

Державний університет інфраструктури та технологій  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Алейніков Михайло Владиславович

УДК 629.052.9

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

# **МОДЕЛІ І МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО СУДНОВОДІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ НА РІЧЦІ ДНІПРО**

Спеціальність 271 – Річковий та морський транспорт

Галузь знань – 27 Транспорт

Подается на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  
\_\_\_\_\_ Алейніков М. В.

Науковий керівник к.т.н. Доронін В. В.

Київ — 2020

## АНОТАЦІЯ

**Алєйніков М. В.** Моделі і методи ефективного судноводіння з використанням інструментального методу навігації на річці Дніпро – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Річковий та морський транспорт. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена застосуванню сучасного інструментального методу навігації на річці Дніпро шляхом розробки нових методів, що дозволяють автоматизувати виконання навігаційних задач в електронно-картографічній системі. Найбільш важливою проблемою сучасної ефективної експлуатації водного транспорту є питання безпеки судноплавства. Ймовірність безпечного плавання в більшості випадків не перевищує потрібного рівня. На підставі отриманих даних щодо динаміки аварійності на водному транспорті за останні роки можна стверджувати, що аварійність залишається на тому ж рівні, а найбільший її відсоток припадає на аварії в умовах обмеженого маневрового простору (річки, портові зони, прибережне плавання).

Ефективним механізмом експлуатації водних транспортних засобів у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень є перехід на інструментальний метод навігації (річкову *e*-навігацію) замість діючого візуального (лоцманського) методу й подальше підвищення безпеки руху водного транспорту на внутрішніх водних шляхах. Особливо слід відзначити найбільш важливі прикладні результати пропонованого методу, такі як можливість автоматизованого відображення індивідуальної судноплавної смуги для судна в залежності від обраної його осадки і дійсного рівня води, а в перспективі відмова від установки берегових і плавучих засобів навігаційного обладнання. До того ж слід зазначити, що введення інструментального методу навігації дозволить в

особливий період оперативно закрити судноплавство по фарватеру і здійснювати проводку тільки обраних суден. Впровадження інструментального методу навігації розглядається як системний об'єкт з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів і їх властивостей.

На базі огляду літературних джерел відзначено, що публікації, пов'язані з проблемою застосування інструментального методу навігації за допомогою Inland ECDIS, дуже обмежені, а деякі їх аспекти досліджені не повністю, поверхово і побіжно. В результаті аналізу літературних джерел було встановлено, що центральним напрямом вирішення вказаної проблеми є вдосконалення і розробка ефективних способів експлуатації навігаційного обладнання водного транспорту за допомогою додаткових методів реалізації обчислювального інтелекту, вибір безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна, що маневрує, та охорони навколишнього середовища.

Обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці способів автоматизації роботи функціональних підсистем інструментального методу навігації в різних надзвичайних умовах. Розробка методів моделювання такої функціональної системи сприяє більш ефективному плаванню в умовах річкової *e*-навігації, попередженню посадок на мілину та забезпеченню безпечного проходу під мостами, лініями електропередач в стислих умовах, включаючи реалізацію додаткових завдань.

Об'єктом дослідження є процеси експлуатації водних транспортних засобів на річці Дніпро, а предметом дослідження є моделі і методи, що визначають структуру і обробку даних у електронно-картографічних засобах річкового судноводіння. Розроблена структура дисертації і приведене її методологічне забезпечення. Проведено вибір теми дослідження. Викладені мета дисертаційного дослідження.

Для досягнення цієї мети були поставлені завдання наукового дослідження

Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження. При вирішенні незалежних складових завдань одержані відповідні наукові результати

дисертаційної роботи. Приведені результати дослідження, які мають наукову новизну та отримали подальший розвиток. Обґрунтована практична цінність дослідження для забезпечення безпечного руху суден. Застосовані математичний апарат і методики вирішення складових задач. Методики описують основні етапи виконання наукового дослідження і включають теоретичні розробки з використанням сучасних методів експертного аналізу.

Ефективність запропонованої мережі інструментального методу навігації оцінювалася шляхом виконання апріорної оцінки та імітаційного комп'ютерного моделювання з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації сучасного методу навігації до етапу експлуатації. Для здійснення апріорної оцінки застосовані методи математичного моделювання.

В основній частині роботи здійснені огляд та аналіз розвитку сучасних систем навігації для вирішення задач управління рухом суден на внутрішніх водних шляхах України. Визначені існуючі домінуючі інфраструктурні та технічні фактори, особливості річкового судноводіння, які обмежують навігацію на річці Дніпро. Визначений порядок отримання інформації для управління судном з використанням Inland ECDIS. Проведено аналіз сучасного стану функціонування електронно-картографічних навігаційних засобів на водних акваторіях судноводіння. Сформульовані умови і вимоги до системи ефективною підтримки прийняття рішень судноводієм і експертної системи. Для визначення напряму дисертаційного дослідження приведений порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS. Крім того, обґрунтовано, що Inland ECDIS повинна стати ланкою інтегрованої інформаційної системи для управління транспортними потоками на внутрішніх водних шляхах. Встановлено, що теорія функціональної стійкості інструментального методу навігації передбачає нові підходи щодо вирішення наукової проблеми та включає сукупність логічно пов'язаних між собою основ. Застосовані критерії оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на внутрішніх водних шляхах України. Показані основні етапи функціональної стійкості інструментального методу навігації, що включає систему елементів берегової

інфраструктури та суднового навігаційного обладнання. Розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості системи з використанням математичної моделі у вигляді неорієнтованого графа. Наведені кількісні критерії оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації, що враховуватимуться для формалізації критеріїв, закладених в логіку функціонування експертної системи. Застосований системний аналіз впровадження інструментального методу навігації. Складена загальна схема етапів підвищення ефективності експлуатації водного транспорту. В системному аналізі широко використані неформальні процедури: об'єднання формальних і неформальних методів аналізу і синтезу. Здійснені огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження. Проаналізовані основні напрями досліджень з даної проблематики. Обґрунтовані не розкриті в повному обсязі шляхи вирішення деяких питань підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання. Розроблена дорожня карта дисертації з визначенням механізмів її реалізації.

Викладена і обґрунтована методологія, основні етапи системної оптимізації структури інструментального методу навігації. Визначені навігаційні параметри для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи. Завдання стабілізації руху судна, процес вимірювання відхилення від еталонної програмної лінії розглянуті на програмних траєкторіях, що відображуються на SENC. Наведені математичні розрахунки визначення положення будь-якої точки на судні за двома точками з відомим положеннями. Запропонована модель двоканального режиму стабілізації отримання навігаційних параметрів на базі Inland ECDIS. Застосований метод реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах. Обґрунтований метод розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з Inland radar. Визначений алгоритм автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна із застосуванням можливих варіантів положення лінії відносного руху на SENC і математичної моделі місцеположення руху точки по траєкторії у різних

ортогональних системах координат.

Для оцінки вирішення завдань контекстно-орієнтованої інтелектуальної обробки потоку навігаційних даних обґрунтований критеріальний метод, в якому кожна окремо взята альтернатива оцінюється конкретним числом (критерієм, цільовою функцією). Сформульовані вимоги до управління контекстом. На відміну від традиційного вживання нечіткої логіки використаний гібридний підхід, при якому в різних частинах системи функціонують різні обчислювальні моделі, які активно взаємодіють. Побудована ігрова матриця для вибору оптимальної стратегії на основі розробленого переліку інформаційних ситуацій, пов'язаних з невизначеністю зовнішнього середовища. Запропонована модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності, що заснована на критеріях сумарної ефективності. Для вирішення вказаної проблеми застосовані метод нормалізації; вагомий метод і метод згортки. Визначені етапи побудови гібридної нейро-нечіткої моделі з виявленням системи пріоритетів суб'єкта. Застосовані функції активації нейронів. Побудована архітектура штучної нейронної мережі інструментального методу навігації. Запропонована модель нейро-нечіткої експертної системи у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS. Вирішена задача розміщення об'єктів зовнішнього середовища для отримання оптимального потоку навігаційних даних.

