

*Склярєнко І.Ю., Подлєвських С.С., Какаранзе Ю. Ю., Милуков В. І.*

## РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СУДНОМ

*У статті розроблено алгоритм автоматичного керування судном шляхом вдосконалення процесу керування локомотивом за допомогою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для суднобригад.*

*Висвітлено проблему та актуальність сучасного розвитку теорії систем керування суднами, програмного забезпечення та елементної бази, що не дозволяє досягти повністю автономного руху суден. Перехідною стадією до керування судном без участі людини є впровадження інтелектуальних систем суден підтримки прийняття рішень. В теперішній час теоретичне підґрунтя для реалізації цього завдання розроблено не достатньо. Не достатньо висвітленими залишаються такі питання, як визначення структури інтелектуальної системи судна, розробка математичного апарату для опису нечітких ситуацій при керуванні судном та моделювання процесу самонавчання системи. Також не вирішеним є питання розробки динамічних баз знань для систем судна підтримки прийняття рішень. Всі це стало підґрунтям для розробки і впровадження алгоритму функціонування підсистеми «Формування рішень членом суднобригади», що дозволяє формувати кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень для забезпечення безпеки перевезення.*

**Ключові слова:** *рух, судно, алгоритм, спосіб, контроль, система підтримки прийняття рішення, безпека плавання.*

**Постановка проблеми.** В даний час на судах морського і річкового флоту, поряд з іншими автоматичними системами, широко застосовуються системи автоматичного управління рухом судна. Ці системи є найбільш важливими і відповідальними системами в судовій автоматизації. Від їх якості та надійності в значній мірі залежить безпека мореплавання, а також техніко-економічні показники суден.

Система автоматичного управління (САУ) рухом судна вирішує наступні завдання [1-3]:

- стабілізацію - автоматично утримувати судно на заданому курсі;
- маневрування - досить точно і швидко виконувати отримані накази (дії, що управляють).

Внаслідок цього, система автоматичного управління судна може працювати в режимі стабілізації, стежить і комбінованому режимом.

Складністю завдань судноводіння пояснюється і той факт, що більшість з них поки не може бути надійно вирішено без участі судноводія. Комплекси, що керують рухом сучасних морських суден, відносяться до людино-машинним системам. Вони включає в себе дві частини: оператора і штучну систему. Найбільше застосування в сучасних системах управління отримали комп'ютерні засоби автоматизації.

Тому штучну частину сучасних судових комплексів називають електронної або комп'ютерною системою.

Головний напрямок розвитку бортових електронних систем управління рухом полягає в тому, щоб дозволити одному вахтовому помічнику у відкритому морі і в прибережних водах забезпечувати безпечно і ефективно судноводіння, а також значно полегшити

штурманському складу управління судном (бригада судна) в обмежених водах. Першою і основною задачею електронних систем судноводіння на сучасному етапі є інформаційна підтримка рішень вахтового помічника. Друге завдання полягає в забезпеченні йому можливості безпосереднього управління силовими засобами.

Третє завдання - це автоматичне рішення щодо нескладних завдань управління, таких як водіння судна по заданому маршруту, управління швидкістю ходу і виконання ряду інших операцій.

Поступово системи керування судном розвиваються у напрямку зниження ролі суднобригад в процесі керування судном, що дає можливість зменшення шкідливого впливу людського фактору на безпеку та ефективність експлуатації судна. Кінцевим етапом цього розвитку буде перехід на повністю автоматичне ведення суден. В теперішній час «людський фактор» в керуванні судном все ще відіграє значну роль і знижує безпеку перевезень.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз наведених закордонних розробок дозволяє зробити висновок, що використання автоматизованих систем керування судном є перспективним напрямком наукових досліджень, що дозволяє значно скоротити, а іноді зовсім усунути негативний вплив людського фактору на безпеку руху. Однак загальним недоліком цих систем є наявність обмеженої кількості параметрів, що контролюються, збільшення якої призводить до ускладнення алгоритмів роботи автоматизованих систем, що є причиною великого зростання їх вартості. З іншого боку, в таких системах дуже складно переналаштування з урахуванням специфічних умов. Проекти позбавлені можливості накопичення досвіду керування та самостійного корегування управління з метою покращення показників попередніх рейсів, тобто відсутня функція самонавчання. Це спрямувало розвиток систем керування судном у напрямку інтелектуалізації [4]. Розробляються нові методи та структури інтелектуальних систем керування на водному транспорті [5] та вдосконалено методи прогнозування технічного стану суден [6, 7]. Але наведені джерела не розглядають процес прийняття рішень бригадою судна, хоча цей процес один з найважливіших. Успішна його реалізація дозволяє значно підвищити заходи забезпечення безпеки експлуатації, тобто безпеки руху на транспорті, зокрема й морських та річкових суден.

Тому моделювання діяльності штурманського складу судна та реалізація цієї моделі в системах керування судном дозволить мінімізувати, а можливо уникнути шкідливих впливів людського фактору.

