

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Сорокунський О.Ю.¹; Терлич С.В., к.т.н.²; Терлич А.С.³

¹Херсонський морський коледж рибної промисловості;

²Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

³Гімназія Новокаховської міської ради

¹Херсон, Україна; ²Миколаїв, Україна; ³Нова Каховка, Україна

¹sorokunskiy3333@gmail.com; ²stterlych@ukr.net; ³slavuslimanskii@gmail.com

Анотація. Розроблено математичну модель запобігання зіткнення суден враховуючи фактори оточуючого середовища та можливості відхилення від Міжнародних правил попередження зіткнення суден (COLREG-72).

Ключові слова: зіткнення суден; зовнішнє середовище попередження; оптимізація; COLREG-72.

Вступ. Під час прийняття кращого рішення щодо попередження зіткнення суден судноводій, на якого лягає відповідальність за безпечного розходження, розглядає багато особливостей процесу попередження зіткнення суден під час транспортування вантажів морем:

- можливості свого та зустрічного судна для розходження;
- ризику та невизначеності стану судна та довкілля;
- можливості використання COLREG-72 [1], альтернативні дії, тощо.

Правилом 5 (Спостереження) [1] судноводій повинен «оцінити ситуацію та небезпечність зіткнення». Принципова складність цієї задачі оцінювання ситуації та вибору кращої дії у динамічній ситуації, яка відносно швидко змінюється при зустрічних курсах суден, полягає у неможливості апріорного визначення того, що назвати «кращим рішенням». Кожен судноводій вкладає свій зміст у це поняття. Більш того, невелике змінювання збудливої дії оточуючого середовища може призвести до змінення змісту «кращого рішення».

Метою дослідження є удосконалення математичного механізму прийняття рішень під час розходження морських суден. Для цього випадку прийняття рішення можна представити графічно, як показано на рис.1.

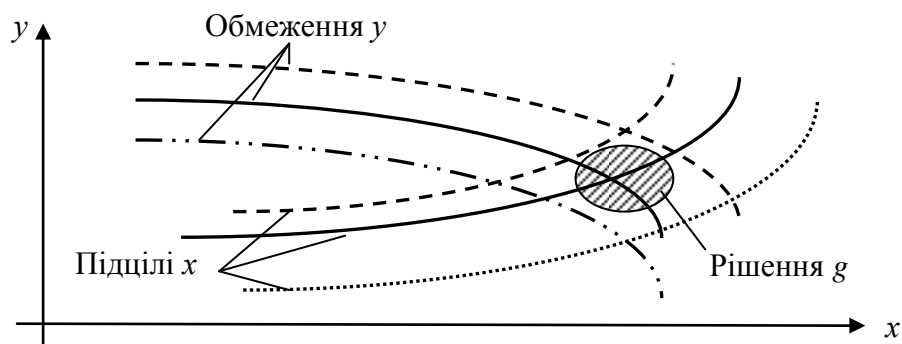


Рисунок 1 – Перетини та злиття підцилей та обмежень

Виходячи з рисунку 1 можна стверджувати, що

$$g \in (x \cap y), \quad (1)$$

де d – рішення; x – обмеження; y – підцілі процесу попередження зіткнення суден (ППЗТ).

На рис. 1 також видно, що чим більше факторів пред'явлено судноводію, тим область допустимих рішень стає більш розмитою. У визначені розпитою рішення (d) попередження зіткнення суден як перетин або злиття під цілей (x) та обмежень (y) як правило передбачає, що усі значення, які входять у (d) підцілі та обмеження мають у деякому сенсі однакову важливість. В той же час це не так. У деяких ситуаціях деякі підцілі та деякі обмеження становляться більш важливими, ніж інші і більш того за мірою зближень суден ці підцілі змінюються кількісно та якісно.

Основний текст. Поняття *кращого рішення* \hat{g} залежить від досить великої кількості факторів, які практично неможливо врахувати у рамках фіксованої математичної моделі через особливість їх кількості, а також через неможливість математично описати різноманітних невизначеностей ППЗТ, які впливають на остаточне рішення [2].