Визначені програма експериментальних досліджень і шляхи виконання апріорної оцінки пропонованої технології. Обрані показники та формули ефективності. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 12 тестів. Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів ефективного використання водного транспорту. Так, запропоновані методи дозволяють: підвищити точність навігаційних параметрів на 10 %; скоротити час для прийняття рішення щодо забезпечення безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити ефективність несення навігаційної вахти на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

- вперше запропонована модель оптимізації структури інструментального методу навігації, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією (методів) процедур системного та ситуаційного аналізу, а також комплексної автоматизації роботи функціональних підсистем з метою підвищення рівня безпеки руху в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння;
- вперше запропонована модель контекстно-орієнтованої інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних, яка на відміну від існуючих забезпечує обробку автоматизованих даних в електронно-картографічній системі для розв'язання оперативних задач навігації;
- удосконалений метод автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна по фарватеру, що дозволяє, на відміну від існуючих, використовувати інтегрування даних векторної електронної карти і зовнішніх датчиків;
- набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури обчислення зворотного поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність навігаційних параметрів за рахунок навчання нейронної мережі.

Практичне значення роботи визначається тим, що її основні результати можуть бути використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом судноплавства на ВВШ України.

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при викладанні дисципліни «Навігаційні інформаційні системи» (акт від 14.05.2019). Матеріали дисертаційного дослідження також використовуються в тренажерній підготовці в Київському Центрі підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців водного транспорту за

напрямами «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 26.12.2018), в Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training" за напрямом «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 14.01.2019). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені: в судноплавній компанії «Південне річкове пароплавство» (акт впровадження від 30.04.2019), в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» (акт впровадження від 21.05.2019), в ДУ «Держгідрографія» (акт впровадження від 14.05.2019), на судні «Vectis Isle» (акт впровадження від 25.03.2019).

**Ключові слова:** безпека судноплавства, водний транспорт, Inland ECDIS, інструментальний метод навігації, неорієнтований граф, штучна нейронна мережа, експертна система.

Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:

1. Алейніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS / Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2015. — № 2 (23). — С. 26 – 33.

2. Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2015. — № 2 (13). — С. 303-316.

3. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS

/ В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.

4. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29. DOI:10.3180/2524-0102/2019.08.03.

5. Alieinikov, M., Panin, V., Doronin, V., Tykhonov, I. (2018). Application of Intelligent Processing of Data Flows Under Conditions of River Navigation. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 3/9 (93), 6 – 18 (Scopus). DOI:10.1558/1729-4061.2018.131599.

6. Алейніков, М. В. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.

7. Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.

8. Alieinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river *e*-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, Denmark, Vol. 8 (88), 54 – 61.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Aleynikov, M. V. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference

(ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.

10. Алейніков, М. В. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавництво «ПП Вишемирський В. С.», 2018. — С. 152 – 154.

11. Алейніков, М. В. Зняття невизначеності при русі судна з використанням систем електронно-картографічної навігації та деталізованого банку глибин шляхом ситуаційної динаміки у n-мірному просторі / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадянського суспільства та становлення економіки знань», 29–30 вересня 2017 року, м. Київ. — Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017 — С. 5 – 11.

12. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.

13. Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтовна інтелектуальна обробка потоків даних в умовах інструментального методу навігації / М. В. Алейніков // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., частина 2, 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ: КДАВТ, 2018. — С. 44-47.

14. Алейніков, М. В. Метод системної оптимізації автоматизованого використання деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій», 14 – 15 листопада 2017 року, м. Полтава : ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 69-71.

15. Алейніков, М. В. Актуальні питання впровадження електронної навігації в інтересах забезпечення безпеки плавання кораблів Військово-Морських Сил України Збройних Сил України / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // II етап науково-практичної конференції «Морські дослідження і технології в Україні: стан та перспективи розвитку», 22 листопада 2016 р., м. Одеса : ОдНУ ім. І.І. Мечникова, 2016. — С. 54-69.

Матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації

16. Патент UA, Клас, серія H04 B10/40. Спосіб використання деталізованого масиву глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Сп'ян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03335 від 03.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

17. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження  $e$ -навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Сп'ян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

18. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової  $e$ -навігації / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Сп'ян; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 05627 від 24.05.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

19. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3920 від 05.06.2018; авторський договір № 35-18С-НС від 13.04.2018.

20. Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3917 від 05.06.2018; авторський договір № 36-18С-НС від 13.04.2018.

21. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3921 від 05.06.2018; авторський договір № 37-18С-НС від 13.04.2018.

22. Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3902 від 17.05.2018; авторський договір № 33-18С-НС від 10.04.2018.

23. Алейніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS/Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3922 від 05.06.2018; авторський договір № 34-18С-НС від 10.04.2018.

## ABSTRACT

**Alieinikov, M. V.** Models and Methods of Efficient Navigation Using the Instrumental Navigation Method on the Dnieper River – Qualifying scientific work as a manuscript. Thesis for the Ph.D. in the specialty 271 – Inland water and sea transport. – The State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the application of the instrumental method of navigation on the Dnieper river by developing new methods that allow to automate the performance of navigation tasks in the electronic-cartographic system. The most

important problem of modern efficient operation of waterborne transport is the safety of navigation. In most cases, probability of safe navigation does not exceed the required level. According to obtained data on the dynamics of waterborne transport accident rate in recent years, it can be argued that the accident rate remains at the same level, and the largest percentage falls on accidents in limited maneuvering space (rivers, port areas, coastal navigation).

An effective mechanism for the operation of water transport vehicles in modern conditions of intellectualization of the decision-making system is the transition to instrumental navigation method (river *e*-navigation) instead of current pilot method, and further increase of the safety of water transport on inland waterways. Of particular note are the most important applied results of the proposed method, such as the possibility of automated display of individual navigable lane for the vessel depending on the selected draft and the actual water level, and in the future, abandonment of coastal and floating navigation equipment. In addition, it should be noted that implementation of instrumental navigation method will allow to quickly close navigation on the fairway, and carry out escort of only selected vessels during the special period. Implementation of instrumental navigation method is considered as a system object, taking into account its system nature, that is not as a whole, but as a complex of interrelated components and their properties.

According to literature data, it shall be noted that the publications associated with the problem instrumental navigation method with the help of Inland ECDIS are very limited, and some aspects are explored not completely, superficially and casually. According to literature data analysis, it was found that the central direction of the solution of this problem is the improvement and development of efficient methods of operation of waterborne transport with the help of additional methods of implementation of computational intelligence, the choice of a safe way in compliance with the requirements of safety of maneuvering vessel's movement, and environmental protection.

The main direction of thesis research devoted to the development of method of automation of functional subsystems of instrumental navigation method in different

emergency conditions. The development of methods for simulating such functional system contributes to more efficient navigation under the conditions of inland water e-navigation, prevention of taking the ground, and ensuring safe passage under bridges, power lines in confined spaces, including the implementation of additional tasks.

The object of study is the processes of operation of water vehicles on the Dnieper River, and the subject of the study are models and methods that determine the structure and processing of data in electronic cartographic means of river navigation.

The methodological structure of the thesis is developed, and its methodological support is given. The choice of the research issue, and its main directions were determined. The purpose of the thesis research and its main task represented by independent composite tasks were stated. Working hypothesis of scientific research was formulated and confirmed, and it was shown that when solving independent composite tasks, corresponding scientific results of the thesis were obtained. Research results having scientific novelty were presented, and have been further developed. Practical value of the research for ensuring the safe navigation of waterborne craft was substantiated. Intricate problem-solving techniques and mathematical apparatus were applied. The methods describe the main stages of scientific research and include theoretical developments by using modern methods of expert analysis.

The effectiveness of the proposed network of instrumental navigation method was evaluated by performing a priori estimation and simulation computer modeling to determine the expected efficiency and feasibility of the implementation of modern navigation method before the stage of operation. Mathematical modeling techniques were applied for a priori estimation.