Сучасний стан теоретичних досліджень, спрямованих на покращення процесів керування у водах, дозволяє виділити два напрямки вирішення цієї проблеми. Перший напрямок – автоматизація (від автоматизації окремих операцій до впровадження автоматичного керування технологічними процесами). Зокрема для цього використовуються мережі Петрі, методи кінцевих автоматів [8, 9] та ін. Другий напрямок пов'язаний з використанням методів штучного інтелекту та приділенню більшої уваги не моделюванню об'єкту керування, а формалізації керуючої діяльності людини-вахтера [10]. Перевагами другого підходу є можливість прийняття системою керуючих рішень в умовах невизначеності та неповноти інформації та можливість самонавчання та накопичення досвіду керування.

**Мета дослідження.** Розробка алгоритму автоматичного керування судном, що дозволить вдосконалення процесу керування локомотивом за допомогою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для суднобригад.

**Виклад основного матеріалу.** Під управлінням зазвичай розуміється процес забезпечення одним об'єктом необхідного зміни стану іншого об'єкта за допомогою цілеспрямованих впливів. Перший об'єкт називають керуючої або командної системою, а другий - об'єктом управління або керованою системою, керованим процесом. Під час управління системою на нею діють різні впливи зовнішнього середовища або оточення системи.

Будь-яке розумне управління цілеспрямовано. Мета управління являє собою базується на об'єктивних критеріях чітко сформульоване завдання для системи управління, ступінь виконання якого можна виміряти кількісно. У загальному випадку управління включає як вироблення методів досягнення поставленої мети і реалізацію цих методів, так і формування самих цілей. Мета управління зазвичай зв'язується з певними комплексними показниками якості, що характеризують систему (її продуктивність, економічність, точність, швидкодію і т.д.).

В результаті аналізу існуючих типів інтелектуальних систем, ієрархій та алгоритмів їх роботи, враховуючи умови роботи бригад суден та об'єктів водного транспорту в цілому, розроблені параметри бригади судна системи підтримки прийняття рішень (СППР) (зведені до табл. 1). В результаті реалізації етапів синтезу СППР судна отримано структуру, що наведена на рис. 1.

Таблиця 1

Характеристики СППР для бригади судна

| Ознака, за якою класифікується СППР           | Найменування параметру                 | Описання параметру                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип структурованості проблем, що вирішуються  | Слабоструктуровані                     | Вихідні параметри містять як кількісні, так і якісні елементи                                                                               |
| Характер розподіленості                       | Просторово і функціонально розподілені | Складається з окремих зв'язаних між собою локальних СППР суден, що можуть вирішити загальну проблему тільки разом                           |
| Характер оцінки результатів рішення           | Рішення, що об'єктивно оцінюються      | Оцінка результату основана на явно заданих критеріях, що визначають досягнення цілі: витрати палива, міжремонтний пробіг, безпека руху тощо |
| Характер ситуації, в якій ОПР приймає рішення | Екстремальні ситуації                  | Прийняття рішення по керуванню судном характеризується дефі цитом часу та обстановкою, що швидко змінюється -                               |
| Тип комп'ютерного аналізу ситуацій            | Динамічний                             | Мається набір сценаріїв по керуванню судна, з якого обирається                                                                              |

Стани об'єкта керування можна оцінювати за значеннями ознак – розпізнавальних рис об'єкта. Наприклад, нехай об'єктом керування є судно. Головні вимоги до системи керування – забезпечення безпеки руху шляхом виявлення небезпечних позаштатних ситуацій і вживання заходів по виходу з них, а також забезпечення найбільш раціонального режиму ведення судна (мінімізації експлуатаційних витрат).

Морські та річкові судна являють собою складні керовані технічні системи зі змінними параметрами, що функціонують в мінливих умовах зовнішнього середовища. Складність судів як об'єктів управління характеризується:

- відмінністю в керованості через велике розмаїття розмірів, форм корпусу і типів рушійно-рульових комплексів;
- великою інерційністю;
- неповної керованістю і можливістю її втрати;
- впливом на динамічні властивості широкого спектра колійних умов (річки, мілководді, канали) і зміною маси судна;
- значним впливом збурюючих впливів на рух.

