УДК 681.31

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СУДНОВОДІЯ

Паламарчук І. В., *к.д.п., Херсонська державна морська академія, e-mail: ihor3107@meta.ua, ORCID: 0000-0001-9161-1592*

Метою дослідження є розвиток сучасних концептуальних підходів до побудови систем підтримки прийняття рішень у судноводінні, визначення теоретичних та практичних засад створення таких систем та пріоритетних шляхів їх практичного впровадження. Із аналізу останніх публікацій виявлено, що широке використання нових інформаційних технологій і сучасних технічних засобів судноводіння призводить до збільшення детальності уявлення наявної навігаційної ситуації, але водночас ускладнюється її оцінка та скорочується час, доступний судноводієві для аналізу і розробки потрібного управлінського рішення. З цієї причини розробка систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія, що застосовує нові змістовні моделі процесу визначення небезпеки для управління судном при виникненні передумов виникнення аварійної ситуації є актуальною задачею сьогодення. Створення таких систем дозволить знизити негативний вплив людського фактору на процеси управління рухом судна. У статті розроблені теоретичні і практичні засади побудови СППР судноводія, що враховують особливості руху суден, процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння. Запропоновані нові математичні моделі управління процесом розходження суден. Отримані результати є підґрунтям для подальшого підвищення ефективності функціонування ергатичної системи «людина – технічні засоби судноводіння» та всебічного запровадження досягнень сучасних інформаційних технологій у процеси управління судном.

Ключові слова: *система підтримки прийняття рішень, судноводіння, розходження суден, людський фактор.*

DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.045-053

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Зростання кількості перевезень морем призводить до збільшення аварійності суден, що часто викликає техногенні катастрофи. За статистикою, в період з 2010 по 2019 роки нараховувалося 1186 випадків повної втрати суден по всьому світу.

За типами аварій з 2010 по 2019 рр. становили наступне: затоплення – 50,4 %; посадка на мілину – 20,6 %; пожежа/вибух – 9,9 %; зіткнення суден – 6,1 %; втрата керованості – 6,0 %; пошкодження корпусу (незалежне) – 4,1 %; контакт (з причалом/стороннім об'єктом) – 0,6 %; зникнення/викрадення піратами – 0,8 %; різне – 1,5 %. Слід зазначити, що найбільша кількість усіх втрат та аварій падає на вантажні судна.

Отже, згідно з указаною статистикою, можна зробити висновок, що основна кількість аварій у сучасному судноплавстві пов'язана з людським фактором і лише близько 20 % чинників пов'язані з технічними відмовами.

Така аналітика призводить до розуміння необхідності покращення стану речей у світовому судноплавстві шляхом запровадження новітніх інформаційних технологій у процеси керування судном. Одним з ефективних шляхів вирішення зазначеної проблеми є розробка та запровадження систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз існуючих робіт, які присвячені теорії та практиці створення СППР у судноплавстві, переконує у необхідності подальшої розробки таких систем та удосконалення існуючих [1–5]. Слід зазначити, що значною перешкодою на шляху вирішення цього питання стає відсутність чітких формальних моделей, які характеризують процеси взаємодії суден при розходженні [6]. Особливо це стосується ситуації невизначеності, зокрема, коли наявні два та більше суден, а умови огляду водної акваторії є недостатніми [7, 8, 9]. Ключовим фактором правильного рішення такої задачі є забезпечення ефективності рішень управління судном, що приймаються судноводієм.

Широке використання нових інформаційних технологій і сучасних технічних засобів судноводіння (ЗАРП, ЕКНІС, АІС, GPS) призводить до збільшення детальності уявлення наявної навігаційної ситуації, але водночас ускладнюється її оцінка, що скорочує час, доступний судноводію для аналізу й розробки потрібного управлінського рішення [10].

З метою подолання негативного впливу людського фактору і запобігання можливим наслідкам людських помилок у судноводінні, необхідно проводити послідовну політику вдосконалення механізмів і пристроїв, створювати в рамках інтелектуальних систем управління системи штучного інтелекту, орієнтовані на вирішення завдань контролю, оцінки ситуації, прийняття рішень і управління окремими судновими об'єктами, системами і пристроями.

З цієї причини розробка СППР судноводія, що застосовує змістовні моделі процесу визначення небезпеки для управління судном при виникненні передумов аварійної ситуації є актуальною задачею сьогодення.

