

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СУДНОВОДІЯ

*Бень А.П.,*

*Херсонська державна морська академія*

*У статті розглядають методологічні засади створення системи підтримки прийняття рішень судноводія, визначено перспективні напрямки розвитку таких систем та запропоновано критерії оцінки рівня небезпеки суден при аналізі навігаційних ситуацій.*

*Ключові слова: система підтримки прийняття рішень судноводія, критерії оцінювання рівня небезпеки, людський фактор судноводіння.*

**Вступ.** Значне зростання інтенсивності морських перевезень за останнє десятиріччя призвело до збільшення кількості морських аварій, у тому числі з людськими жертвами та складними техногенними наслідками, тому підвищення безпеки судноводіння є однією з найбільш важливих проблем сучасного судноплавства. Застосування сучасних інформаційних систем управління рухом судна, з одного боку, полегшує труд судноводіїв, але з іншого – чим складніше функції таких систем, тим гостріше відчувається потреба в координуванні роботи технічних засобів і в інтегруванні інформації, що надається судноводію. Впровадження новітніх технічних засобів управління рухом судна природним чином «відокремлює» судноводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки, оскільки він не в змозі повністю безпосередньо контролювати цей рівень в реальному часі. Як показує аналіз причин виникнення аварій на морі [1, 3], головним їх чинником є і залишається так званий людський фактор (близько 80 відсотків всіх випадків) – більшість навігаційних аварій відбуваються не через відмову технічних засобів навігації або керування рухом судна, а через неготовність судноводіїв своєчасно приймати рішення відповідно до ситуації, що складається. Зниження впливу людського фактору на рівень аварійності на морі являє актуальну науково-практичну проблему сьогодення, яку необхідно вирішувати в розрізі оптимізації взаємодії судноводія з сучасними технічними засобами. Звідси випливає, що велику увагу необхідно приділяти не тільки особистим і діловим якостям судноводія, а і їх прояву в складній ергатичній системі з управління рухом судна.

**Постановка задачі.** На підставі аналізу ряду публікацій, присвячених тематиці, що розглядається, [1-6], можна зробити висновок, що на поточний час питання створення та практичного впровадження систем підтримки прийняття рішень для задач судноводіння пророблені недостатньо і викликають значний інтерес у дослідників. Метою роботи є визначення перспектив розвитку систем підтримки рішень судноводія та розробка методологічних засад їх побудови.

**Основна частина.** При визначенні специфіки взаємодії судноводія з технічними засобами слід прийняти до уваги, що сучасне морське судно

разом з представниками плавскладу на борту являє собою один з різновидів діючої системи «людина – машина», яка за видом є ергатичною системою. Сучасні автоматизовані системи, що застосовуються на судні, призначені для полегшення і спрощення трудової діяльності представників суднового екіпажу, зменшення з їх боку помилок, зниження чисельності персоналу судна, підвищення ефективності і безпеки процесів управління.

Однак, практика доводить, що разом з позитивними аспектами обладнання сучасних суден новітніми технічними засобами та автоматизованими системами, в якості передумови професійних помилок представників плавскладу часто виступає неузгодженість параметрів взаємодії людини з цими технічними засобами, неефективний розподіл функцій між ними та представниками плавскладу. Підставою тому є безпосередня специфіка автоматизованих систем, а також процесу психологічного професійного реагування на її технічні показники з боку судових операторів. Тому, саме автоматизація часто виступає причиною багатьох морських аварій і катастроф, оскільки її високий рівень на борту судна породжує ряд специфічних психологічних проблем у сфері людино-машинної взаємодії. Часто це пов'язано з пасивністю чи зниженням провідної ролі операторів в процесі безпосереднього управління технічними системами та прийняття на цієї підставі певних управлінських рішень.