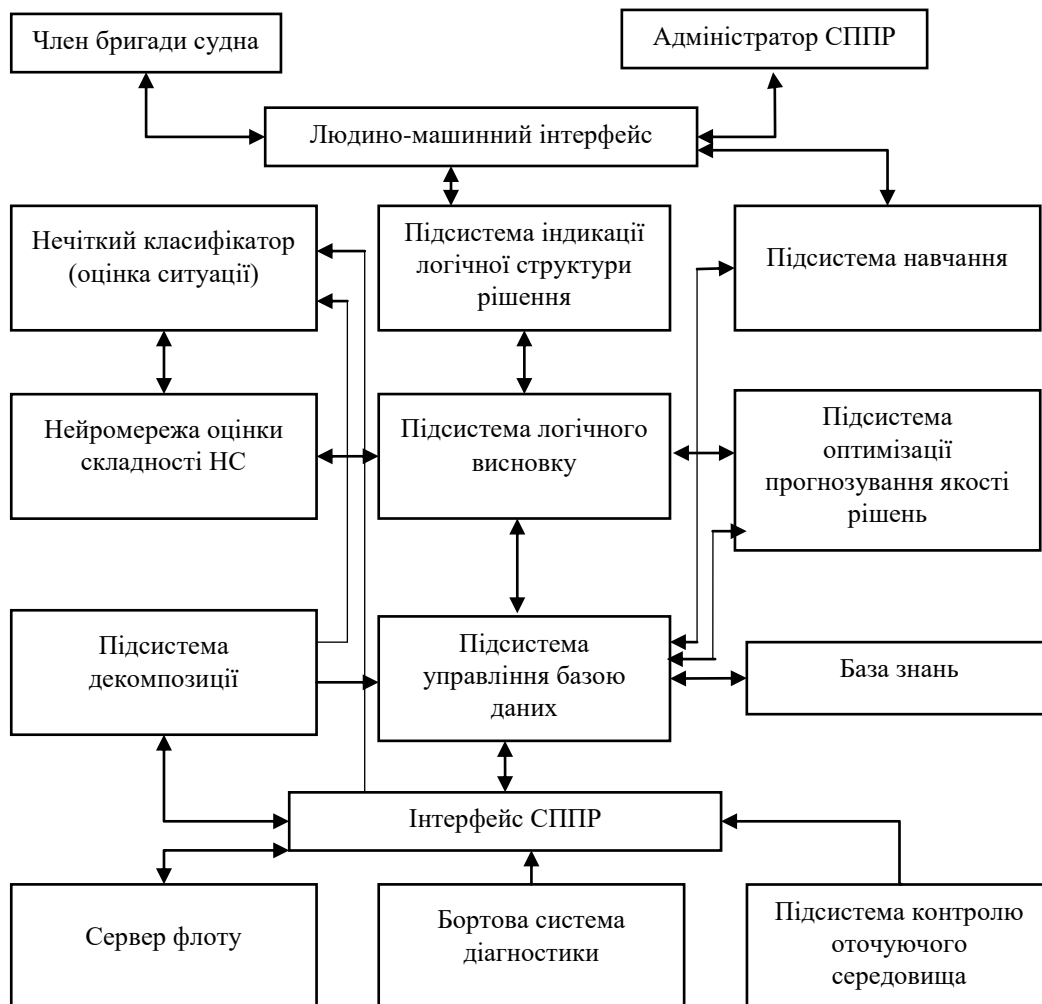


Рисунок 1 – Структура бортової СППР судна

У загальному випадку математична модель керованої динамічної системи описує з тим або іншим ступенем точності зміна станів даної системи з плином часу при заданих керуючих впливах і заданих умовах функціонування системи.

Математична модель руху судна як керована динамічна система може бути представлена у вигляді системи диференціальних рівнянь:

$$\dot{x} = f(x, u, w, t), \quad (1)$$

де  $x \in E^n$  - вектор стану судна,  $u \in E^m$  - вектор управління,  $w \in E^1$  - вектор збурюючих впливів,  $t \in [t_0, \infty)$  - незалежна змінна (час)

Повна математична модель просторового руху судна малоприматна для дослідження систем управління судном і технічної реалізації результатів дослідження. Для вирішення

завдання управління курсом судна при допущенні, що зміна опади і кутів крену і диференту в процесі руху невелика, досить розглядати математичні моделі плоскопаралельного руху судна в горизонтальній площині. Такі математичні моделі в загальному випадку представляються в наступних системах координат (рис. 2) [11]:

1. незв'язні СК  $x_0o_0y_0$  - нерухома координатна система, орієнтована по меридіану: вісь  $o_0x_0$  спрямована на схід, а вісь  $o_0y_0$  - на північ.

2. Пов'язана з судном СК  $xoy$  - система координат, пов'язана з центральним моментом судна  $O$ , осі якої спрямовані по осях симетрії корпусу.

Розташована в діаметральній площині вісь  $ox$  спрямована до носа судна і називається поздовжньою. Інша поперечна (бічна) вісь  $oy$  лежить в площині мидель-шпангоута і спрямована в бік правого борта.

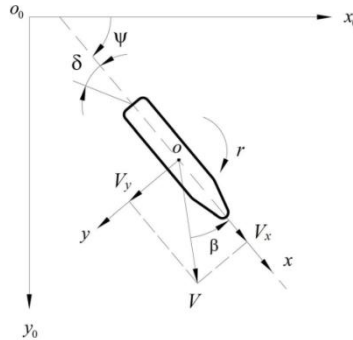


Рисунок 2 – Система координат в горизонтальній площині

На рис.2. позначені наступні змінні:

$\beta$  - кут дрейфу, град;

$\psi$  - кут курсу, град;

$r$  - кутова швидкість курсу, град / с;

$V$  - вектор швидкості судна щодо води, м / с;

$V_x, V_y$ , - проєкції в  $V$  на осі зв'язаної системи координат  $xoy$ , м/с;

$\delta$  - кут перекладки керма, град/с.