In the main part of the work the review and the analysis of the development of modern navigation systems has been performed for solving the problems of traffic control on inland waterways of Ukraine. The existing dominant infrastructure and technical factors, features of river navigation which limiting navigation on the Dnieper river were defined. The procedure for obtaining information for ship control using Inland ECDIS was defined. Analysis of current state of functioning of electronic

cartographic means in water areas of navigation was carried out. Conditions and requirements for the system of effective support of decision-making by the skipper, and expert systems were formulated. For determining the direction of the thesis research, a comparative analysis of the differences in the standards of sea and river ECDIS was given. As well, it was proved that Inland ECDIS should become a part of an integrated information system for traffic management on inland waterways. It was established that the theory of functional density of instrumental navigation method provides new approaches to solving the scientific problem, and includes a set of logically related foundations. Criteria for assessing functional stability of instrumental navigation method on inland waterways of Ukraine were applied. The main stages of functional stability of instrumental navigation method including the system of elements of coastal infrastructure and ship navigation equipment were shown. An algorithm was developed for implementing system functional stability by using a mathematical model in the form of undirected graph. Quantitative criteria were given for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation that should be taken into account for the formalization of the criteria laid down in the logic of the functioning of the expert system. System analysis of implementation of instrumental method of navigation was applied. General scheme of stages of improvement of the efficient operation of waterborne transport was developed. Informal procedures are widely used in system analysis: combination of formal and informal methods of analysis and synthesis. Review and analysis of literary sources on the research topic was carried out. The main directions of research on this issue were analyzed. Ways to address some of issues of improving the efficiency of the processes of operation of navigation electronic mapping tools not disclosed in full were substantiated. Dissertation roadmap has been developed with the definition of mechanisms for its implementation.

The methodology and the main stages of system optimization of the structure of instrumental navigation method were stated and substantiated. Navigation parameters for watercraft stabilization task and functional stability of the system were determined. Watercraft stabilization task, the process of measuring the deviation from the reference program line were considered on program trajectories displayed on SENC.

Mathematical calculations were given for determining the position of any point on the watercraft by two points with known positions. A model of two-channel stabilization mode for obtaining navigation parameters based on Inland ECDIS was proposed. The method of implementation of computational intelligence using a detailed array of depths in electronic mapping systems for rivers was applied. The method of expansion of functionality of Inland ECDIS due to mutual functioning with Inland radar was proved. An algorithm was determined for automated determination of boundary values of watercraft navigation parameters by using possible options for the position of the relative motion line in SENC, and mathematical model of the point location along the trajectory in different orthogonal coordinate systems.

A criterion method was justified for assessing the solution of tasks of context-oriented intellectual processing of navigation data flow, where each individual alternative was evaluated by a specific number (criterion, target function). Requirements to context management were formulated. In contrast to the traditional use of fuzzy logic, a hybrid approach was used, in which different actively interacting computational models function in different parts of system. A game matrix was constructed for the choice of an optimal strategy on the basis of the developed list of information situations related to the uncertainty of the environment. A model of decision-making under multi-criteria, based on overall effectiveness criteria was proposed. The Normalization method was applied to solve this problem; weight method and convolution method. The stages of building of a hybrid neuro-fuzzy model with the identification of the system of priorities of the subject were determined. Neuronal activation functions were applied. Architecture of artificial neural network of instrumental navigation method was constructed. A model of neuro-fuzzy expert system in the structure of logical conclusions of Inland ECDIS operator was proposed. The task of placing external entity object for obtaining optimal flow of navigation data was solved.

The program of experimental studies and the ways of a priori estimation of the proposed technology were determined. Performance indicators and formulas were selected. The method of experimental studies in the form of 12 tests was determined. Obtained results of experimental studies confirm the effectiveness of the proposed

methods of efficient waterborne transport operation. Thus, the proposed methods contribute to improving accuracy of navigation parameters by 10 %; reducing the time for decision making on ensuring the safety of navigation by the captain's shift assistant by 10 times; improving efficiency of navigation watch keeping by 30 %; increasing the probability of safe navigation to 0.97.

The following results containing scientific novelty were received in the thesis:

- for the first time, the model of optimization of the structure of the instrumental method of navigation, which differs from the previously known integration of methods of system and situational analysis, based on the components of complex automation of functioning of functional subsystems with the increased level of traffic safety in different emergency conditions of river navigation;

- for the first time, a model of context-oriented intelligent processing of navigation data streams is proposed, which, unlike the existing ones, provides processing of automated data in an electronic chart system for solving operational navigation problems;

- an advanced, method of automated determination of limit values of navigational parameters when a vessel is moving along the fairway, which allows, unlike the existing ones, to use the integration of vector electronic chart data and external sensors;

- has been further developed, method of using neural networks by solving the procedure of calculating the reverse error propagation, which allows, unlike the existing ones, to increase the accuracy of navigation parameters due to the training of the neural network.

Practical importance of the thesis shall be determined by the fact that its main results can be used by developers of navigation information systems designed for local independent management of IWW navigation in Ukraine.

The materials of thesis research are used in the educational process of KIWT SUIT in teaching the discipline "Navigation information systems" (the act as of 14.05.2019). The materials of thesis research are also used in simulator training in the Kyiv centre for training, retraining and advanced training of specialists of waterborne transport in following fields: "Use of Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)" and "Use of Electronic Chart Display and Information Systems in IWW" (the act as of 30.12.2018), in the Centre for training of specialists of sea and river transport "Ukrvodshliakh – Training" in the field "Use of Electronic Chart Display and Information Systems in IWW" (the act as of 14.01.2019). Application results of thesis research are introduced in the following institutions: shipping company "South river shipping company" (certificate of implementation as of 30.04.2019), River information service of the branch "DELTA-PILOT" (the implementation act as of 21.05.2019), the state directorate "State hydrographic service of Ukraine" (certificate of implementation as of 14.05.2019), aboard the ship "Vectis Isle " (the implementation act as of 25.03.2019).

**Keywords:** safety of navigation, waterborne transport, Inland ECDIS, instrumental navigation method, undirected graph, artificial neural network, expert system.

The basic results of dissertation are published in the following scientific labors.

1. Алєйніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS / Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / М. В. Алєйніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2015. — № 2 (23). — С. 26 – 33.

2. Алєйніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алєйніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2015. — № 2 (13). — С. 303-316.

3. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.
4. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29. DOI:10.3180/2524-0102/2019.08.03.
5. Alieinikov, M., Panin, V., Doronin, V., Tykhonov, I. (2018). Application of Intelligent Processing of Data Flows Under Conditions of River Navigation. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 3/9 (93), 6 – 18 (Scopus). DOI:10.1558/1729-4061.2018.131599.
6. Алейніков, М. В. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.
7. Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.
8. Alieinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river e-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, Denmark, Vol. 8 (88), 54 – 61.

The publications which certify approbation of materials of dissertation.

9. Aleynikov, M. V. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179.
10. Алейніков, М. В. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавництво «ПП Вишемирський В. С.», 2018. — С. 152 – 154.
11. Алейніков, М. В. Зняття невизначеності при русі судна з використанням систем електронно-картографічної навігації та деталізованого банку глибин шляхом ситуаційної динаміки у n-мірному просторі / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадянського суспільства та становлення економіки знань», 29–30 вересня 2017 року, м. Київ. — Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017 — С. 5 – 11.
12. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.

13. Алєйніков, М. В. Контекстно-орієнтовна інтелектуальна обробка потоків даних в умовах інструментального методу навігації / М. В. Алєйніков // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., частина 2, 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ: КДАВТ, 2018. — С. 44-47.

14. Алєйніков, М. В. Метод системної оптимізації автоматизованого використання деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / М. В. Алєйніков, В. В. Доронін. // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій», 14 – 15 листопада 2017 року, м. Полтава : ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 69-71.

15. Алєйніков, М. В. Актуальні питання впровадження електронної навігації в інтересах забезпечення безпеки плавання кораблів Військово-Морських Сил України Збройних Сил України / М. В. Алєйніков, В. В. Доронін. // II етап науково-практичної конференції «Морські дослідження і технології в Україні: стан та перспективи розвитку», 22 листопада 2016 р., м. Одеса : ОдНУ ім. І.І. Мечникова, 2016. — С. 54-69.

The materials that additionally reflect the scientific results of the dissertation.

16. Патент UA, Клас, серія H04 B10/40. Спосіб використання деталізованого масиву глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна / В. М. Алєйніков, М. В. Алєйніков, В. В. Доронін, О. М. Спїян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03335 від 03.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

17. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження  $e$ -навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алєйніков, М. В. Алєйніков, В. В. Доронін, О.М. Спїян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

18. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової *e*-навігації / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Спідан; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 05627 від 24.05.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

19. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3920 від 05.06.2018; авторський договір № 35-18С-НС від 13.04.2018.

20. Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3917 від 05.06.2018; авторський договір № 36-18С-НС від 13.04.2018.

21. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3921 від 05.06.2018; авторський договір № 37-18С-НС від 13.04.2018.

22. Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3902 від 17.05.2018; авторський договір № 33-18С-НС від 10.04.2018.

23. Алейніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS/Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3922 від 05.06.2018; авторський договір № 34-18С-НС від 10.04.2018.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>28</b>
 <b>РОЗДІЛ 1.</b>	
<b>СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОНАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ</b>	
<b>ВИМОГ З БЕЗПЕКИ РУХУ ВТЗ НА МАРШРУТАХ</b>	
<b>ЕЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ.....</b>	
	<b>39</b>
1.1 Розвиток сучасних систем навігації для вирішення задач управління рухом суден на внутрішніх водних шляхах України.....	39
1.2 Інтелектуальна інтегрована система навігації Inland ECDIS як центр суднової інформаційної мережі для забезпечення безпеки судноплавства.....	49
1.3 Особливості експлуатації водного транспорту та функціональної стійкості навігаційного обслуговування в сучасних умовах застосування інструментального методу навігації.....	56
1.4 Застосування системного аналізу впровадження інструментального методу навігації на річці Дніпро .....	69
1.5 Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження .....	78
1.6 Дорожня карта дисертації з визначенням кроків та механізмів реалізації.....	84
Висновки до Розділу 1 .....	91
 <b>РОЗДІЛ 2.</b>	
<b>МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНО</b>	
<b>СТІЙКОГО НАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ</b>	
<b>ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ.....</b>	
	<b>94</b>
2.1 Модель оптимізації структури інструментального методу навігації.....	94
2.2 Навігаційні параметри для задач стабілізації руху судна та	

функціональної стійкості системи інструментального методу навігації .....	100
2.3 Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах.....	112
2.4 Метод розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС.....	119
2.5 Метод автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна по фарватеру.....	129
Висновки до Розділу 2 .....	139

### **РОЗДІЛ 3.**

#### **РОЗРОБКА НОВИХ МЕТОДІВ ЕЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ІМН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

#### **ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВТЗ.....**

3.1 Контекстно-орієнтований керований підхід під час інтелектуальній обробці потоків даних в умовах підвищеного ризику руху ВТЗ.....	141
3.2 Побудова гібридних нейро-нечітких моделей складових елементів системи ІМН.....	152
3.3 Використання нейромережевої експертної системи у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS.....	160
3.4 Розв'язування задачі розміщення об'єктів зовнішнього середовища для отримання оптимального потоку навігаційних даних.....	169
Висновки до Розділу 3 .....	182

### **РОЗДІЛ 4.**

#### **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ І ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ .....**

4.1 Програма досліджень показників ефективності інтелектуалізації	184
---	-----

інтегрованої системи ІМН.....	184
4.2 Результати і порівняльний аналіз експериментальних досліджень аналітичних результатів моделювання існуючого і запропонованого методів навігації.....	195
4.3 Розрахунок показників та оцінка ефективності впровадження запропонованого методу навігації .....	211
4.4 Сфера застосування розроблених методів і пропозиції щодо подальших досліджень .....	220
Висновки до Розділу 4 .....	223
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	225
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	229
<b>ДОДАТКИ</b> .....	247
Додаток А. Список публікацій здобувача, відомості про апробацію і матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації.....	248
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертації.....	252
Додаток В Положення про річкову інформаційну службу на внутрішніх водних шляхах України.....	259
Додаток Г. Перелік основних міжнародних документів, що регламентують установку та експлуатацію НІКС на морських і річкових суднах .....	266
Додаток Д. Порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS .....	268
Додаток Е. Порівняльний аналіз ефективності експлуатації ECDIS з векторним та растровим відображенням топології простору руху судна.....	275
Додаток Ж. Перелік основних характеристик і параметрів мережі водних шляхів категорії Е в Україні («Синя Книга»).....	284

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

AP	– Автоматизоване рішення
БОН	– Безпечна область навігації
ВВШ	– Внутрішні водні шляхи (річкові шляхи)
ВП	– Водомірний пост
ВСП	– Верхній судноплавний рівень
ВТЗ	– Водні транспортні засоби
ДУІТ	– Державний університет інфраструктури та технологій
ЕК	– Електронна карта
ЕНК	– Електронна навігаційна карта
ЄЕК ООН	– Європейська економічна комісія ООН
ЗНО	– Засоби навігаційного обладнання
ІК	– Інтерфейс користувача
ІМН	– Інструментальний метод навігації (річкова <i>e</i> -навігація)
ІС	– Інформаційна система
КДАВТ	– Київська державна академія водного транспорту
МОН	– Міністерство освіти і науки
НІС	– Суднова навігаційно-інформаційна система
НОН	– Небезпечна область навігації
НП	– Навігаційний параметр
НСР	– Нижній судноплавний рівень
ПЗ	– Програмне забезпечення
РІС (RIS)	– Річкова інформаційна служба
РЛЗ	– Радіолокаційне зображення
СДС	– Складна динамічна система
СКП	– Середня квадратична помилка
СППР	– Система підтримки прийняття рішень

AIS	– Automatic Identification System
ARPA	– Automatic Radar Plotting Aid
CI	– Computational Intelligence (обчислювальний інтелект)
DGPS	– Differential Global Positioning System
ECDIS	– Electronic Chart Display and Information System
ECS	– Electronic Chart System
ENC	– Electronic Navigational Chart
ES	– Expert System (експертна система)
ESNN	– Експертна система на нейронних мережах
ESNN <sup>P</sup>	– Експертна система на нейронних мережах (на прецедентах)
GPS	– Global Positioning System
IEC	– International Electrotechnical Commission
IHO	– International Hydrographic Organization
IMO	– International Maritime Organization
Inland ECDIS	– Inland Electronic Chart Display and Information System
<i>Inf</i>	– Information Mode for Inland ECDIS
<i>Nav</i>	– Navigation Mode for Inland ECDIS
NN	– Штучна нейронна мережа
NNClass	– Штучна нейронна мережа для класифікації вхідних сигналів
$P_{\text{бн}}$	– Ймовірність безпечного плавання
RIS	– River Information Service
SOLAS	– The International Convention for the Safety of Life at Sea
SENC	– System Electronic Navigational Chart
WS	– Water Station (водомірний пост)

## ВСТУП

Україна має досить високий судноплавний потенціал річок, довжина її водних шляхів, придатних для експлуатації, складає близько 6200 км. Річки Дніпро – 1205 км (зі своїми рукавами: річка Десна – 520 км і річка Прип'ять – 60 км), Дунай – 160 км і частково Південний Буг – 155 км, залишаються основними судноплавними маршрутами [60, 150, додаток Ж]. Внутрішній водний транспорт визнається як безпечний, універсальний, надійний і екологічно чистий вид транспорту. Хоча більшість вантажовідправників вважає його надскладним через низку навігаційних перешкод і адміністративні обмеження.

Найбільш важливою проблемою ефективної експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) на основних судноплавних маршрутах на сьогоднішній день є питання безпеки судноплавства. Безпека та ефективність руху суден на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) України забезпечується різноманітними системами навігації та управління їх рухом, які за останні 20 років суттєво змінилися. Потреба в удосконаленні наявних і створенні нових систем обумовлена тим, що за статистичними даними ІМО, ЄЕК ООН, матеріалів Державної служби морського та річкового транспорту України рівень аварійності не знизився незважаючи на значні зусилля щодо вирішення проблем безпеки та організації ефективної роботи ВТЗ. Продовжують траплятися посадки суден на мілину, зіткнення суден. Аварії, як правило, обумовлені навігаційними похибками. Причому на навігаційні похибки і промахи припадає понад 80% транспортних пригод на ВВШ [54].