Формулювання мети статті, постановка задачі. Метою статті є розвиток сучасних концептуальних підходів до побудови СППР у судноводінні, визначення теоретичних та практичних засад створення таких систем.

Для досягнення поставленої мети створено математичні моделі управління рухом суден при розходженні, що дозволяє вирішити важливу наукову й практичну задачу у сфері застосування інформаційних технологій у судноводінні – підвищення якості та безпеки управління судном шляхом створення СППР судноводія.

Об'єктом дослідження є математичні моделі управління рухом суден у СППР судноводія, теоретичні та практичні засади побудови СППР судноводія в умовах впливу людського фактору на процеси управління судном.

Предметом дослідження є процес прийняття рішень з управління рухом судна при розходженні. Особливістю прийняття рішень у судноводінні є необхідність формування і прийняття рішень в умовах реального часу та комплексної взаємодії всіх учасників навігаційної ситуації.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. При створенні СППР судноводія виникають труднощі у визначенні моменту настання надмірного зближення, коли необхідні термінові дії. Це відбувається через недостатню точність інструментальних засобів, відсутність методики оцінки небезпеки зіткнення в берегових системах управління рухом суден і юридичної відповідальності за свої рекомендації. Капітан приймає рішення і одноосібно несе відповідальність, залишаючи береговому центру функції координатора і джерела забезпечення інформацією.

Виконувати будь-яким з наявних способів окомірно оцінку небезпеки зіткнення оператор берегової радіолокаційної системи (БРЛС) не може через інтенсивність судноплавства, а якщо і виявляє надмірне зближення, то із запізненням. У зазначених випадках існує нагальна потреба в застосуванні СППР судноводія. Ключовим моментом створення таких систем є розробка математичних моделей аналізу і прогнозування руху суден при розходженні. Вирішенню цієї проблеми і присвячена стаття.

Позначимо кількість взаємодіючих суден у зоні відповідальності БРЛС через n. Параметри, виміряні від системи управління рухом суден, будемо позначати з індексом нуль. Судно, визначене оператором БРЛС, і для якого готується інформація, назвемо супроводжуваним. Позначимо відстань між супроводжуваним судном і іншими суднами через $D_{31}(t)$, між системою управління рухом суден (СУРС) і суднами через $D_{30}(t)$. Першою цифрою індексу завжди буде супроводжуване судно, а другою – інші судна або СУРС.

Тоді функцію відстаней між взаємодіючими суднами в часі можна записати як матрицю:

$$D(t)=\left\|\begin{array}{c|ccccc} 0 & D_{01}(t) & D_{02}(t) & D_{03}(t) & ..... & D_{0n}(t) \\ \hline D_{10}(t) & 0 & D_{12}(t) & D_{13}(t) & ..... & D_{1n}(t) \\ D_{20}(t) & D_{21}(t) & 0 & D_{23}(t) & ..... & D_{2n}(t) \\ D_{30}(t) & D_{31}(t) & D_{32}(t) & 0 & ..... & D_{3n}(t) \\ ..... & ..... & ..... & ..... & 0 & ..... \\ D_{n0}(t) & D_{n1}(t) & D_{n2}(t) & D_{n3}(t) & ..... & 0 \end{array}\right\|. \qquad (1)$$

У звичайних умовах більшість суден виявляються на відстані 12–18 миль, а оцінку ситуації і вибір маневру для розходження рекомендується виконувати при зближенні суден на відстань близько 6 миль.

При виконанні досліджень була поставлена задача визначення безпеки зближення суден різними пристроями СУРС залежно від характеру зміни лінії відносного руху ЛВР рухомих об'єктів з урахуванням динаміки параметрів руху як об'єкта можливого зіткнення, так і супроводжуваного судна.

Для виведення співвідношень розглянемо ситуацію зближення двох суден, представлену на рис. 1. Судно A характеризується параметрами: $V_н, K_н, D_0$ ($V_н$ – швидкість судна A, $K_н$ – курс судна A, D_0 – дистанція до судна B), судно B – параметрами: $V_ц, K_ц, D_0$ ($V_ц$ – швидкість судна B, $K_ц$ – курс судна B, D_0 – дистанція до судна A). K_0 – поточний курс ЛВР цілі, K_1, K_2 – можливі ЛВР цілі, α_c – курсовий кут судна В, $\alpha_{пн}$, $\alpha_{пк}$ – кути перетину відповідних ЛВРів з курсом судна A по носу і кормі відповідно, а D_0, D_2, D_3 – відстань від судна B до точок перетину його ЛВРів з курсом судна A. D_1 – дистанція до точки перетину курсів, P – різниця курсів.