Система диференціальних рівнянь руху надводного судна в пов'язаній з судном системі координат може бути представлена в наступному вигляді [9]:

$$\begin{cases} (M + \lambda_{11}) \frac{dV_x}{dt} = MV_y r + \lambda_{22} V_y r + X_k + X_A + X_R + T_e, \\ (M + \lambda_{22}) \frac{dV_y}{dt} = +MV_x r + \lambda_{22} V_x r + Y_k + Y_A + Y_R, \\ (I_z + \lambda_{66}) \frac{dr}{dt} = M_k + M_R + M_A, \\ \frac{d\psi}{dt} = r, \end{cases} \quad (2)$$

де  $M$  - маса судна, кг;

$I_z$  - приєднаний момент інерції маси судна, Нм;

$X_k, Y_k$ - гідродинамічні сили, що виникають на корпусі судна з непрацюючим гвинтом і не перекладеним кермом Н;

$X_R, Y_R$  - гідродинамічні сили, що виникають на кермі, Н;

$M_k, M_R$  - гідродинамічний моменти, що виникає на корпусі судна з непрацюючим гвинтом і не перекладеним кермом і виникає на кермі відповідно, Нм;

$X_A, Y_A$ - аеродинамічні сили, що діють на надводну частину судна, Н;

$M_A$  - аеродинамічний момент, діючий на надводну частину судна, Нм;

$T_e$ - тяга, створювана головним рушієм, Н;

$\lambda_{11}, \lambda_{22}$  - приєднані маси рідини, кг;  
 $\lambda_{66}$  - приєднаний момент інерції, Нм.

Проекції вектора швидкості руху судна щодо землі на осі нерухомої системи координат  $x_0O_0y_0$  визначаються виразами:

$$\begin{cases} V_{x0} = V_x \cos \psi - V_y \sin \psi, \\ V_{y0} = V_x \sin \psi - V_y \cos \psi. \end{cases} \quad (3)$$

Система (3) дозволяє описати всі можливі маневри судна в горизонтальній площині, однак на практиці, з огляду на обчислювальну складність, її використання важко [12].

Кінцевою метою керуючої діяльності члена суднобригади є отримання корисного результату – спрямування судна до пункту призначення з мінімізацією ризику виникнення транспортної події. Мета досягається поетапно, шляхом розв'язання часткових завдань. Розглянемо алгоритм діяльності члена суднобригади як людини-оператора. Найважливішим елементом управляючої діяльності члена суднобригади є прийняття рішення. Щоб виконати моделювання цього процесу, потрібно врахувати всі фактори та дії, що передують прийняттю рішень та визначити логічні зв'язки між ними. Найбільш природно для цієї задачі використати методи теорії графів [13].

Алгоритм дій члена суднобригади судна під час керування судном представимо у вигляді нечіткого імовірнісного графа, що зображений на рис. 3 [13]. Для будь-якої  $j$ -ї вершини ймовірнісного графа виконується умова стохастичності. Завдання аналізу процесу керування судном зводиться до укрупнення графу, зображеного на рис. 3, з використанням правил еквівалентних перетворень для послідовних та паралельних дуг, і для дуг-петель [14]. Вершинами даного графа є операції, що виконуються членом суднобригади, а логічні умови – зважені нечіткими ймовірнісно-часовими характеристиками переходу від однієї операції до іншої. Даний граф складається з наступних операцій:

1 – контроль стану та зайнятості території попереду; 2 – контроль стану сигналів попереду; 3 – контроль технічного стану судна; 4 – контроль стану система судна; 5 – аналіз відповідності режиму керування поточним умовам ведення судна швидкісний режим, відстані до сигналів або небезпечних місць, погодні умови та інше); 6 – прийняття керуючого рішення; 7 – оцінка стану території попереду; 8 – оцінка значення сигналу; 9 – оцінка стану технічного судна; 10 – оцінка стану судна; 11 – оцінка ефективності прийнятого рішення по керуванню судном; 12 – ідентифікація небезпечної ситуації; 13 – перехід керування в режим усунення нештатної ситуації.

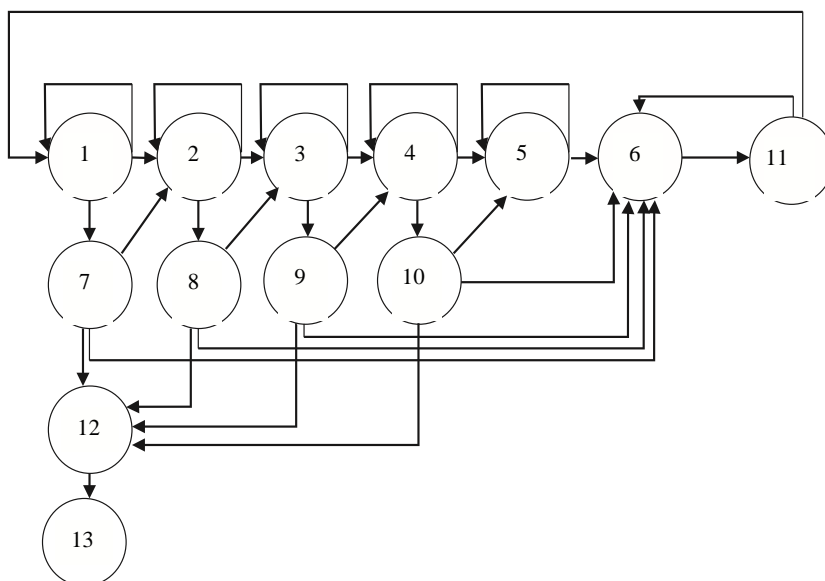


Рисунок 3 – Нечіткий імовірнісний граф алгоритму діяльності члена бригади судна під час ведення судна

