судноводієм із метою вдосконалення процесу взаємодії судноводія з інформаційною навігаційною системою, підвищення якості рішень, які ним приймаються, та розроблення новітніх підходів до побудови високоточної системи підтримки прийняття рішень судноводія. *Результати.* Визначено ключові напрямки досліджень у даній галузі, показано вплив людського фактора на процеси прийняття рішень із керування судном. Показано, що створення системи підтримки прийняття рішень судноводія дозволить одночасно вирішувати комплекс задач із

оперативного керування рухом судна з позицій досягнення заданого рівня безпеки та економічної ефективності. Запропоновано алгоритм функціонування такої системи. Визначено набір критеріїв для оцінки рівня небезпеки суден, що перебувають у ситуації зближення. *Наукова новизна.* Важливим напрямком подальших досліджень є вивчення впливу маневрених характеристик суден на процеси формування керуючих впливів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень судноводія. Пропоновані підходи до створення систем підтримки прийняття рішень судноводія дозволяють знизити ризики зіткнення суден та підвищити економічну ефективність судноводіння. *Практична значимість.* Важливою проблемою сьогодення є підвищення точності дотримання суднами планованої траєкторії руху. Наявність значної кількості морських аварій, що трапилися останнім часом, у тому числі зі значною кількістю людських жертв і тяжкими техногенними наслідками, головною причиною яких став «людський фактор», переконливо свідчить про необхідність створення сучасних систем підтримки прийняття рішень судноводія, що враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння та прийняття нею рішень у складних навігаційних умовах і критичних ситуаціях. Розроблення таких систем потребує врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами керування судном.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, судноводіння, розходження суден, критерії оцінки безпеки зіткнення суден.

## References

- [1] Snopkov, V.I., Konopeljko, G.I., & Vasiljeva, V.B. (1994). *Bezopasnost' moreplavaniya* [Safety of navigation]. Moscow: Transport.
- [2] Maljcev, A.S., Golikov, V.V., & Safin, I.V. et al. (2013). *Metodologicheskiye osnovy manevrirovaniya sudov pri sblizhenii* [Methodological foundations of maneuvering vessels with rapprochement]. Odessa: ONMA.
- [3] Astrein, V.V. (2010). *Razrabotka tekhnologiy vyrabotki resheniy po preduprezhdeniyu stolknoveniy sudov v more: dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.19* [Development of technologies for developing solutions for the prevention of collisions at sea: dis. cand. tech. sciences: 05.22.19]. Novorossiysk.
- [4] Ben, A.P. (2010). *Pryntsypy pobudovy system pidtrymky pryiniattia rishen sudnovodiia* [Principles of construction of systems of support of decision-making of the navigator]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti: materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii*. Tom 1 [Modern information and innovative technologies in transport: materials of the International scientific-practical conference. Volume 1]. Kherson: Vydavnytstvo KhDMI [Publisher of the Kherson State Maritime Institute], 8–12.
- [5] Maljcev, A.S., Tyupikov, E.E., & Vorokhobin, I.I. (2013). *Manevrirovaniye sudov pri raskhozhdenii* [Maneuvering ships in case of divergence]. Odessa: ONMA [Odessa National Maritime Academy].
- [6] Sherstyuk, V.G., & Ben, A.P. (2007). *Intellektual'nyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu sudnom v usloviyakh nepolnoy i protivorechivoy informatsii* [Intelligent decision support systems for the management of the vessel in the conditions of incomplete and conflicting information.]. *Sudovozhdenie* [Navigation], 14, 141–144.
- [7] Bray, D.J. (1999). *Dynamic Positioning Operator Training. The official guide to The Nautical Institute training standards*. London: The Nautical Institute.
- [8] Ince, A.N., & Topuz, E.J. (2004). *Modelling and simulation for safe and efficient navigation in narrow waterways*. *Navigation*, 57, 1, 53–71.
- [9] Lisowski, J. (2005). *Game control methods in navigator decision support system*. *The Archives of Transport*, 3-4, Vol. XVII, 133–147.
- [10] Lisowski, J. (2005). *Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation*. *Advances in Safety and Reliability*. London–Singapore: Balkema Publishers, Vol. 2, 1285–1292.
- [11] Golikov, V.V., & Repetey, V.D. (2013). *Natsional'naya morskaya sistema poiska i spasaniya: monografiya* [National Maritime Search and Rescue System: Monograph]. Odessa: ONMA [Odessa National Maritime Academy].
- [12] Aleksishin, A.V. (2012). *Raschet granichnykh pelengov k zonam bezopasnosti sudov* [Calculation of boundary bearings to ship safety zones.]. *Naukoviy visnik KhDMA* [Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy], 2 (7), 8–15.
- [13] Aleksishin, A.V. (2013). *Vyyavleniye situatsiy opasnogo sblizheniya sudov s pomoshch'yu granichnykh pelengov v avtomatizirovannykh kompleksakh sudovozhdeniya* [Identification of situations of dangerous proximity of ships using boundary bearings in automated navigation systems]. *Problemi tekhniki: naukovovirobnichiy zhurnal ONMU, KHNU* [Problems of technology: science and technology journal ONMU, KNU], 1, 117–123.
- [14] Ben, A.P., & Plyuth, V.N. (2009). *Kriterii otsenki opasnosti sblizheniya sudov* [Criteria for assessing the proximity of ships]. *Naukoviy visnik KhDMI* [Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Institute], 1 (1), 12–15.