Якщо $\alpha_c < \alpha_{пн}$, то ЛВР перетинає курс по носі, якщо $\alpha_c > \alpha_{пк}$, то ЛВР перетинає курс по кормі. Аналогічно для суден ліворуч – якщо $\alpha_c < \alpha_{лн}$, то ЛВР перетинає курс по носі, якщо $\alpha_c > \alpha_{лк}$, то ЛВР перетинає курс по кормі.

Дистанції між судном A і точками перетину ЛВРів судна B з курсом судна A залежатимуть від величини кутів $\alpha_{пк}$, $\alpha_{пн}$, які пов'язані з кутом α_c співвідношенням $\alpha_{пк} + \Delta\alpha_1 = \alpha_c = \alpha_{пк} - \Delta\alpha_2$.

Розглянемо 18 різних ситуацій зближення, які можуть мати місце при розходженні двох суден і вплив зміни кута на небезпеку їх зіткнення.

З аналізу табл. 1 видно, що як для суден праворуч, так і ліворуч маємо однакову ситуацію щодо зміни небезпеки зіткнення, пов'язаної зі зміною курсового кута ЛВР – у разі, якщо ЛВР проходить по носу, небезпека зіткнення зменшується при збільшенні кута ЛВР і збільшується при зменшенні.

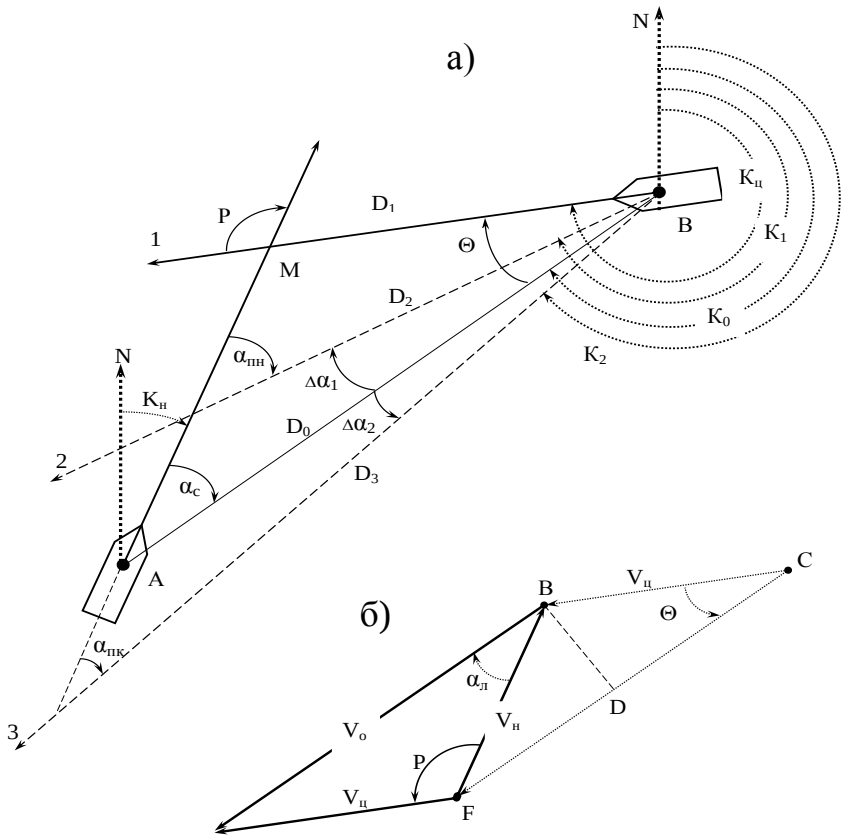

Рисунок 1 – Оцінка ситуації зближення за курсовим кутом ЛВР:
а) – трикутник позицій; б) – трикутник швидкостей