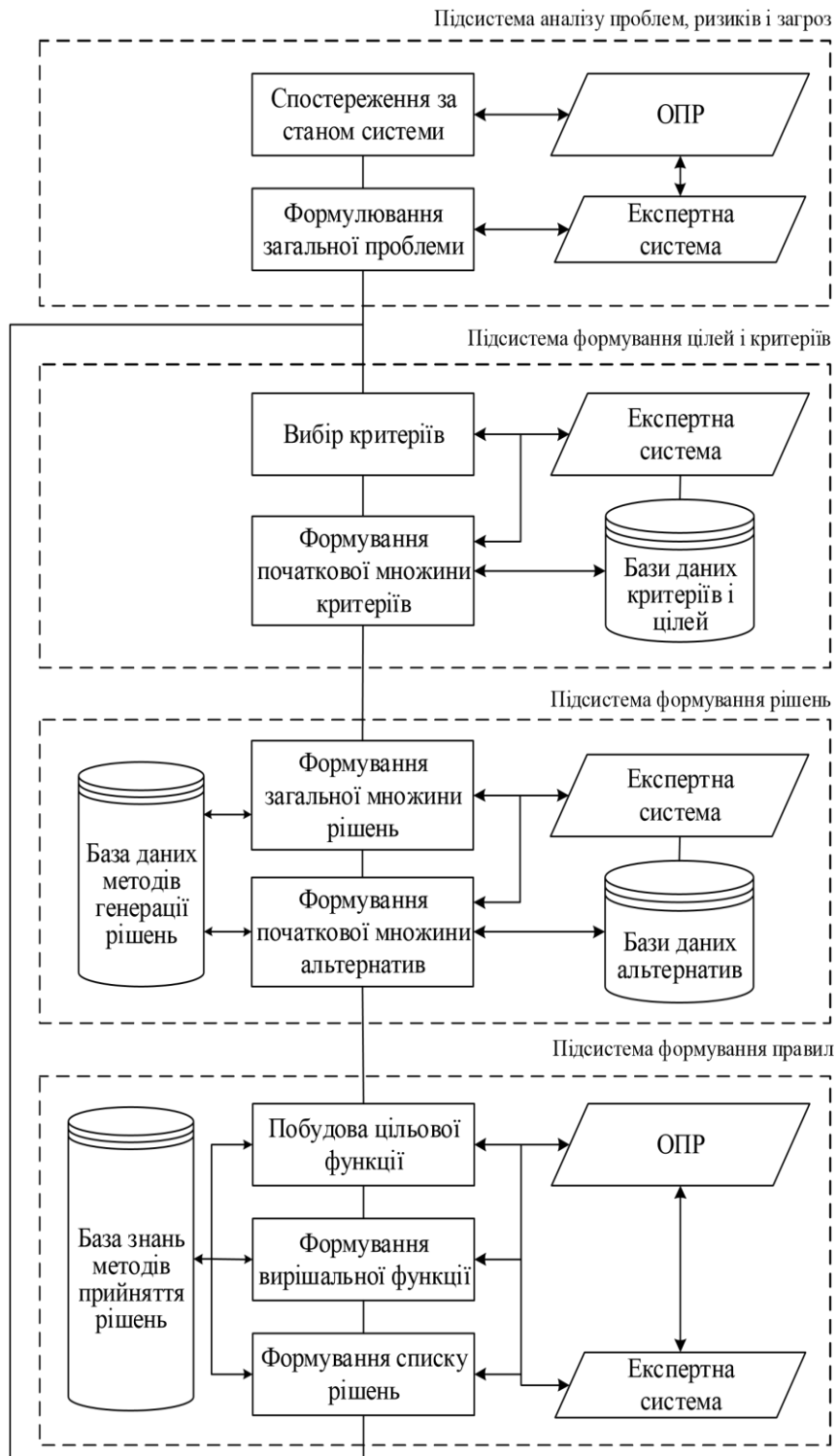


Рисунок 4 – Структурна схема функціонування системи підтримки прийняття рішень

Для забезпечення функціонування стандартна СППР повинна включати в себе наступні основні модулі та підсистеми:

1. База даних СППР.
2. База знань СППР.
3. База моделей, правил і прийомів прийняття рішень.
4. Система управління інтерфейсом.
5. Основні функціональні модулі.