**Постановка задачі.** Підвищення безпеки судноводіння в сучасних умовах збільшення обсягів морських перевезень, зростання тоннажу суден та інтенсифікації світового судноплавства у цілому являє собою важливу науково-практичну задачу. Організація роботи команди навігаційного містка під час виникнення аварійної ситуації визначається ступенем підготовки штурманського складу до взаємодії у процесі керування рухом у складних ситуаціях [1]. Швидкоплинність процесу керування і недостатність часу для отримання коректної інформації про процес руху вимагають попередньої підготовки до дії команди містка в екстремальних умовах під час небезпечного зближення з навігаційною небезпекою або іншим судном [2].

Із цієї причини розроблення системи підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія, що застосовує змістовні моделі процесу визначення небезпеки для керування судном під час виникнення передумов виникнення аварійної ситуації, є вкрай актуальною задачею сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз робіт, які присвячені теорії та практиці створення СППР у судноплаванні, переконує в необхідності подальшого розроблення таких систем та вдосконалення тих, що існують [3–5].

Значною перешкодою на шляху розв'язання цього питання стає відсутність чітких формальних моделей, які характеризують процеси взаємодії суден під час розходження. Особливо це стосується ситуації невизначеності, зокрема коли наявні два та більше судна, а умови огляду водної акваторії є недостатніми [6–8]. Ключовим фактором правильного вирішення такої задачі є забезпечення ефективності рішень керування судном, що приймаються судноводієм. Так, чим складнішими стають функції судноводія, тим гостріше постає необхідність у координації роботи технічних засобів та інтерпретації інформації, яка надається з їх боку судноводію [9; 10]. Упровадження новітніх технічних засобів керування рухом судна звичайно «відриває» судноводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки, оскільки він стає неспроможним безпосередньо та повністю контролювати цей рівень у реальному часі.

**Відокремлення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Слід зазначити, що до початку 90-х років минулого сторіччя проблеми безпеки мореплавства в основному вирішувалися за рахунок розроблення нових правил та нормативних документів у вигляді різних Міжнародних конвенцій, удосконалення транспортних засобів і технологічного обладнання, що зазвичай давало свої позитивні результати, але неврахування впливу «людського фактора» на результати керування судном зробило свою справу. Широке використання нових інформаційних технологій і сучасних технічних засобів судноводіння (ЗАРП, ЕКНІС, АІС, GPS) призводить до збільшення деталістості уявлення наявної навігаційної ситуації, але водночас ускладнюється її оцінка, що скорочує час,

доступний судноводію для аналізу і розроблення потрібного управлінського рішення [11]. Отже, ефективність прийняття управлінських рішень безпосередньо пов'язана з ефективністю роботи ергатичної системи «судноводій – технічні засоби судноводіння» і може мати істотний вплив людського фактора.