Таблиця 1 – Залежність небезпеки зіткнення суден від зміни кута ЛВР

Судно	***Курсовий кут ЛВР***	***№ з.п***	***Характеристика проходження ЛВР***	***Зміна ЛВР (+Δα - α росте) (−Δα - α зменш.)***	***Небезпека зіткнення, її зміна***
1	2	3	4	5	6
Праворуч	$\alpha_c < 90^0$	1	Перетинає курс по носі	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c < 90^0$	2	Проходить через ніс	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c < 90^0$	3	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c = 90^0$	4	Перетинає курс по носі	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c = 90^0$	5	Проходить через ніс	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c = 90^0$	6	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c > 90^0$	7	Перетинає курс по носі	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
Праворуч	$\alpha_c > 90^0$	8	Проходить через ніс	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c > 90^0$	9	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
Ліоруч	$\alpha_c < 90^0$	10	Перетинає курс по носі	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c < 90^0$	11	Проходить через ніс	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c < 90^0$	12	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c = 90^0$	13	Перетинає курс по носі	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c = 90^0$	14	Проходить через ніс	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c = 90^0$	15	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c > 90^0$	16	Перетинає курс по носі	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c > 90^0$	17	Проходить через ніс	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c > 90^0$	18	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується

Для випадку, коли ЛВР проходить по кормі, маємо залежність зміни небезпеки зіткнення від курсового кута ЛВР, зворотну з проходженням ЛВР по носі.

Більш точна оцінка зміни небезпеки зіткнення, зумовлена зміною кута ЛВР, вимагає встановлення залежності швидкості зміни кута ЛВР від швидкості зміни кута Θ ($\Theta = K_ц - K_0$). Скористаємося рівністю кута α_c в трикутнику позицій з кутом $\alpha_л$ в трикутнику швидкостей.

З векторного трикутника швидкостей кут за допомогою теореми синусів можна визначити як:

$$\frac{V_4}{V_н} = \frac{\sin a_n}{\sin\Theta}, \text{ або } a_n = \arcsin\left(\frac{V_4 \sin\Theta}{V_н}\right). \quad (2)$$

Диференціюючи вираз (2), визначимо швидкість зміни $a_л$ від Θ:

$$d\alpha_л = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{V_ц \sin\Theta}{V_н}\right)^2}} \frac{V_ц}{V_н} \cos\Theta d\Theta. \quad (3)$$

Спрощуючи вираз (3), отримаємо:

$$d\alpha_л = \frac{V_ц \cos\Theta d\Theta}{\sqrt{V_н^2 - V_ц^2 \sin^2\Theta}} = \frac{\cos\Theta d\Theta}{\sqrt{\frac{V_н^2}{V_ц^2} - \sin^2\Theta}}. \quad (4)$$

Отже, залежність швидкості зміни $a_п$ (a_c) від швидкості зміни Θ буде визначатися співвідношенням:

$$\Delta\alpha_л = \Delta\alpha_c = \frac{\cos\Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_н}{V_ц}\right)^2 - \sin^2\Theta}}\Delta\Theta. \quad (5)$$

З аналізу виразу (3) можемо зробити наступні висновки:

1) при $V_н = V_ц$ отримуємо $\Delta\alpha_c = \Delta\Theta$, тобто зміна ЛВР в точності відповідає зміні пеленга;

2) при $\Theta = 90^0$ та $\Theta = 270^0$ – маємо небезпечну ситуацію, коли ЛВР проходить через ніс і не змінюється;

3) при $\Theta = 0^0$ та $\Theta = 180^0$, а також близьких до них кутів Θ, $\Delta\alpha_c = \frac{V_ц}{V_н}\Delta\Theta.$

Отже, за різницею курсу цілі і відносного курсу визначається величина курсового кута ЛВР, що дає можливість розрахувати $\alpha_{пк}$ та $\alpha_{пн}$ за формулами: $\alpha_{пн} = \alpha_c + \Delta\alpha$, $\alpha_{пк} = \alpha_c - \Delta\alpha$. Беручи до уваги формулу (2), отримаємо остаточний вираз для розрахунку $\alpha_{пк}$ і $\alpha_{пн}$ зі зміни кута Θ:

$$\alpha_{пк} = \arcsin\left(\frac{V_ц \sin\Theta}{V_н}\right) - \frac{\cos\Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_н}{V_ц}\right)^2 - \sin^2\Theta}}\Delta\Theta, \quad (6)$$

$$\alpha_{пн} = \arcsin\left(\frac{V_ц \sin\Theta}{V_н}\right) + \frac{\cos\Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_н}{V_ц}\right)^2 - \sin^2\Theta}}\Delta\Theta. \quad (7)$$