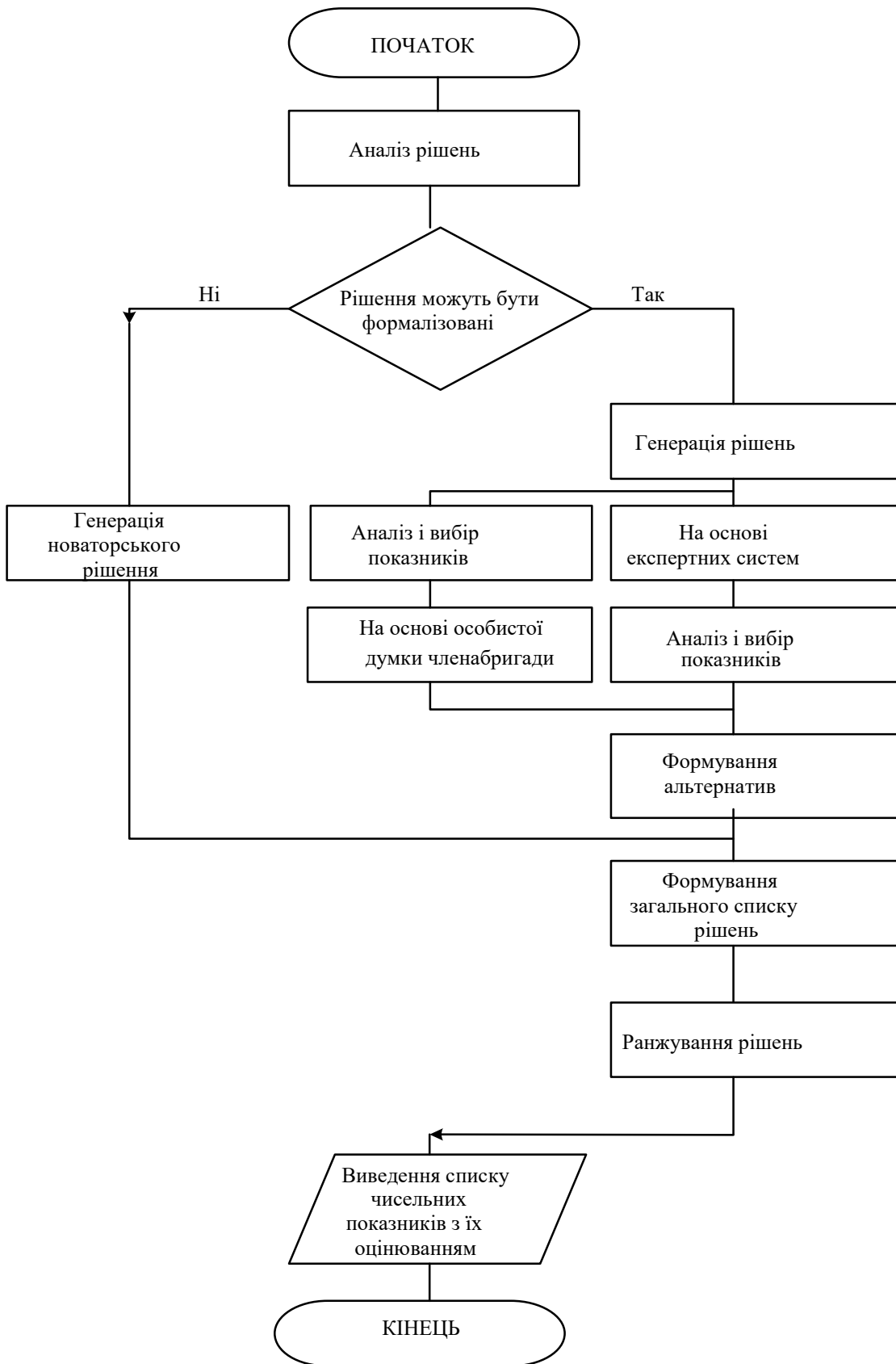


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми «Формування рішень членом суднобригади»

При реалізації підтримки прийняття рішень СППР повинна забезпечувати наступні види проведення підтримки:

- експертний;
- автоматизований;
- комбінований.

Будь-яку систему підтримки прийняття рішень зручно розглядати як діалогову автоматизовану систему, яка використовує відповідні математичні моделі спільно з базами даних і знань, а також інтерактивний комп'ютерний процес моделювання [15]. Основні функціональні модулі, що забезпечують безперервне та ефективне функціонування системи, включають наступні підсистеми або моделі: підсистема аналізу проблем, ризиків і загроз; підсистема формування цілей і критеріїв; підсистема формування рішень; підсистема формування вирішального правила і аналіз альтернатив.

Наведена схема забезпечує повнофункціональний процес прийняття рішень при аналізі будь-якого виду завдань.

Для подальшого аналізу проблеми необхідно сформувані альтернативні варіанти рішень, які формуються в підсистемі «Формування рішень членом суднобригади». Блок-схему алгоритму функціонування підсистеми "Формування рішень членом суднобригади" наведено на рис. 5

Формування можливих рішень можна реалізувати за допомогою: програмної реалізації аналітичних моделей, з використанням експертних систем, генерації сценаріїв шляхом комбінації різних операцій, заданих особою, яка приймає рішення або взятих з бази даних, і використовуючи підхід, що отримав назву ситуаційного управління. Процес формування рішень можна поділити на два види:

- новаторські рішення, які поки комп'ютер розробити не в змозі;
- рішення, що ґрунтуються на типових сценаріях, по аналогії, на основі комбінації відомих часткових рішень.