Аналіз сутності явища «людський фактор», специфіки соціотехнічної системи, що функціонує на морі та в межах якої воно проявляється, визначення сутності, видів професійних помилок, які здійснює представник плавскладу, усвідомлення сутності, значення управлінських рішень на борту судна та специфіки різноманіття соціально-психологічних передумов, що сприяють його забезпеченню, дозволяє дійти висновку про необхідність упровадження системного підходу відносно забезпечення продуктивної підтримки прийняття вірних рішень судноводіїв.

**Мета дослідження** – зниження впливу людського фактора на рівень аварійності на морі, що є актуальною науково-практичною проблемою, яку необхідно вирішувати в розрізі оптимізації взаємодії судноводія із сучасними технічними засобами судноводіння.

**Методи, об'єкт та предмет дослідження.**  
*Об'єкт дослідження* – процес керування судном у ситуаціях можливого зіткнення. *Предмет дослідження* – системи підтримки прийняття рішень судноводія з керування суднами в ситуаціях можливого зіткнення, математичні моделі та методи прийняття рішень у судноводінні.

У роботі використовуються методи математичного моделювання та штучного інтелекту, якими визначаються набори правил із керування судном і послідовність їх застосування.

**Основний матеріал.** У процесі формування стратегії розходження враховується передбачувана зміна параметрів руху суден, зумовлена їх взаємодією одне з одним відповідно до Міжнародних правил попередження зіткнення суден 1972 р. (МППЗС-72).

Загальний алгоритм роботи СППР щодо оцінки навігаційної ситуації та запобігання зіткненням суден має такий вигляд:

- ідентифікація суден, що знаходяться в зоні можливого зіткнення;
- моніторинг параметрів руху суден та динаміки їх зміни;
- оцінка похибки одержуваних параметрів руху;
- класифікація суден за ступенем небезпеки;
- визначення пар взаємодіючих суден, для яких формуються можливі сценарії руху;
- визначення сфер взаємних обов'язків відповідно до МППЗС-72 і меж зони безпеки власного судна;
- формування множини можливих сценаріїв (стратегій) руху суден;
- визначення стратегій руху, що відповідають заданим критеріям безпеки;
- вироблення можливих альтернатив із керування судном і надання їх судноводію.

Таким чином, важливою складовою частиною СППР судноводія є критерії оцінки безпеки суден, що оточують власне судно (суден-цілей) [12–14].

Як вихідні дані для формування комплексних критеріїв небезпечності суден-цілей були застосовані такі їх навігаційні параметри: дистанції, лінії відносного руху (ЛВР), пеленги і швидкості.

Розглянемо ситуацію зближення двох суден, яка наведена на рис. 1. Судно *A* характеризується параметрами  $V_u, K_u, D_0$  ( $V_u$  – швидкість судна *A*,  $K_u$  – курс судна *A*,  $D_0$  – дистанція до судна *B*); судно *B* характеризується параметрами  $V_u, K_u, D_0$  ( $V_u$  – судна *B*,  $K_u$  – курс судна *B*,  $D_0$  – дистанція до судна *A*);  $K_0$  – поточний курс ЛВР цілі;  $K_1, K_2$  – можливі ЛВР цілі;  $\alpha_c, \alpha_{пк}, \alpha_{пк}$  – кути перетину відповідних ЛВР із курсом судна *A*, а  $D_0, D_2, D_3$  – від судна *B* до точок перетину його ЛВР із курсом судна *A*;  $D_1$  – дистанція до точки перетину курсів;  $P$  – різниця курсів.

Якщо  $\alpha_c < \alpha_{пк}$ , то ЛВР перетинає курс по носу, якщо  $\alpha_c > \alpha_{пк}$ , то ЛВР перетинає курс по кормі. Більш чітка оцінка зміни небезпеки зіткнення зумовлена зміною кута ЛВР та потребує встановлення залежності швидкості зміни кута ЛВР від швидкості зміни кута  $\Theta$  ( $\Theta = K_u + K_0$ ).