Позиційний трикутник дозволяє визначити дистанцію перетину курсу (bow cross range – BCR):

$$BCR = \sqrt{D_0^2 + D_1^2 - 2D_0D_1\cos\Theta};$$

$$BCR = \sqrt{D_0^2 + D_1^2 + 2D_0D_1\cos\left(P + \alpha_c\right)}. \quad (8)$$

Знову, використовуючи теорему синусів і співвідношення $D_1/\sin\alpha_c = D_0/\sin P$, перетворимо вираз (8) до вигляду:

$$BCR = \sqrt{D_0^2 + D_0^2 \frac{\sin^2 \alpha_c}{\sin^2 P} + 2D_0^2 \frac{\sin \alpha_c}{\sin P} \cos(P + \alpha_c)} = D_0 \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha_c}{\sin^2 P} + 2\frac{\sin \alpha_c}{\sin P} \cos(P + \alpha_c)} \cdot \qquad ((9)$$

Тестування запропонованої моделі управління розходженням суден у СППР судноводія здійснювалося в Херсонській державній морській академії із застосуванням комплексу тренажерного обладнання Navi Trainer 5000 виробництва компанії TRANSAS, що підтвердило доцільність її практичного застосування в СППР судноводія.

Висновки і перспектива подальшої роботи в даному напрямі. Оцінка небезпеки зіткнення суден за єдиним інформаційним параметром – зміна напрямку ЛВР, дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень судноводієм при виборі маневру розходження. Порівнюючи з традиційними походами, які використовують спостережувані або обчислювані параметри, він дозволяє завчасно визначити небезпеку розвитку ситуації. Запропоновану методику оцінки небезпеки зіткнення за зміною курсового кута ЛВР доцільно використовувати в автоматизованих системах управління рухом суднен, берегових СУРС, а також при створенні спеціалізованих СППР судноводія.

Крім того, при використанні інформації від АІС у СУРС цей спосіб дозволяє визначити небезпечне зближення навіть при маневруванні суден, коли в наявних пристроях відбувається скидання супроводу суден-цілей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Maltsev A. S. The ways of Enhancing the safety of Navigation. *Thesis of the third General assembly of IAMU*. Rock port, USA. 2002. Sec. II A. P.16–26.

2. Maltsev A. S. Five steps to assure navigational safety. *Collection of IAMU scientific works.* Dalian : Maritime University Press. 2006. P. 170–179.

3. E. Mitropoulos. E-navigation: a global resource. *Seaways.* The Nautical Institute. March 2007. P. 7–9.

4. Мальцев А. С., Стариков И. М. Психологические аспекты маневра последнего момента. *Судовождение: сб. научн. трудов*. ОНМА. Одесса : «Латстар», 2002. Вып. 4. С. 64–81.

5. Шерстюк В. Г., Бень А. П. Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном. *Искусственный интеллект.* 2008. № 3. С. 490–499.

6. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system. *The Archives of Transport.* 2005. No 3-4, Vol. XVII. P. 133–147.

7. Lopez Eloy, Velasc Francisco J., Moyano Emiliano, Rueda Teresa M. Full-scale manoeuvering trials simulation, *Journal of Maritime Research.* 2004. Vol. I. No. 3. P. 37–50.

8. Мальцев А. С., Голиков В. В., Жуков Д. С. Обобщенный критерий оценки согласованности системы управления и характеристик человека-оператора. *Вісник Одеського національного морського університету : зб.наук.праць.* Вип.24. Одеса : ОНМУ, 2008. С.65–75.

9. IMO SUB-committee on safety of navigation. 58th session. Agenda item 6. NAV 58/WP.6/Rev.l. E-Navigation. July 2012.

10. Lisowski J. Mathematical modeling of a safe ship optimal control process. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2005. Vol. 14. P. 68–75.

REFERENCES

1. Maltsev A. S. (2002). The ways of Enhancing the safety of Navigation. *Thesis of the third General assembly of IAMU.* Rock port, USA, 2002. Sec. II A, 16-26.

2. Maltsev A. S. (2006). Five steps to assure navigational safety. *Collection of IAMU scientific works.* Dalian : Maritime University Press, 170-179.

3. Mitropoulos E. (2007). E-navigation: a global resource. *Seaways.* The Nautical Institute. 7–9.

4. Mal'cev A. S. & Starikov I. M. (2002). Psihologicheskie aspekty manevra poslednego momenta. *Sudovozhdenie: sb. nauchn. Trudov*, 4, 64–81.

5. Sherstyuk V. G., Ben' A. P. (2008). Gibridnaya intellektual'naya SPPR dlya upravleniya sudnom. *Iskusstvennyj intellekt, Vol.* 3, 490–499.