Аналіз процесів прийняття рішень судноводієм, дозволяє виявити п'ять базових принципів, які застосовуються ним на практиці:

- увага судноводія концентрується переважно не на варіантах розв'язання задачі розходження, а на умовах перебігу процесу управління судном, які він аналізує, спираючись на свій досвід практичної діяльності;
- при сприятливих умовах (невелика кількість об'єктів, добра видимість, відсутність втоми) судноводій здатний самотійно долати фактори неточності й невизначеності опису навігаційної ситуації й оперативно приймати вірне рішення на основі наявного досвіду;
- при несприятливих умовах, наявності численних і різноманітних впливів зовнішнього середовища, судноводій вирішує задачу розходження на основі найбільш значущих факторів і системи узагальнених оцінок, не беручи до уваги багатьох «несуттєвих» деталей, свідомо огрублюючи задачу для більш швидкого її виконання;
- аналізуючи інформацію про навігаційну ситуацію в зоні маневрування, судноводій підсвідомо оцінює динаміку навігаційних параметрів, екстраполюючи їх очікувану зміну в часі й формуючи єдину модель подальшого її розвитку;
- у складних умовах судноводій постійно оцінює не тільки динаміку розвитку подій у зоні маневрування, але й імовірність досягнення поставленої мети, яка проявляється у вигляді емоційного відчуття успіху або тривоги.

Стрімкий розвиток технічних засобів судноводіння, удосконалення судових радіолокаційних систем і особливо використання для обробки

одержуваної інформації спеціальних процесорів дозволили вести безперервний моніторинг навігаційної ситуації та здійснювати контроль за зміною навколишньої обстановки і спостереження (в тому числі і автоматичне) за багатьма рухомими та нерухомими об'єктами, які можуть створювати потенційну небезпеку зіткнення.

Обчислення на певний момент часу майбутнього положення свого судна та зустрічних об'єктів дає можливість вибрати і при необхідності здійснити оптимальний маневр розходження суден або безпечне проходження нерухомих перешкод.

Наявний досвід розробки систем підтримки прийняття рішень (СППР) в судноводінні дозволяє зробити висновок, що для ефективного практичного застосування таких систем необхідно дотримання низки важливих вимог, які обумовлені, з одного боку, особливостями функціонування та практичного впровадження безпосередньо СППР, а з іншого – безпосередньо умовами прийняття рішень в судноводінні.

Зазначені обставини обумовлюють наступні вимоги до СППР судноводія:

- робота СППР в режимі реального часу і її інтеграція з наявними на судні системами управління рухом;
- необхідність врахування під час роботи СППР всіх вимог міжнародних правил попередження зіткнення суден (МППЗС-72);
- необхідність графічного подання ситуації, що склалася, з візуальними відзначенням меж зон безпеки власного судна та динамки їх змін;
- необхідність аналізу під час прийняття рішень декількох можливих сценаріїв розходження, зумовлених цілеспрямованою поведінкою суден-цілей під час їх руху;
- необхідність врахування впливу зовнішніх умов в зоні маневрування, зокрема гідрометеорологічного фактору, наявних глибин, вузькостей та навігаційних небезпек;
- врахування попереднього досвіду управління рухом судна в аналогічних умовах, якщо такої мав місце.

Окремим важливим аспектом розробки СППР є визначення системи критеріїв оцінювання рівня небезпеки навігаційної ситуації, що склалася. Передбачається доцільним застосування комплексної оцінки рівня небезпеки, що базується на системі критеріїв, на основі яких з застосуванням існуючих методів багатокритеріального оцінювання будується узагальнений критерій.

*Критерій найкоротшого зближення за часом або дистанцією.* Зазначені критерії широко використовується в автоматичних системах радіолокаційної прокладки (АСРП). Критерій найкоротшого зближення за дистанцією полягає в тому, що штурман встановлює мінімальну допустиму дистанцію зближення з іншими судами ( $D_{кр}$ ). Якщо умова  $D_{зад} > D_{кр}$  не задовільняється, необхідно провести маневр для обходу навігаційного об'єкта на безпечній відстані. Критерій це час найкоротшого зближення за

часом  $t_{кр}$ , його мінімальне значення ( $t_{зад}$ ) – також задає штурман. Якщо умова  $t_{зад} > t_{кр}$  не задовольняється, тоді маневр уникнення зіткнення повинен бути здійснений негайно, щоб судна могли обійти один одного на безпечної дистанції. Комплексний критерій найкоротшого зближення одразу два параметри і  $D_{кр}$  і  $t_{кр}$ .

*Критерій зони безпеки судна.* При управлінні судном судноводій визначає певну зону навколо судна, в якій виокремлюють небезпечну і безпечну ділянки. Зазначену зону судноводій намагається тримати вільною від інших об'єктів і будь-яке потрапляння в її межі сторонніх цілей, являє собою загрозу навігаційної безпеки. Форма зон може бути у вигляді кола, прямокутника, еліпса, трикутника, або у вигляді складних фігур. Її розміри залежать від значної кількості факторів, що ускладнює точне визначення меж. При прийнятті рішення з визначення меж зони безпосередньо судноводієм має місце фактор суб'єктивності оцінки рівня небезпеки.