З кожним роком все більше суден переходять на використання електронно-картографічних систем. Разом з тим кількість надзвичайних ситуацій не зменшується. Судноводії виявляються не готовими до застосування встановлених на борту ECDIS / Inland ECDIS. Так, в середині вересня минулого року хімічний танкер Ovit, зареєстрований під прапором Мальти, сів на мілину в Дуврській протоці. В результаті розслідування, проведеного британським морським бюро,

було виявлено, що головною причиною є неправильна робота з електронно-картографічної системою. Британські інспектори зробили висновок, що кількість надзвичайних ситуацій при наявності ECDIS на борту збільшилася. Це пов'язано з недоробками системи, а також з більш загальними проблемами підготовки офіцерів. Наприклад, маршрут на електронній системі прокладав недосвідчений помічник капітана. Безпека навігації за важливістю займає третю позицію після пожежної безпеки та забезпечення гідних умов роботи і життя на судні в списку основних цілей Паризького меморандуму про взаєморозуміння щодо контролю суден державою порту. Аварійні події свідчать про наявність проблем перехідного періоду, коли звичайні навігаційні карти змінюються електронними аналогами. За даними Паризького меморандуму за останній рік кількість інцидентів, пов'язаних з недоліками навігаційних систем, збільшилася на 13%.

Причини вищезазначених обставин полягають також у тому, що добре розроблені процеси та відомі технології використовують спрощені лінеаризовані моделі руху суден і навігаційно-гідрографічного забезпечення безпеки судноплавства. Ці моделі не враховують реальні різноманітні зміни нелінійних багатопараметричних характеристик суден та взаємодію їх з оточуючим середовищем у складних умовах руху на ВВШ, які швидко змінюються [123, 128].

Багатокритеріальні вимоги до використання інструментального методу навігації (ІМН) на ВВШ України, насамперед на стислих габаритних смугах, породжують труднощі з реалізацією обчислювального інтелекту. За допомогою сучасних комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій він (метод) поки ще не здатний за критерієм обчислювальної складності забезпечити безпеку судноплавства на ВВШ України. Ефективність майбутніх систем навігації та управління рухом суден повинна бути адекватна реальній фізичній природі. Для цього потрібен своєчасний опис реальних змін параметрів стану. Це забезпечують новітні нелінійні багатопараметричні моделі, що повинні відображати рух суден на електронній карті у широкому експлуатаційному діапазоні на криволінійних ділянках [9].

Проблема, яка пов'язана із застосуванням ІМН (річкової *e*-навігації), гостро постала на р. Дніпро. Тому особливо слід відзначити найбільш важливі прикладні результати пропонованого підходу, такі як можливість автоматизованого відображення індивідуальної судноплавної смуги для судна в залежності від обраної його осадки і дійсного рівня води, а в перспективі відмова від установки берегових і плавучих ЗНО та від лоцманського принципу судноводіння [123, 128].

Так, на утримання берегової і плавучої обстановки р. Дніпро спеціалізоване підприємство ДП водних шляхів «Укрводшлях» витрачає значні фінансові кошти, в тому числі з державного бюджету (на утримання 2400 знаків берегової і плавучої обстановки вартістю 7,5 млн. дол. США витрачається на рік приблизно 30 млн. грн ). Вирішення такої проблеми безумовно надасть економічний ефект.

До того ж слід зазначити, що введення ІМН дозволить в особливий період оперативно закрити судноплавство по фарватеру й здійснювати проводку тільки обраних суден.

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Проблема пошуку методів для високоефективного і безпечного руху ВТЗ з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища на річці Дніпро, була та залишається актуальною. Так, за даними ІМО, ЄЕК ООН, матеріалів Державної служби морського та річкового транспорту України рівень аварійності не знизився незважаючи на значні зусилля науковців щодо вирішення проблем безпеки та організації ефективної роботи ВТЗ. Практика показує, що існують ризики безпечного судноводіння. Продовжують траплятися посадки суден на мілину, зіткнення суден., а найбільший відсоток припадає на аварії в умовах обмеженого маневрового простору (річки, портові зони, прибережне плавання). Аварії, як правило, обумовлені навігаційними похибками. Причому на навігаційні похибки і промахи припадає понад 80% транспортних пригод на річці Дніпро. За останній рік кількість інцидентів, пов'язаних з недоліками навігаційних систем, збільшилася на 13%. Аналіз сучасних досліджень науковців у галузі річкового і морського транспорту показує, що ефективним механізмом ефективної і безпечної експлуатації водних транспортних засобів є перехід на інструментальний метод

навігації замість діючого візуального (лоцманського) методу. На річці Дніпро вирішення такої проблеми безумовно знизить ризики безпечного судноводіння надасть значний економічний ефект державі.

Застосування інструментального методу навігації на річці Дніпро стає особливо актуальним у зв'язку із введенням в дію змін до наказу Міністерства інфраструктури України від 25.02.2011 № 7 щодо оснащення всіх категорій річкових суден обладнанням Inland ECDIS, Inland radar, Inland AIS, PIC починаючи з 2017 р. Але разом з тим, слід зазначити, що наказ Міністерства інфраструктури України вийшов, але з наукової та практичної точок зору не ясно як виконувати.

Тому, вибрана тема дослідження щодо розробки і впровадження методів застосування інструментального методу навігації є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами** ґрунтується на узагальнених результатах досліджень, виконаних автором відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (Указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), а також у межах Галузевої програми забезпечення у сфері безпеки судноплавства на 2019 – 2021 роки.

Робота пов'язана з результатами наукових програм, планів, директив:

1. Програма дій інтеграції європейського судноплавства – NAIADES.
2. Директива 2005/44/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи від 07.09.2005 р. стосовно гармонізації річкових інформаційних служб держав Співдружності відповідно до європейських стандартів безпеки судноплавства.
3. Стратегічний план розвитку річкового транспорту на період до 2020 року (наказ Міністерства інфраструктури України від 18 грудня 2015 р. № 543).

**Мета і завдання дослідження.** Метою досліджень є підвищення ефективності експлуатації засобів водного транспорту із застосуванням сучасного інструментального методу навігації на річці Дніпро шляхом розробки нових методів і моделей, що дозволяють автоматизувати виконання оперативних

навігаційних задач в електронно-картографічній системі.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

1. Проведення аналізу розвитку сучасних систем навігації для вирішення задач безпечного управління рухом суден на річці Дніпро.
2. Застосування методологічних засад реалізації обчислювального інтелекту при впровадженні критеріїв функціональної стійкості складної системи ІМН в умовах експлуатації водного транспорту на річці Дніпро.
3. Розробка комплексних методів ефективного використання електронно-картографічних засобів при впровадженні ІМН з дотриманням вимог з безпеки руху водного транспорту.
4. Конструктивне вирішення додаткових завдань, які впливають у зв'язку із впровадженням ІМН.
5. Проведення імітаційного моделювання з визначенням показників ефективності запропонованих методів експлуатації водного транспорту та функціональної стійкості навігаційного обслуговування в умовах ІМН.

**Об'єкт дослідження** – процеси експлуатації водних транспортних засобів на річці Дніпро.

**Предмет дослідження** – моделі і методи, що визначають структуру і обробку даних у електронно-картографічних засобах річкового судноводіння.

**Методи досліджень.** Для вирішення поставлених у дисертації завдань розроблена методика системного аналізу, яка гарантує високу якість моделювання згідно з точнісними критеріями судноплавства і економічності. Було застосовано такі загальнонаукові методи досліджень, як: системний підхід, комп'ютерне моделювання, метод нормалізації, вагомий метод і метод згортки при обробки даних нейронними мережами.

При застосуванні методик експерименту використаний не тільки особистий досвід, але й досвід провідних вітчизняних і зарубіжних дослідників. Основою методики є сучасні інтегровані математичні методи обробки і аналізу дослідних даних – встановлення емпіричних залежностей, встановлення критеріїв та інтервалів.