6. Lisowski J. (2005). Game control methods in navigator decision support system. The *Archives of Transport, 3–4, Vol. XVII,* 133–147.

7. Lopez Eloy, Velasc Francisco J., Moyano Emiliano, Rueda Teresa M. (2004). Full-scale manoeuvering trials simulation. *Journal of Maritime Research, Vol. I. No. 3*, 37–50.

8. Mal'cev A. S. Golikov V. V. & Zhukov D. S. (2008). Obobshchennyj kriterij ocenki soglasovannosti sistemy upravleniya i harakteristik cheloveka-operatora. *Visnik Odes'kogo nacional'nogo mors'kogo universitetu : zb.nauk.prac'. Vol.24.* Odesa: ONMU. 65–75.

9. IMO SUB-COMMITTEE ON SAFETY OF NAVIGATION. 58th session. Agenda item 6. NAV 58/WP.6/Rev.l. E-NAVIGATION. July 2012.

10. Lisowski J. (2005). Mathematical modeling of a safe ship optimal control process. *Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 14.* 68–75.

Паламарчук И. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СУДОВОДИТЕЛЯ

Целью исследования является развитие современных концептуальных подходов к построению систем поддержки принятия решений в судовождении, определение теоретических и практических основ создания таких систем и приоритетных путей их практического внедрения. Из анализа последних публикаций выявлено, что широкое использование новых информационных технологий и современных технических средств судовождения приводит к увеличению детальности представления имеющейся навигационной ситуации, но одновременно усложняется её оценка и сокращается время, доступное судоводителю для анализа и разработки нужного управленческого решения. По этой причине разработка систем поддержки принятия решений (СППР) судоводителя, которые используют новые содержательные модели процесса определения опасности для управления судном при возникновении предпосылок возникновения аварийной ситуации, является актуальной задачей настоящего времени. Создание таких систем позволит снизить негативное влияние человеческого фактора на процессы управления движением судна. В статье разработаны теоретические и практические основы построения СППР судоводителя, учитывающие особенности движения судов, процесса взаимодействия человека с техническими средствами судовождения. Предложены новые математические модели управления процессом расхождения судов. Осуществлена классификация судов по степени опасности в зависимости от изменения угла линии их относительного движения. Представлены критерии количественной оценки уровня опасности судна на основе анализа изменения угла линии его относительного движения. Полученные результаты являются основой для дальнейшего повышения эффективности функционирования эргатической системы «человек – технические средства судовождения» и всестороннего внедрения достижений современных информационных технологий в процессы управления судном.

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, судовождение, расхождение судов, человеческий фактор.*

Palamarchuk I. V. MODELING THE DIVERGENCE OF SHIPS IN THE DECISION SUPPORT SYSTEM OF THE NAVIGATOR

The aim of the study is to develop modern conceptual approaches to the construction of decision support systems in navigation, to determine the theoretical and practical foundations for creating such systems and priority ways of their practical implementation. From the analysis of recent publications, it has been revealed that the widespread use of new information technologies and modern technical means of navigation leads to an increase in the detail of the present navigation situation, but at the same time its assessment becomes more complicated and the time available to the navigator for analysis and development of the necessary control decision is reduced. For this reason, the development of decision support systems (DSS) for the navigator, which use new meaningful models of the hazard identification process for navigating a ship in the event of prerequisites for an emergency, is an urgent task of the present time. The creation of such systems will reduce the negative impact of the human factor on the processes of ship traffic control. The article

develops theoretical and practical foundations for constructing a DSS for a navigator, taking into account the peculiarities of the movement of ships, the process of human interaction with technical means of navigation. The article develops theoretical and practical foundations for constructing a DSS for a navigator, taking into account the peculiarities of the movement of ships, the process of human interaction with technical means of navigation. New mathematical models of control over the process of divergence of ships are proposed. The classification of ships according to the degree of danger is carried out, depending on the change in the angle of the line of their relative movement. Criteria for a quantitative assessment of the hazard level of a ships based on the analysis of changes in the angle of the line of its relative motion are presented. The results obtained are the basis for further increasing the efficiency of the functioning of the ergatic system «man - technical means of navigation» and the comprehensive implementation of the achievements of new information technologies in the ship control processes.
Keywords: *decision support system, navigation, divergence of ships, human factor.*

© Паламарчук І. В.

Статтю прийнято
до редакції 18.05.20