*Критерій нечіткої зони безпеки судна.* Критерій є розширенням попереднього критерію в тому сенсі, що зона безпеки визначається із застосуванням функції приналежності і має нечіткі межі. Її форма і розмір залежать від поточного рівня навігаційної безпеки, який визначається як ступінь належності навігаційної обстановки до безпечної ситуації. Межі нечіткій області для різних значень рівня навігаційної безпеки –  $\gamma$  ( $\gamma \in [0, 1]$ );  $\gamma = 0$  – безпечні умови;  $\gamma = 1$  – дуже небезпечні умови. В залежності від умов, судноводій приймає мінімально допустимий рівень  $\gamma$  та/або шукає компроміс між цим критерієм та іншими критеріями оцінки небезпеки зіткнення.

*Критерій оцінки динаміки змін навігаційних параметрів руху.* В якості основного параметру критерієм розглядається зміна курсового кута лінії відносного руху, а в якості допоміжних – динаміку змін пеленгів і дистанцій суден [2]. Якщо пеленг, цілі що наближується, не змінюється – виникає ситуація небезпечного зближення суден, якщо пеленг змінюється – судна розійдуться на деякій відстані, величина якої тим менша, чим повільніше відбувається зміна пеленгу цілі.

Представляється доцільним використання в якості основного параметра для такої оцінки зміну курсового кута лінії відносного руху (ЛВР) суден, а в якості додаткового параметру – зміну їх пеленгів і дистанцій.

Розглянемо ситуацію зближення двох суден, представлену на рис 1. Судно характеризується параметрами:  $V_n, K_n, D_0$  ( $V_n$  – швидкість судна А,  $K_n$  – курс судна А,  $D_0$  – дистанція до судна В), судно В – параметрами:  $V_u, K_u, D_0$  ( $V_u$  – швидкість судна В,  $K_u$  – курс судна В,  $D_0$  – дистанція до судна А).  $K_0$  – поточний курс лінії відносного руху (ЛВР) цілі,  $K_1, K_2$  – можливі ЛВР цілі,  $\alpha_c, \alpha_{лк}, \alpha_{нк}$  – кути перетину відповідних ЛВРів з курсом судна А, а  $D_0, D_2, D_3$ , – від судна В до точок перетину його ЛВРів з курсом судна А.  $D_1$  – дистанція до точки перетину курсів,  $P$  – різниця курсів.

Якщо  $\alpha_c < \alpha_{mk}$ , то ЛВР перетинає курс по носу, якщо  $\alpha_c > \alpha_{mk}$ , то ЛВР перетинає курс по кормі. Більш точна оцінка зміни небезпеки зіткнення, обумовленої зміною кута ЛВР, вимагає встановлення залежності швидкості зміни кута ЛВР від швидкості зміни кута  $\Theta$  ( $\Theta = K_y - K_0$ ). Скористаємося рівністю кута  $\alpha_c$  в трикутнику позицій з кутом  $\alpha_l$  в трикутнику швидкостей.