Скористаємося рівністю кута  $\alpha_c$  у трикутнику позицій із кутом  $\alpha_n$  у трикутнику швидкостей. Із векторного трикутника швидкостей кут  $\alpha_n$  за допомогою теореми синусів можна визначити таким чином:

$$\frac{V_u}{V_n} = \frac{\sin \alpha_n}{\sin \Theta}, \text{ або } \alpha_n = \arcsin \left( \frac{V_u \sin \Theta}{V_n} \right). \quad (1)$$

Диференціюючи вираз (1), визначимо швидкість зміни  $\alpha_n$  від  $\Theta$ :

$$d\alpha_n = \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{V_u \sin \Theta}{V_n} \right)^2}} \frac{V_u}{V_n} \cos \Theta d\Theta. \quad (2)$$

Спрощуючи вираз (2), отримаємо

$$d\alpha_n = \frac{V_u \cos \Theta d\Theta}{\sqrt{V_n^2 - V_u^2 \sin^2 \Theta}} = \frac{\cos \Theta d\Theta}{\sqrt{\left( \frac{V_n}{V_u} \right)^2 - \sin^2 \Theta}}$$

Із чого виходить, що залежність швидкості зміни  $\alpha_n$  ( $\alpha_c$ ) від швидкості  $\Theta$  визначається співвідношенням

$$\Delta\alpha_n = \Delta\alpha_c = \frac{\cos \Theta}{\sqrt{\left( \frac{V_n}{V_u} \right)^2 - \sin^2 \Theta}} \Delta\Theta. \quad (3)$$

Вираз (3) дозволяє визначити швидкість зміни кута курсу ЛВР, а відповідно, і динаміку зміни поточної навігаційної ситуації – наближення ЛВР до нашого судна по носу або кормі, що може свідчити про зростаючу небезпеку зіткнення.

Додатковим критерієм оцінки небезпеки зіткнення суден слугує динаміка зміни пеленгів цілей. Під час оцінки небезпеки навігаційної ситуації за зміною пеленгу необхідно керуватися такими положеннями:

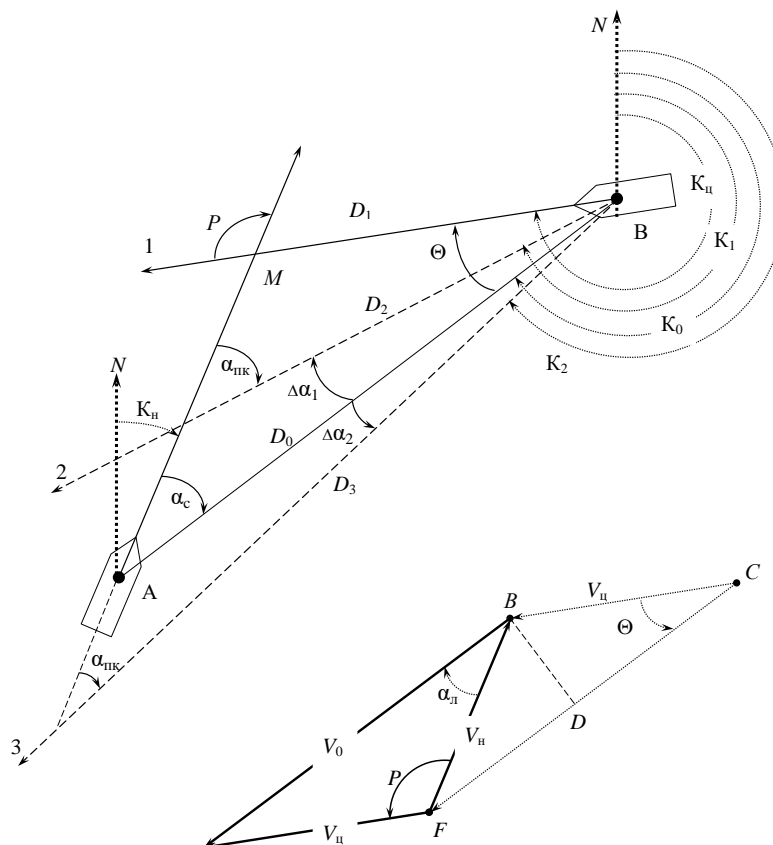


Рис. 1. Оцінка небезпеки зіткнення за зміною кута курсу ліній відносного руху

– якщо пеленг наближається, а ціль не змінюється, то розвивається ситуація зближення суден упритул;

– якщо пеленг наближається, а ціль змінюється, то у процесі розвитку ситуації судна розійдуться на деякій відстані, величина якої буде тим менша, чим повільніше змінюється пеленг цілі.