Інформаційна база дослідження – статистична звітність спеціалізованих організацій Міністерства інфраструктури України, Державної служби морського та річкового транспорту України, судноплавної компанії «Укррічфлот», судноплавної компанії «Нібулон», судноплавної компанії «Південне річкове пароплавство», ДП «Укрводшлях», аналітичні огляди з досліджуваної проблеми, зарубіжні та вітчизняні інформаційно-публіцистичні видання.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

Вирішена наукова задача стосовно застосування наукового підходу щодо впровадження сучасної системи навігації на річці Дніпро у вигляді вирішення в першу чергу слабоструктурованих проблем, що характеризуються наявністю фактора невизначеності і містять як формалізовані, так і неформалізовані елементи, що не перекладаються на мову математики. Мета дисертаційного дослідження досягається шляхом розробки нових методів, що дозволяють автоматизувати електро-картографічну систему Inland ECDIS для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи. Впровадження методів сучасної обробки навігаційних даних гарантує підвищену ймовірність безпечного плавання згідно з точнісними критеріями судноплавства.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

- вперше запропонована модель оптимізації структури інструментального методу навігації, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією (методів) процедур системного та ситуаційного аналізу, а також комплексної автоматизації роботи функціональних підсистем з метою підвищення рівня безпеки руху в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння

- вперше запропонована модель контекстно-орієнтованої інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних, яка на відміну від існуючих забезпечує обробку автоматизованих даних в електронно-картографічній системі для розв'язання оперативних задач навігації;

– удосконалений метод автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна по фарватеру, що дозволяє, на відміну від існуючих, використовувати інтегрування даних векторної електронної карти і зовнішніх датчиків;

– набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури обчислення зворотного поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність навігаційних параметрів за рахунок навчання нейронної мережі.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичне значення роботи визначається тим, що її основні результати можуть бути використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом судноплавства на ВВШ.

Цінність очікуваних результатів полягає у забезпеченні ефективного функціонування водного транспорту, в тому числі з урахуванням завдань обороноздатності держави, шляхом підвищення ефективності функціонування електронно-картографічних засобів з дотриманням безпеки руху та вимог охорони навколишнього середовища на річці Дніпро.

1. Проведений аналіз показує можливості використання інформаційних методів для оцінки вхідної і вихідної інформації Inland ECDIS при безпосередньому і безперервному контролі за просуванням судна і його розташуванням при інструментальному методі навігації на річці Дніпро.

2. Неодмінною умовою застосування цього підходу є: врахування особливостей структури і побудови Inland ECDIS, врахування критеріїв функціональної стійкості складної системи інструментального методу навігації на річці Дніпро з врахуванням часової невизначеності реальних потоків інформації.

3. Можливість відображення на судновому ході індивідуальної судноплавної смуги для судна в залежності від обраної його осадки і дійсного рівня води.

4. Автоматизація оновлення навігаційної інформації на SENC при ІМН дозволить виключити помилки в системі підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів, покращити показники аварійності суден.

5. Впровадження запропонованого методу дозволить конструктивно вирішити ряд додаткових задач: повністю відмовитися від лоцманського принципу судноводіння; відмовитися від установки берегових і плавучих ЗНО.

Практична цінність випробувана шляхом впровадження результатів в організаціях:

- Державній установі «Держгідрографія» – в частині удосконалення коректури і подальшого використання векторних електронних карт в Inland ECDIS;

- Державному підприємстві «Укрводшлях» – в частині впровадження тренажу та сертифікації операторів Inland ECDIS для реалізації цільових завдань водного транспорту на ВВШ України;

- судноплавній компанії «Южное речное пароходство» – в частині впровадження методики проходження вузькості і тренажу операторів ECDIS в складних умовах експлуатації водного транспорту;

- КІВТ ДУІТ – в частині використання в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Навігаційні інформаційні системи»;

- Київському Центрі підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців водного транспорту – в частині використання в навчальному процесі за напрямками «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ»;

- Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» – в частині удосконалення подальшого використання векторних електронних карт;

- судні «Vectis Isle» – в частині впровадження методики проходження вузькості і тренажу операторів ECDIS в складних умовах експлуатації ВТЗ.

**Особистий внесок здобувача.** Постановка мети та завдань, обговорення результатів проведені разом з науковим керівником: здійснений інформаційний пошук і виконаний аналіз основних підходів до вирішення досліджуваної проблеми забезпечення безпеки судноводіння, обґрунтовано методологічне забезпечення дослідження, застосовані математичний апарат і методики вирішення складових задач, визначені існуючі домінуючі інфраструктурні та технічні фактори, які обмежують навігацію на річці Дніпро, застосовані критерії оцінки і показані основні етапи функціональної стійкості ІМН, розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості системи, запропонована модель двоканального режиму стабілізації отримання навігаційних параметрів на базі Inland ECDIS, визначений алгоритм автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна, запропонована модель нейро-нечіткої експертної системи у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS, виконані експериментальні дослідження, здійснена апріорна оцінка ефективності запропонованої технології із застосуванням методів математичного моделювання.

Співавторами наукових праць є науковий керівник та науковці, спільно з якими проведені дослідження. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить фактичний матеріал і основний творчий доробок: розробка алгоритму автоматичного накладення РЛЗ на ENC за наявності між зображеннями яскравісних і геометричних відмінностей [4]; математичне розв'язування задачі автоматичного отримання даних до лімітуючих обмежень навігації. [5]; розробка алгоритму автоматизації тестування інтерфейсу користувача ECDIS [6]; вибір критеріїв оцінки функціональної стійкості ІМН, математична формалізація критеріальних визначень з використанням моделі неорієнтованого графа [7]; побудова архітектури нейронної мережі, здійснення вибору критеріїв оптимальності Байєса, Вальда, Джейнса, Лапласа [8]; розробка способу інтелектуальної обробки потоку даних шляхом застосування символно-формалізованих перетворень Лапласа [9], обґрунтування сценарію захоплення в Inland ECDIS потоку даних від водомірних постів, автоматизований розрахунок

поправок в SENC [10]; здійснення аналізу навігаційних параметрів, що надходять від водомірних постів в диференціальному режимі в Inland ECDIS, обґрунтування системного науково обґрунтованого підходу до автоматизації і періодичності оновлення деталізованого масиву глибин на SENC, розробка єдиної структурної моделі складної динамічної системи Inland ECDIS [122]; розробка методики системного аналізу візуального (лоцманського) і інструментального методу навігації з визначенням закономірностей функціонування систем, викладення принципу функціонування корисної моделі [123]; аналіз різних варіантів критеріїв вихідної інформації для прийняття автоматизованого рішення в умовах невизначеності та ризику, графічне зображення реальної ієрархії засобів управління, проведення експериментальних досліджень корисної моделі [124]; застосування можливих варіантів положення лінії відносного руху на SENC, розробка алгоритму автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів [149].

**Апробація результатів дисертації.** Пропозиції щодо майбутніх досліджень доповідалися (і оформлені у вигляді тез) на науково-практичній конференції «Морські дослідження і технології в Україні: стан та перспективи розвитку» (Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2016 р.), на XIII Міжнародній науковій конференції (ISDMCI'2017) «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (м. Херсон, 2017 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадянського суспільства та становлення економіки знань» (Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017 р.), на Міжнародній науковій конференції (ISDMCI'2018) «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (м. Херсон, 2018 р.), на Першій всеукраїнській науково-технічній конференції «Проблеми інфокомунікацій» (ПолтНТУ, Полтава, 2017 р.), 21-ій науково-методичній конференції викладачів, аспірантів та студентів (МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту, 2017 р.), Науково-методичній конференції (МОН України, КДАВТ, 2018 р.).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень автором опубліковані 8 наукових праць, включаючи: 6 статей в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України [4–7, 9, 10], 1 статтю у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus (Q-2) [8], 1 наукову працю у періодичному науковому виданні Данії, яка входить до Європейського Союзу [149]; 3 патенти [122–124]; в збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 7 доповідей [11–17]. Додатково для відображення наукових результатів дисертації отримано 5 авторських свідоцтв.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 286 сторінок, у тому числі: 160 сторінок основного тексту, 61 рисунок (на 42 сторінках), 33 таблиці (на 27 сторінках), 39 сторінок додатків, список використаних джерел на 18 сторінках (156 найменувань).

## РОЗДІЛ 1

# СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОНАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ ВИМОГ З БЕЗПЕКИ РУХУ ВТЗ НА МАРШРУТАХ ЕЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ

## 1.1. Розвиток сучасних систем навігації для вирішення задач управління рухом суден на внутрішніх водних шляхах України

Міжнародне значення ВВШ України обумовлено, перш за все, наявністю таких річок, як Дунай (порти Рені, Ізмаїл, Усть-Дунайськ) і Дніпро. У той час, як потенціал річки Дунай досить висвітлений в різних технічних дослідженнях внаслідок більш розвиненого ринку судноплавства, роль річки Дніпро вивчена до теперішнього часу менш детально [17].