Процес, який досліджується у статті схематично наведено на рис. 2. ППЗТ належить до рівня багаторівневих багатоцільових систем та складається із елементів прийняття рішення (C_1, C_2, \dots, C_n), які мають свої власні підцілі та (C_0) координатора. Отримання достатньо повного та точного оцінювання, навіть простої ситуації, вимагає врахування сукупності всіх підсистем $C = \{C_1; C_2; \dots, C_n\}$ у їх взаємозалежностях. Задачу прийняття кращого рішення серед під цілей ППЗТ треба шукати у ієрархічному підході [3]. Для цього спочатку розбивають сімейство які формують підцілі (рис. 2). Потім описують системи та їх призначення. Підсистема (C_1) – відповідає за генерацію правил для попередження зіткнення суден, які необхідні для забезпечення розходження суден на небезпечну відстань (D_i) компенсацією ситуаційного збурення на основі керованих та некерованих факторів складу судна та навколишнього середовища. Підсистема (C_2) – стан судна – ідентифікує експлуатаційні показники виконавчих пристроїв у відповідності із технічним регламентом та оперує факторами надійності, працездатності технічних засобів та механізмів судна. Підсистема (C_{n-1}) розв'язує задачі отримання максимального прибутку від транспортування вантажу, визначає його економічну ефективність та оперує комерційними факторами – коштовність, витрати, прибуток, ефективність тощо.

Для виконання безпечного розходження суден дії усіх підсистем повинні бути скоординованими. Ситуаційний оптимум ППЗТ формується на основі компромісу між усіма підцілями, так як рішення які вироблюють підсистеми, як правило не співпадають. У цьому випадку роль відводиться COLREG-72, тобто «командному елементу», який має пріоритет у випадку виникнення небезпеки зіткнення суден і може змінювати ієрархію підцілей. Таким чином, пророблення кращого рішення передбачає баланс взаємозв'язків:

складність оточуючого середовища \rightarrow стан судна $\rightarrow D_i \rightarrow$ стратегія \rightarrow краще рішення.

Перед керуванням Системою попередження зіткнення суден (СПЗС) слід розуміти спосіб переведення ситуації із небезпечного у безпечний стан за допомогою вектора стратегій [4]

$$Q_p^* = \{Q_1^*; Q_2^*; \dots; Q_n^*\}, \quad (2)$$

де p – ступінь небезпечної ситуації; Q_p^* – вектор стратегії управління СПЗС; $\{Q_1^*; Q_2^*; \dots; Q_n^*\}$ – вектори стратегії компенсації небезпечного ситуаційного збурення.

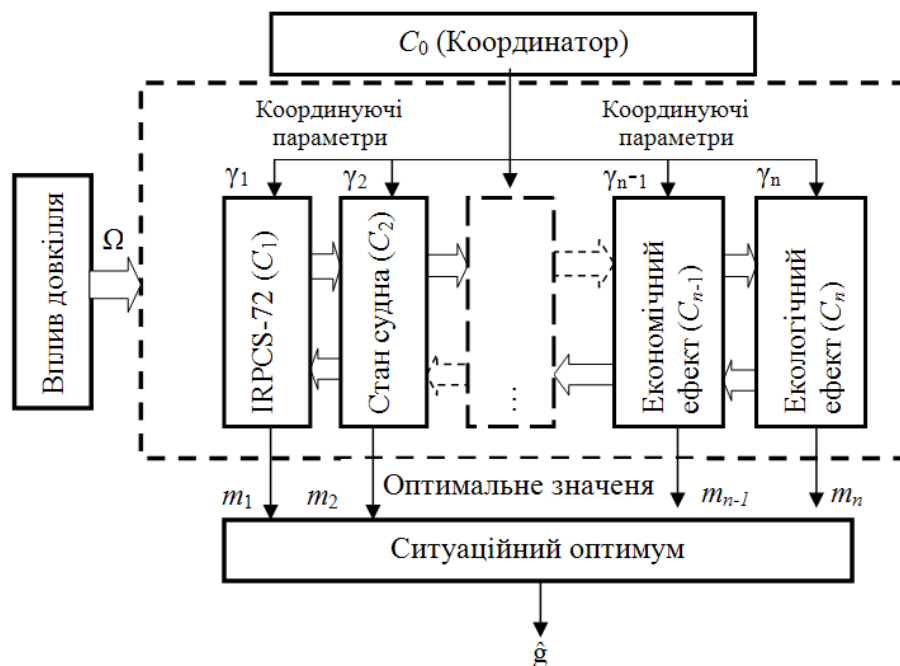


Рисунок 2 – Представлення моделі ППЗТ

Виходячи із цих параметрів, ступінь небезпеки оточуючої середовища (ρ) можна позиціонувати у одному із квадрантів матриці (табл. 1). Принципи координування СПЗС породжують сімейства стратегій маневрування у залежності від суперпозиції поставленої мети, яка в свою чергу у формі максимального ступеня рішення, яке треба досягти у вигляді кращого рішення – \hat{g} у кожному квадранті табл. 1.