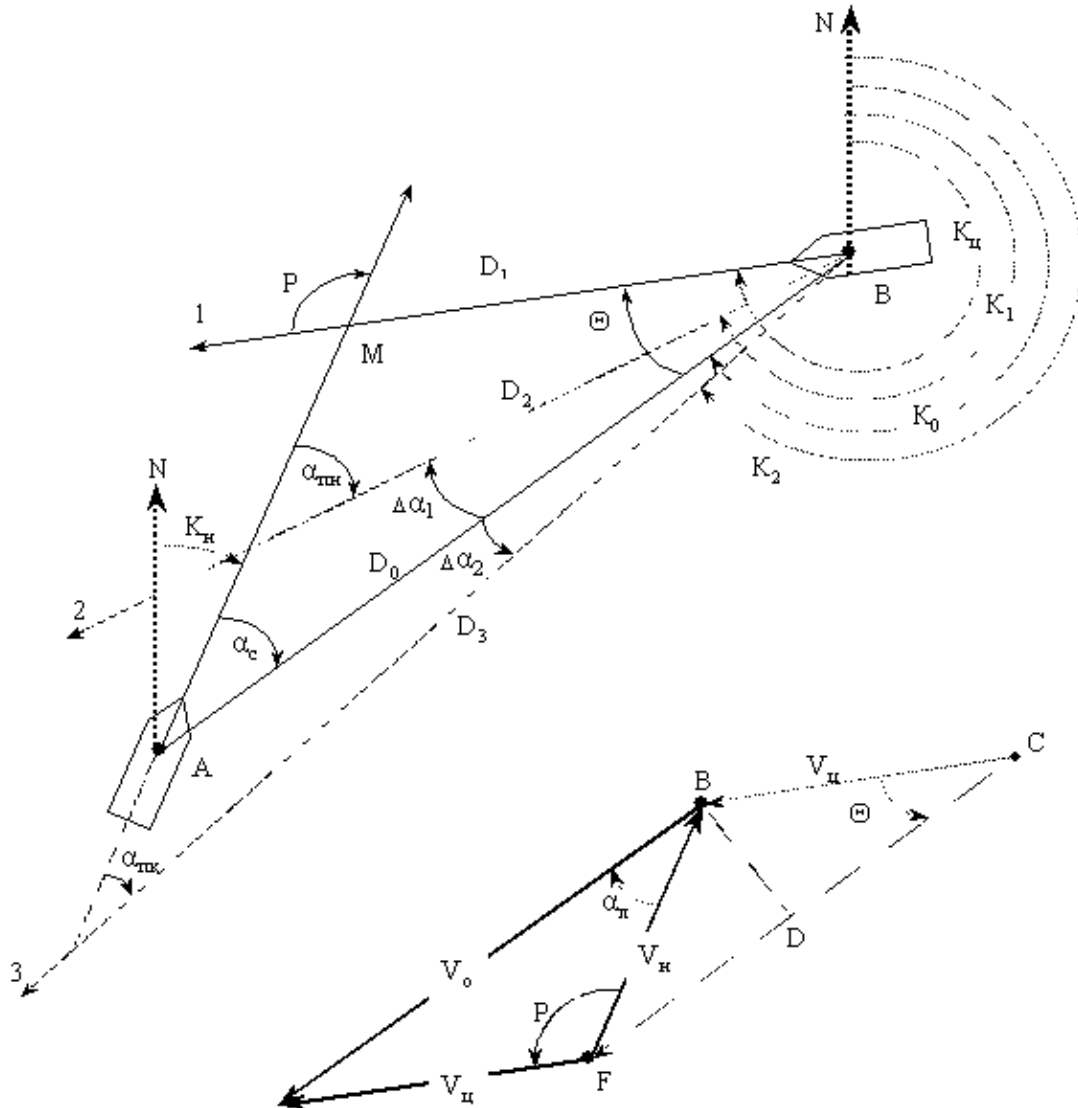


Рисунок 1 – Оцінка небезпеки зіткнення по зміні курсового кута ЛВР

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

$$\frac{V_y}{V_n} = \frac{\sin \alpha_l}{\sin \Theta}, \text{ или } \alpha_l = \arcsin \left( \frac{V_y \sin \Theta}{V_n} \right). \quad (1)$$

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

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

Спростуючи вираз (2), отримаємо:

$$d\alpha_n = \frac{V_y \cos \Theta d\Theta}{\sqrt{V_n^2 - V_y^2 \sin^2 \Theta}} = \frac{\cos \Theta d\Theta}{\sqrt{\frac{V_n^2}{V_y^2} - \sin^2 \Theta}}. \quad (3)$$

Отже, залежність швидкості зміни  $\alpha_n(\alpha_c)$  від швидкості зміни визначатиметься співвідношенням:

$$\Delta\alpha_n = \Delta\alpha_c = \frac{\cos \Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_n}{V_y}\right)^2 - \sin^2 \Theta}} \Delta\Theta \quad (4)$$

Вираз (4) дозволяє визначити швидкість зміни курсового кута ЛОД, а, отже, динаміку зміни поточної навігаційної ситуації – наближення ЛОД до нашого судна по носу або по кормі свідчить про зростаючу загрозу зіткнення. Додатковим критерієм оцінки небезпеки зіткнення може служити динаміка зміни пеленгів суден. З метою підвищення точності оцінки необхідно брати серію пеленгів, що дозволить судити про їх постійність, і, відповідно, про наявність небезпеки зіткнення. При оцінці небезпеки навігаційної ситуації по зміні пеленга необхідно керуватися наступними положеннями:

- якщо пеленг цілі, що наближається, не змінюється, то розвивається ситуація зближення судів впритул;
- якщо пеленг цілі, що наближається, змінюється, то в процесі розвитку ситуації суду розійдуться на деякій відстані, величина якої буде тим менше, чим повільніше змінюється пеленг цілі.