Зауважимо, що формування таких рішень доступне для обчислення за допомогою обчислювальної машини [16].

Підсистема "Формування рішень" повинна забезпечувати формування множини рішень у відповідності з наступною послідовністю:

- генерація множини рішень з використанням математичних, експертних методів і за допомогою когнітивних карт;
- структурування альтернатив;
- формування кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень.

**Висновки.** Висновки після аналізу еквівалентного графу, отриманого з використанням алгоритму формування кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень., наступні:

– мінімальний час від аналізу ситуації та оцінки ефективності попереднього керуючого рішення до прийняття наступного керуючого рішення (включаючи рішення не виконувати ніяких дій) знаходиться в визначеному інтервалі;

– члену суднобригади після оцінки ефективності прийнятого керуючого рішення приблизно в 1–2 % випадків приходится ідентифікувати небезпечну ситуацію. Час, що потрібний для цього знаходиться в інтервалі. Ці параметри показують, що швидкість прийняття рішень можливо і потрібно підвищувати.

Зменшення часу на ідентифікацію нештатних ситуацій напряду впливає на безпеку руху, і чим більше поточна швидкість, тим важливіше мати можливість в найкоротший термін виявити небезпеку та приступити до її зниження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Березин, С.Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С.Я. Березин, Б.А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
2. Булатов, М.Г. Исследование динамики морских волн в прибрежной зоне по данным радиолокационных наблюдений высокого разрешения // М.Г. Булатов, М.Д. Раев, Е.И. Скворцов / Институт Космических исследований. – 6 с. URL: [http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6\\_03.pdf](http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6_03.pdf)
3. Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
4. Wang, Z. Study on the structure design and optimization for RITS [Text]: Postdoctoral Thesis / Z. Wang // China Academic of Railway. – 2005. – Vol. 13. – P. 89.
5. Герасимов Б. М. Проектування та застосування експертно-навчальних систем : монографія / Б. М. Герасимов, О. Г. Оксіюк, С. О. Шворов // – К. : Європейський університет, 2008. – 263 с.
6. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / 5. П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М. : Мир, 1973. – 280 с.
7. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник)/ [Богом'я В. І., Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В.]–Вид.1-ше.–К.:ДВВП «Компас», 2012 – 336 с
8. El-Fakih, K. An Assessment of Extended Finite State Machine Test Selection Criteria [Text] / K. El-Fakih, A. Simao, N. Jadoon, J. C. Maldonado // Journal of Systems and Software. – 2016. doi: 10.1016/j.jss.2016.09.044
9. Sales, D. O. Adaptive finite state machine based visual autonomous navigation system [Text] / D. O. Sales, D. O. Correa, L. C. Fernandes, D. F. Wolf, F. S. Osório // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2014. – Vol. 29. – P. 152–162. doi: 10.1016/j.engappai.2013.12.006
10. Филиппенко, И. Г. Взаимодействующие нейроавтоматы и нейроавтоматно-вычислительные структуры [Текст] / И. Г. Филиппенко; под ред. О. Г. Руденко. – К.: Каравелла, 2015. – 440 с.
11. Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна /Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
12. Константинова, Е.А. Системы управления движением морских судов на основе рекуррентных нейросетевых моделей: дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Константинова – Мор. гос. ун-т им. адмирала Г.И. Невельского. Владивосток. – 2012. – 143 с.
13. Гаскаров Д. В. Сетевые модели распределенных автоматизированных систем / Гаскаров Д. В., Истомин Е. П., Кутузов О. И. – СПб. : Энергоатомиздат, СПб. отделение, 1998. – 353 с.
14. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика [Текст]: монография / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков: Парус, 2008. – 352 с.
15. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. Серия "Системы и проблемы управления"/ Э. А. Трахтенгерц. – Москва: СИНТЕГ, 2005. – 224 с.
16. Герасимов Б. М. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : навчальний посібник / [Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, А. Г. Оксіюк, О. В. Поморова]. – К. : Київ, Європейський університет, 2007. – 335 с.

## REFERENCES

1. Berezin, S. Ya. Systems of automatic control of vessel movement along the course / S.Ya. Berezin, B.A. Tetyuev. - L. : Shipbuilding, 1990 .-- 256 p.