Квадрант 1 – характеризується низькою невизначеністю. В цьому випадку слід очікувати, що навколишнє середовище не зможе істотно впливати на рішення, які приймаються судноводієм.

Квадрант 2 – характеризується помірною невизначеністю і є вже більш напруженим для судноводіїв. Ступінь складності оточуючого середовища вводить елемент ризику у процес прийняття рішення.

Квадрант 3 – характеризується помірно високою невизначеністю, вимагає від судноводія достатньої «гнучкості» підчас прийняття рішення (наприклад, Правило 17 COLREG-72).

Квадрант 4 – характеризується високою невизначеністю, уявляє собою найбільшу важкість під час управління та попередження зіткнення суден через те, що ситуація навкруги повна невідомих факторів, а для забезпечення безаварійного розходження суден необхідно відступити від вимог COLREG-72 згідно із *Правилом 2 (пункт b)*.

Таким чином, у процесах прийняття рішень можуть бути актуальні мінімум чотири ситуації у залежності від небезпеки оточуючого середовища та ступеня невизначеності. Виходячи із розглянутої схеми прийняття рішень в умовах невизначеності задача Координатора (рис. 2) складається з наступних пунктів:

- 1) формування множини рішень та множин стану оточуючого середовища;
- 2) визначення та формування складу задач основних показників якості ППЗТ, які входять до розрахунку функцій якості ППЗТ;
- 3) визначення критерію D ; у залежності від стану оточуючого середовища;
- 4) визначення стратегії поведінки судна $\{Q_1^* \vee Q_2^* \vee Q_3^* \vee Q_4^*\}$ у залежності від складу оточуючого середовища;
- 5) прийняття кращого рішення $\hat{g}(t)$ у залежності від обраної стратегії $\{Q_1^* \vee Q_2^* \vee Q_3^* \vee Q_4^*\}$.

Таблиця 1 – Знаходження кращого рішення у залежності від ступеня небезпеки оточуючого середовища ρ

Ступінь динамізму оточуючого	Низька	Ситуація низької невизначеності			Ситуація помірної невизначеності		
		Фактори	Стратегія D_1	Рішення $\widehat{g_1(t)}$	Фактори	Стратегія D_2	Рішення $\widehat{g_2(t)}$
		Малоподібні, незмінні			Істотно несхожі, не змінюються		
	Висока	Ситуація помірно-високої невизначеності			Ситуація високого ступеня невизначеності		
		Фактори	Стратегія D_3	Рішення $\widehat{g_3(t)}$	Фактори	Стратегія D_4	Рішення $\widehat{g_4(t)}$
		Малосхожі, постійно змінюються			Істотно несхожі, постійно змінюються		
Низька				Висока			
Ступінь складності оточуючого середовища							

У розгорнутій формі ситуація прийняття рішень характеризується матрицею, елементами f_{jk} якою є кількісні оцінки прийнятого рішення $m_k \in M$, за умови, що середа знаходиться у стані $\omega_j \in \Omega$:

$$\begin{matrix}
 & m_1 & \dots & m_k & \dots & m_n \\
 \omega_1 & f_{11} & \dots & f_{1k} & \dots & f_{1n} \\
 \omega_2 & f_{21} & \dots & f_{2k} & \dots & f_{2n} \\
 \omega_3 & f_{31} & \dots & f_{3k} & \dots & f_{3n} \\
 \omega_4 & f_{41} & \dots & f_{4k} & \dots & f_{4n}
 \end{matrix} \quad (3)$$

Прийняте рішення буде вважатися кращім, коли функція якості управління $F = \{f_{jk}\}$ намагається до максимізації досягнення D_i

$$F \rightarrow \max_{m_k \in M} \max_{D_i} f_{jk} \quad (4)$$

Формально за ППЗТ у залежності від складності оточуючого середовища діють однакові найменування збурень, але різного ступеня впливу – $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4\}$. Відповідно вплив цих збурень відображається на стратегії прийняття рішень також по різному. У відповідності із табл. 1 виконано декомпозицію «Ситуаційного оптимуму» (рис. 2) у залежності від ступеня небезпеки оточуючого середовища (рис. 3).