У разі, якщо судна розходяться на незначній відстані, по мірі їх зближення швидкість зміни пеленга збільшується, досягаючи найбільшої величини у момент зближення на найкоротшу відстань  $D_{кр}$ . Аналіз ситуації небезпеки зіткнення суден проводиться на підставі даних суднової станції радіолокації (РЛС) в період від моменту виявлення цілі до початку маневру по відстані  $D_{кр}$ , визначуваного прокладенням радіолокації. При виявленні судна РЛС необхідно враховувати погрішність  $D_{кр}$  визначення величини, що виникає внаслідок випадкових погрішностей пеленгації, а також розміри суден.

Застосування зазначених критеріїв дозволяє розрахувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна.

Беручи до уваги вищезазначені вимоги до створення СППР, особливості процесу прийняття рішень судноводієм, та критерії оцінки небезпеки зіткнення можна визначити концептуальні засади побудови СППР судноводія, що працює в реальному часі:

- рух кожного із суден – учасників навігаційної ситуації повинен розглядатися з позицій цілеспрямованої поведінки, що має за мету уникнення зіткнень з іншими суднами, максимально дотримуючись при цьому вимог МППЗС-72;

- для аналізу процесу розвитку навігаційної ситуації, що склалася, необхідно будувати кількакрокові сценарії розвитку ситуації, беручи до уваги динамічні моделі поведінки суден – учасників руху;

- в якості формальних моделей побудови сценаріїв доцільно застосовувати математичний апарат теорії ігор (неантагоністичні моделі) у поєднанні з методами штучного інтелекту;

- кількість можливих сценаріїв розвитку навігаційної ситуацій, що аналізуються доволі значна і її необхідно зменшувати, виходячи як з обмежень МППЗС-72, так і динаміки змін ключових параметрів руху суден (ліній відносного руху, пеленгів та швидкостей). Для зазначених цілей найбільш доцільно застосовувати каталог ситуацій [6].

**Висновки.** Запропоновані принципи побудови СППР судноводія дозволять скоротити час на розробку необхідного програмного забезпечення, підвищити достовірність класифікації суден за рівнем небезпеки і точність визначення прогнозних траєкторій їх руху, та забезпечити судноводію більший проміжок часу на маневрування.

Застосування СППР дозволить підвищити безпеку судноводіння за рахунок якісного аналізу навігаційної ситуації в реальному часі, виключення фактору суб'єктивності оцінки ситуації, що склалася, та зменшення, як наслідок, впливу людського фактору на процеси прийняття рішень з управління рухом судна.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексейчук М. С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов / М. С. Алексейчук // Судовождение : сб. науч. трудов ОГМА. – 1999. – Вып. 1. – С. 7-14.

2. Бень А. П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений / А. П. Бень // Вестник ХНТУ : сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.

3. Мальцев А. С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 11. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – С. 74-86.

4. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса : Морской тренажерный центр, 2008. – 235 с.

5. Мальцев А. С., Орлов Е. О. Некоторые особенности применения АИС для предупреждения столкновений судов // Судовождение. – 2007. – № 14. – С. 71-78.

6. Мальцев А. С. Каталог ситуаций и видов маневра при относительном движении судов // ОНМА, кафедра «Управление судном», 2005. – 38 с.

**Бень А.П. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СУДОВОДИТЕЛЯ**

*В статье рассмотрены методологические основы создания системы поддержки принятия решений судоводителя, определены перспективные направления развития таких систем и предложены критерии оценки уровня опасности для судов, исходя из анализа навигационной ситуации.*

*Ключевые слова: система поддержки принятия решений судоводителя, критерии оценивания уровня опасности, человеческий фактор судовождения.*

**Ben A.P. FUTURE DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SKIPPERS**

*The article considers the methodological principles of creating decision support systems navigators, identified promising directions of development of such systems and propose criteria for assessing the level of risk ships navigating in analyzing situations.*

*Keywords: decision support system navigators, the criteria for evaluation of risk, human factors navigation.*