Річка Дніпро відноситься до міжнародних ВВШ категорії «Е», відкрита для заходу іноземних суден [50, 64, додадок Ж]. Цей фактор дозволяє на річці Дніпро забезпечити оптимальний розподіл транспортних потоків з Центральної та Східної Європи в напрямку портів Чорного моря. За умови створення відповідної логістичної інфраструктури та поліпшення умов для судноплавства річка Дніпро могла б відігравати важливу роль в логістичних ланцюгах, поєднуючи річку Дунай, Чорне і Середземне моря. По Азовському морю, річці Дон і Волго-Донському каналу судна можуть доходити до портів на річці Волзі, Каспійського і Балтійського басейнів.

Проте, існують домінуючі інфраструктурні та технічні фактори, які обмежують навігацію на річці Дніпро [139]:

– несистемна підтримка габаритів суднового ходу, днопоглиблювальні роботи не проводяться на належному рівні, Так, прохід завантажених великотоннажних суден типу «річка-море» можливий тільки до порту Дніпро;

- засоби навігаційного забезпечення (буї, створи, орієнтири) зношені і знаходяться в поганому стані, більше того, освітлення іноді слабке або не працює, орієнтири зруйновані;

- обслуговування суден в портах (здавання нафтовмістних, стічних вод і сміття) на рівні вимог Міжнародної конвенції по запобіганню забрудненню від суден МАРПОЛ 73/78) практично відсутнє.

Потенціал річкового транспорту також не використовується, головним чином, внаслідок наступних факторів:

- внаслідок звивистого русла річки Дніпро відстань від порту Херсон до порту Київ по річці становить 850 км, тоді як відстань від Одеси до Києва по автомобільній дорозі складає 510 км, а по залізниці (тарифна відстань) – 713 км;

- судноплавство на річці Дніпро передбачає проходження цілого ряду шлюзів, у тому числі Запорізького однокамерного судноплавного шлюзу (з перепадом води в камері 37,5 м) – 3-го по висоті з шлюзів у світі [50]. Слід зазначити, що на основних комерційних внутрішніх західноєвропейських водних шляхах, таких як Рейн, Сена, Рона, Ельба і Шельда немає шлюзів (за винятком гирла річок, де є приливні течії для підтримання рівня води);

- одним з ключових факторів є те, що, річка Дніпро, як і інші річки, розташовані в східній частині Європи, схильні до льодоставу, що знижує термін її доступності на період від 3 до 4 місяців на рік. Залучення криголамів могло б продовжити навігаційний період, але не буде гарантією безперебійності перевезень.

Очевидно, що ці особливості тягнуть за собою істотне підвищення витрат в плані інвестицій в інфраструктуру і її обслуговування, включаючи забезпечення безпеки судноплавства і захист навколишнього середовища. Особливістю законодавства України в сфері водного транспорту є розмежування морського і внутрішнього водного (річкового) транспорту в частині їх правової регламентації.

Для відродження і подальшого розвитку судноплавного потенціалу річки Дніпро необхідно вжити ряд заходів, спрямованих на усунення наступних проблем, які можна розділити на 4 групи (рис. 1.1) [60]:

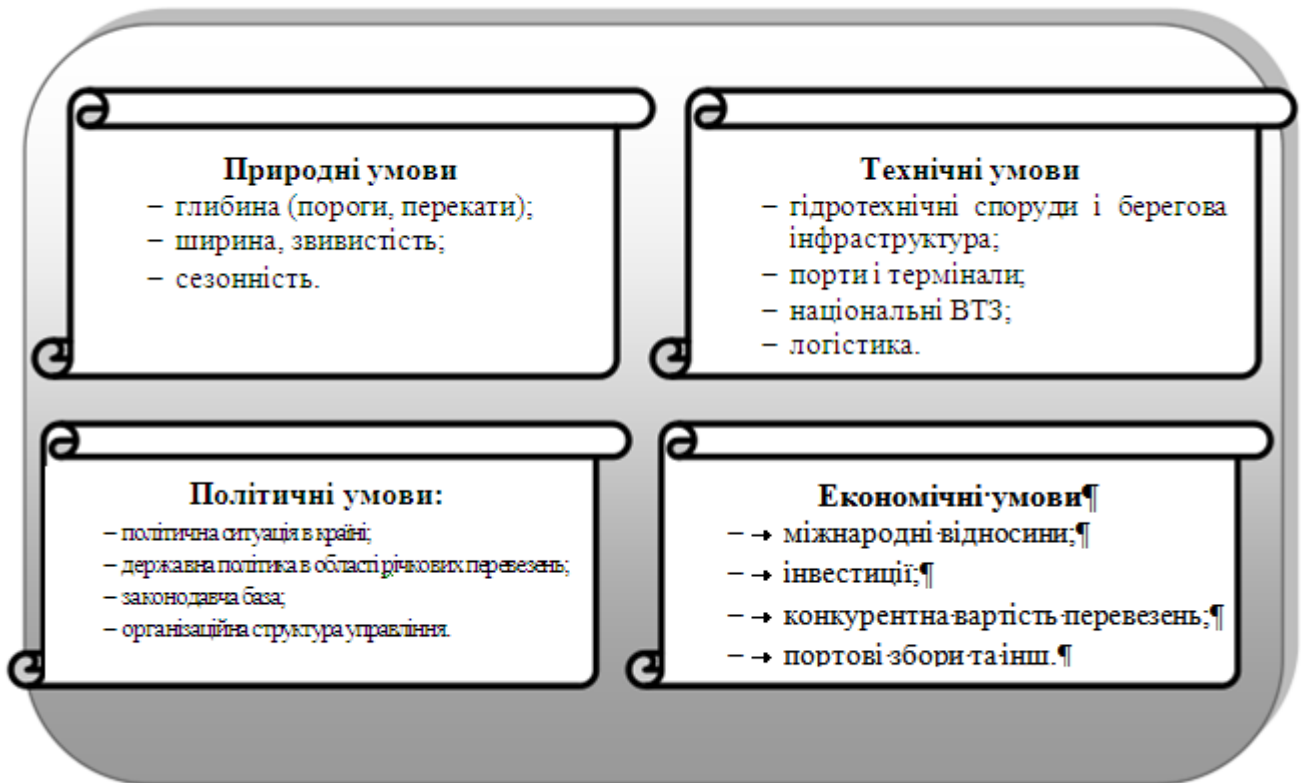


Рис. 1.1. Загальна структура проблем розвитку річкового судноплавства на річці Дніпро

Відомо, що основною метою усунення вказаних проблем є гарантування безпеки судноводіння в стислих водах ВВШ. Це, перш за все:

- підвищення точності контролю навігаційного місцезнаходження суден;
- підвищення точності контролю фактичного запасу глибин під кілем судна;
- формалізація методів прогнозування подій та перехідних процесів руху суден;
- вдосконалення керованості суден та їх управління;
- попередження зіткнень суден;
- розрахунки інерційно-гальмівних характеристик суден за темпом змін обставин в екстремальних умовах.

Керування суднами на річках відрізняється від процесів керування на морі. У таблиці 1.1 наводяться особливості річкового та морського судноводіння, що зумовлює складність річкового судноводіння [54].