На рис. 3 множина можливих стратегій поведінки судна розбита на 4 підмножини $\{Q_1^* \vee Q_2^* \vee Q_3^* \vee Q_4^*\}$. Краще рішення $\hat{g}(t)$ може належати будь-якій із стратегій розходження суден у залежності від ступеня небезпеки оточуючого середовища.

Резюме. Формалізація процесу прийняття рішення щодо попередження зіткнення суден у залежності від ступеня небезпеки навколишнього середовища розбивається умовно на чотири підзадачі. Інтуїтивно зрозуміло, що така модель звужує параметри рішень, які приймаються із зменшенням «ступеня свободи» рішень ППЗТ, що означає підвищення ефективності самого рішення, яке прийнято та затраченого часу на його відпрацювання.

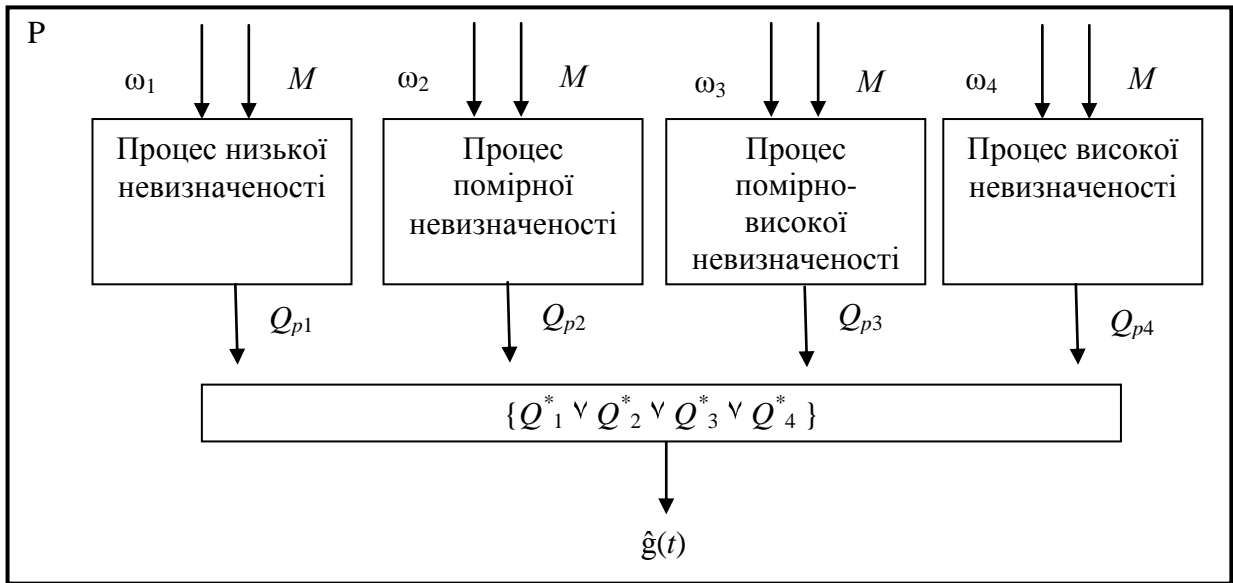


Рисунок 3 – Декомпозиція у залежності від ступеня оточуючого середовища

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Шарлай, Н.Г. (2017). *МППСС-72 с комментариями*. Москва: «МОРКНИГА», 137.
- [2] Лугінін, О.Є. (2007). *Статистика. Підручник. 2-е видання, перероблене та доповнене*. Київ: Центр учбової літератури, 608.
- [3] Заломихин, Д.В. (2020). Автоматизация и моделирование технических средств, элементов и методов судовождения. *Журнал «Транспортное дело»*, 5, 11-16.
- [4] Семушин, И.В. (2013). Ориентированная на фильтрацию Калмана математическая модель установившейся циркуляции для анализа траектории цели. *Автоматизация процессов управления*, 4 (34), 14-20.
- [5] Шапорев, С.Д. (2006). *Дискретная математика. Курс лекций и практических занятий*. СПб.: БХВ-Петербург, 400.

O. Sorokunsky, S. Terlych, F. Terlych

THE PROCESS FORMATION OF COLLISION VESSELS DEPENDING PREVENTION ON THE DEGREE OF THE ENVIRONMENT

Abstract. A mathematical model of ship collision prevention has been developed taking into account environmental factors and the possibility of deviations from the COLREG-72.

Keywords: collision of vessels; external warning environment; optimization; COLREG-72.