Судно виключається з розгляду СППР під час формування сценаріїв взаємодії в разі ідентифікації його як безпечного, але моніторинг параметрів руху такого судна триває під час перебування його в межах зони дії АІС та/або ЗАРП.

Обговорення отриманих результатів

Запропонована СППР судноводія здатна забезпечувати моделювання реальних навігаційних ситуацій із метою формування та вибору найбільш ефективних рішень із керування судном у випадках планування розходження суден та в надзвичайних ситуаціях. Це також дозволяє одночасно вирішувати комплекс задач із високоточного керування рухом судна з позицій досягнення заданого рівня безпеки й економічної ефективності. На основі проведених досліджень запропоновані нові методи побудови інтелектуальних СППР судноводія, які адаптовані до вимог сучасної електронної навігації (E-navigation).

У прикладному плані робота спрямована на створення програмного продукту, застосування якого дозволить вирішити важливе науково-прикладне завдання в галузі інформаційних технологій у судноводінні – підвищення безпеки керування суднами за рахунок упровадження новітніх інформаційних технологій, що забезпечить зниження аварійності на морському транспорті та збереження людських життів.

**ВИСНОВКИ.** В умовах інтенсивного використання сучасних інформаційних технологій у судноводінні розроблення та створення сучасних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень судноводія являє собою актуальну наукову і практичну задачу сьогодення. Розроблення таких систем потребує врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами керування судном. Створення інтелектуальної СППР судноводія дозволить одночасно вирішувати комплекс задач із оперативного керування рухом судна з позицій досягнення заданого рівня безпеки.

Запропоновані підходи до створення систем підтримки прийняття рішень судноводія та розроблені критерії оцінки небезпеки зіткнення суден дозволяють знизити ризики мореплавства і підвищити економічну ефективність судноводіння.

### Список літератури:

- [1] Снопков В.И., Конопелько Г.И., Васильева В.Б. Безопасность мореплавания. Москва : Транспорт, 1994. 247 с.
- [2] Методологические основы маневрирования судов при сближении / А.С. Мальцев, В.В. Голиков, И.В. Сафин и др. Одесса : ОНМА, 2013. 218 с.
- [3] Астреин В.В. Разработка технологий выработки решений по предупреждению столкновений судов в море : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.19. Новороссийск, 2010. 152 с.
- [4] Бень А.П. Принципы построения систем поддержки принятия решений судноводия. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон : Видавництво ХДМІ, 2010. Т. 1. С. 8–12.
- [5] Мальцев А.С., Тюпиков Е.Е., Ворохобин И.И. Маневрирование судов при расхождении. Одесса : ОНМА, 2013. 304 с.
- [6] Шерстюк В.Г., Бень А.П. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации. *Судовождение*. 2007. № 14. С. 141–144.
- [7] Bray D.J. Dynamic Positioning Operator Training. The official guide to The Nautical Institute training standards. London : The Nautical Institute, 1999. 250 p.
- [8] Ince A.N., Topuz E.J. Modelling and simulation for safe and efficient navigation in narrow waterways. *Navigation*. 2004. Vol. 57. № 1. P. 53–71.
- [9] Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system. *The Archives of Transport*. 2005. Vol. XVII. № 3–4. P. 133–147.
- [10] Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*. London ; Singapore : Balkema Publishers, 2005. Vol. 2. P. 1285–1292.
- [11] Голиков В.В., Репетей В.Д. Национальная морская система поиска и спасания : монография. Одесса : ОНМА, 2013. 219 с.
- [12] Алексишин А.В. Расчет граничных пеленгов к зонам безопасности судов. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 2(7). С. 8–15.
- [13] Алексишин А.В. (2013). Выявление ситуаций опасного сближения судов с помощью граничных пеленгов в автоматизированных комплексах судовождения. *Науково-виробничий журнал «Проблеми техніки»*. 2013. № 1. С. 117–123.
- [14] Бень А.П., Плющ В.Н. Критерии оценки опасности сближения судов. *Науковий вісник ХДМІ*. 2009. № 1(1). С. 12–15.