2. Bulatov, M.G. Study of the dynamics of sea waves in the coastal zone along high-resolution radar observation data // M.G. Bulatov, M.D. Raev, E.I. Skvortsov / Institute for Space Research. - 6 p. URL: [http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6\\_03.pdf](http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6_03.pdf)
3. Vagushchenko, L.L. Systems of automatic control of ship movement / L.L. Vagushchenko, N.N. Tsymbal - Odessa: Fenix, 2007 .-- 328 p.
4. Wang, Z. Study on the structure design and optimization for RITS [Text]: Postdoctoral Thesis / Z. Wang // China Academic of Railway. - 2005. - Vol. 13. - P. 89.
5. Gerasimov BM Design and storage of expert systems: monograph / BM Gerasimov, O. G. Oksiyuk, S. O. Shvorov // - K.: European University, 2008. - 263 p.
6. Glensdorf P. Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations / 5. P. Glensdorf, I. Prigogine. - M.: Mir, 1973 .-- 280 p.
7. Navigation securing the management of the shipwreck (navchalniy posibnik) / [God V. I., Davidov V. S., Doronin V. V., Pashkov D. P., Tikhonov I. V.]. - View 1-she-K.: DVVP "Compass", 2012 - 336 s
8. El-Fakih, K. An Assessment of Extended Finite State Machine Test Selection Criteria [Text] / K. El-Fakih, A. Simao, N. Jadoon, J. C. Maldonado // Journal of Systems and Software. - 2016. doi: 10.1016 / j.jss.2016.09.044
9. Sales, D. O. Adaptive finite state machine based visual autonomous navigation system [Text] / D. O. Sales, D. O. Correa, L. C. Fernandes, D. F. Wolf, F. S. Osório // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - 2014. - Vol. 29. - P. 152-162. doi: 10.1016 / j.engappai.2013.12.006
10. Filippenko, IG Interacting neuroautomatics and neuroautomatic computing structures [Text] / IG Filippenko; ed. O. G. Rudenko. - K.: Karavella, 2015 .-- 440 p.
11. Vagushchenko, L.L. Automatic ship traffic control systems / L.L. Vagushchenko, N.N. Tsymbal - Odessa: Fenix, 2007 .-- 328 p.
12. Konstantinova, E.A. Marine traffic control systems based on recurrent neural network models: dis. ... Cand. tech. nauk / E.A. Konstantinov - Mor. state un-t them. Admiral G.I. Nevelsky. Vladivostok. - 2012 .-- 143 p.
13. Gaskarov DV Network models of distributed automated systems / Gaskarov DV, Istomin EP, Kutuzov OI - SPb. : Energoatomizdat, St. Petersburg. department, 1998 .-- 353 p.
14. Raskin, L. G. Fuzzy mathematics [Text]: monograph / L. G. Raskin, O. V. Seraya. - Kharkov: Parus, 2008 .-- 352 p.
15. Trakhtengerts E. A. Computer support for the formation of goals and strategies. Series "Systems and control problems" / E. A. Trakhtengerts. - Moscow: SINTEG, 2005 .-- 224 p.
16. Gerasimov B.M. Intelligent systems and processes for accepting a solution: a new owner / [B. M. Gerasimov, V. M. Lokazyuk, A. G. Oksiyuk, O. V. Pomorova]. - K.: Kiev, European University, 2007 .- 335 p.

**Sklyarenko I.Yu., Podlevskikh SS, Kakaranze Yu. Yu., Milyukov VI**  
**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM OF AUTOMATIC VESSEL CONTROL**

The article develops an algorithm for automatic ship control by improving the locomotive control process with the help of an intelligent decision support system for ship crews.

The problem and urgency of modern development of the theory of ship control systems, software and element base, which does not allow to achieve fully autonomous movement of ships. The transition to ship management without human intervention is the implementation of intelligent decision support vessel systems. At present, the theoretical basis for the implementation of this task is not developed enough. Issues such as determining the structure of the ship's intelligent system, developing a mathematical apparatus to describe fuzzy situations in ship management and modeling the system's self-learning process remain insufficiently covered. The issue of developing dynamic knowledge bases for decision support vessel systems is also unresolved. All this became the basis for the development and implementation of the algorithm of the subsystem "Formation of decisions

by a member of the ship's crew", which allows to form a final subset of alternative solutions for further processing at the stage of analysis of alternatives and selection of best solutions.

**Keywords:** movement, ship, algorithm, method, control, decision support system, navigation safety.

**Скляренко И.Ю., Подлевских С.С., Какаранзе Ю. Ю., Милюков В. И.**

### **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ**

В статье разработан алгоритм автоматического управления судном путем совершенствования процесса управления локомотивом с помощью интеллектуальной системы поддержки принятия решений для суднобригад.

Освещена проблема и актуальность современного развития теории систем управления судами, программного обеспечения и элементной базы, которая не позволяет достичь полностью автономного движения судов. Переходной стадией к управлению судном без участия человека является внедрение интеллектуальных систем судов поддержки принятия решений. В настоящее время теоретических основ для реализации этой задачи разработано недостаточно. Недостаточно освещены остаются такие вопросы, как определение структуры интеллектуальной системы судна, разработка математического аппарата для описания нечетких ситуаций при управлении судном и моделирование процесса самообучения системы. Также нерешенным остаётся вопрос разработки динамических баз знаний для систем судна поддержки принятия решений. Все это стало основой для разработки и внедрения алгоритма функционирования подсистемы «Формирование решений членом суднобригады», что позволяет формировать конечное подмножество альтернативных решений для дальнейшей обработки на этапе анализа альтернатив и выбора лучших решений для обеспечения безопасности перевозки.

**Ключевые слова:** движение, судно, алгоритм, способ, контроль, система поддержки принятия решения, безопасность плавания.