Таблиця 1.1

## Особливості річкового та морського судноводіння

№ з/п	Річкове судноводіння ( $\bar{G}_R$ )	Морське судноводіння ( $\bar{G}_S$ )
1	Наявність таких характерних об'єктів, як мости, дамби, інформаційні знаки, шлюзові камери та ворота, лінії електропередачі ( $\bar{G}_{R1}$ )	Подібні фактори відсутні ( $\bar{G}_{S1}$ )
2	Наявність лімітованих габаритів суднового ходу, перекатів, течій, курсів що змінюються, упродовж усього суднового ходу ( $\bar{G}_{R2}$ )	Наявні часткові обмеження ( $\bar{G}_{S2}$ )
3	Відсутність контрольно-коригуючих станцій, що не дозволяє визначати місцеположення судна на судновому ході з точністю меншою, ніж 10 м ( $\bar{G}_{R3}$ )	Забезпечені ККС (режим DGPS), що забезпечує $M = 1 \div 5$ м ( $\bar{G}_{S3}$ )
4	Сигнали GPS, РЛС в окремих районах екрануються будівлями, мостами, іншими спорудами, у деяких районах сигнал викривлюється рельєфом місцевості ( $\bar{G}_{R4}$ )	На морських судноплавних шляхах екрануючі об'єкти відсутні ( $\bar{G}_{S4}$ )
5	Зображення на екрані РЛС залежить від коливань рівня води, інформація про які надаються рівневими постами. Це має місце упродовж усього суднового ходу ( $\bar{G}_{R5}$ )	Вплив коливання рівня води відсутній або незначний ( $\bar{G}_{S5}$ )
6	Складність виконання коректури річкових навігаційних карт за інформацією від РІС ( $\bar{G}_{R6}$ )	Процедура коректури карт за ПМ менш складна ( $\bar{G}_{S6}$ )
7	Застосовуються системи електронних карт Inland ECDIS. Експлуатація цих систем потребує підвищеного рівня підготовки ( $\bar{G}_{R7}$ )	У морі системи електронних карт Inland ECDIS відсутні ( $\bar{G}_{S7}$ )
8	Характерні суттєві коливання рівня води ( $\bar{G}_{R8}$ )	Подібний фактор відсутній або його вплив незначний ( $\bar{G}_{S8}$ )
9	Наявність РІС, взаємодія з якою потребує відповідної спеціальної підготовки ( $\bar{G}_{R9}$ )	Подібний фактор відсутній ( $\bar{G}_{S9}$ )
10	Складність розходження суден як візуально, так і за допомогою РЛС, в тому числі і в умовах обмеженої видимості. На судах річка-море РЛС за своїми характеристиками поступаються річковим радарам, тому великий ризик передоручення до ЗАРП ( $\bar{G}_{R10}$ )	Для РЛС подібні фактори відсутні ( $\bar{G}_{S10}$ )
11	Постійний перетин курсу маломірними і прогулянковими суднами ( $\bar{G}_{R11}$ )	Подібний фактор відсутній ( $\bar{G}_{S11}$ )

З огляду на це при судноводінні ( $\bar{G}$ )

$$\bar{G} = \bar{G}_R \Delta \bar{G}_S = \bar{G}_R \vee \bar{G}_S, \quad \bar{G}_{R_i} \notin \bar{G}_{S_i}. \quad (1.1)$$

Таким чином, є гостра потреба в нових заходах, що передбачають вдосконалення методів судноводіння в стислих водах. Своєчасне, точне та повне врахування всіх реальних небезпечних об'єктів та факторів ризику призводить до підвищення безпеки судноводіння. За таким варіантом розвитку подій буде забезпечуватися зниження економічних втрат, що є результатом запобігання навігаційним аваріям [26].

Підсумовуючи вищезазначене слід зазначити, що ВВШ України представляють собою складні в навігаційному відношенні райони з інтенсивним рухом суден. Це формує підвищені вимоги щодо точності і надійності річкового судноводіння. Перейдемо до характеристики сучасної системи навігації, яку використовують судноводії при русі суден на річці Дніпро. Так:

1) Річка Дніпро відноситься до штучних зрегульованих водних шляхів, де рівень води для забезпечення судноплавства піднято греблями, а прохід суден здійснюється через шлюзи. Рівень води в річці не завжди однаковий. Під час підйому води горизонт її в середині русла дещо підвищується, а під час спаду знижується в середині і підвищується біля берегів. Це пояснюється тим, що дно русла біля берегів створює опір руху води. Крім того, наявна невизначеність об'єктів навігаційної небезпеки в районі суднового ходу пов'язана насамперед з рухомими границями, змінами рівня води в умовах критичних природних явищ. Дані про глибини, що нанесені на створені річкові карти, швидко застарівають. При використанні річкових карт із застарілим масивом глибин судноводії буде введений в оману і виникнуть передумови для перевірки відомостей, отриманих від РІС. Як показав аналіз визначення поправок до глибин, позначених на карті, за даними РІС пов'язаний з певною складністю і трудомісткістю, що значно знижує ймовірність безпечного плавання на ВВШ України. Тому при застосуванні ІМН на відображуваних в Inland ECDIS електронних картах бажано значення глибин показувати від реального рівня [17].

2) У даний час основним методом навігації є візуальний (лоцманський) метод. Основа цього методу – особистий досвід судноводіїв і хороше знання спеціальної лоції району плавання, що містить гідрометеорологічні відомості,

опис безпечних шляхів суднових ходів, підводних і надводних перешкод, навігаційних захисних засобів, рейдів та інше. При плаванні на водосховищах, коли точне визначення місця і вибір курсу візуально суттєво ускладнюються, а іноді стають і зовсім неможливими, судноводій повинен користуватися приладами, інструментами, картами. Таким чином використання тільки візуального орієнтування при русі судна в окремих випадках може призвести до аварійних ситуацій. Наприклад, аварія з т/х «Медногорск», що сталася 20.05.2010 року через підводну перешкоду «Келебердянська забора», де візуальне орієнтування не дало змоги визначити знаходження не на штатному місці буя № 52, що огорожує фарватер.

3) Річковий фарватер в природному стані проходить по лінії найбільших глибин, в основному вигнутий та займає по ширині тільки частину русла. Швидкість і напрямок течії, глибина, ширина, звивистість, горизонти вод – все це становить специфіку річкового шляху. Відповідно до цього, неточне знання місцезнаходження судна на фарватері не дозволяє визначити подальшу динаміку руху судна [82].

4) Плавуча судноплавна обстановка виставляється в залежності від необхідності і складності суднового ходу на тій чи іншій ділянці і служить тільки для орієнтування судноводія, а не для точного визначення місця. Місцезнаходження знаків плавучої обстановки постійно змінюється. Берегова обстановка, як правило, знаходиться в неробочому стані з цілого ряду об'єктивних і суб'єктивних причин, що й формує підвищені вимоги до річкового судноводіння. До того ж, для виставлення і обслуговування берегової і плавучої обстановки витрачаються значні фінансові кошти спеціалізованих підприємств з державного бюджету України.

5) Крім плавучої обстановки основою для орієнтування при виборі курсу є також береги річки і їх контури. Визначення фарватеру у виборі курсу здійснюється візуально: на око визначається відстань між судном і штучним або природним орієнтирами, відстань від берега до судна прямо по курсу або за кормою судна. У зв'язку з відсутністю ГК на річкових суднах засоби візуального

визначення пеленгів для подальшого нанесення їх на річкову карту також відсутні. Внаслідок цього при візуальному орієнтуванні помилки у визначенні природних об'єктів і неможливість нанесення пеленгів на карту може призвести до небажаних наслідків.

б) Виконання стандартів ІМО, ЄЕК ООН до руху у таких районах з точністю визначення місця судна ( $M \leq 10$  м) і ймовірністю безпечного плавання ( $P_{\text{бн}} = 1 - \exp(-D_{\text{min}}/M)^2 \geq 95\%$ ) є практично неможливим. DGPS, що забезпечує точність  $M = 1 \div 5$  м, на річці відсутня. Крім того, на роботу GPS можуть впливати ряд факторів. В одних місцях сигнали при експлуатації супутникової системи можуть екрануватися будівлями, мостами та іншими спорудами. В інших районах ці сигнали викривлюються рельєфом місцевості, що вносить додаткові погрішності в обсервації. При визначеннях позиції у системі координат WGS84 можуть бути істотними навіть невеликі помилки геодезичної зйомки. У зв'язку з цим, з метою підвищення надійності і безпечного використання ВТЗ обсервації бажано виконувати за допомогою двох незалежних позиційних засобів, які на річкових судах в більшості випадків відсутні [55].

7) Слід відзначити важливу роль РЛС у використанні ВТЗ за призначенням. Проте, як показав аналіз [4]:

- по-перше: РЛС встановлюються не на всіх річкових судах;
- по-друге: РЛС, що встановлюються на судах «річка – море», поступаються за своїми характеристиками Inland radar (мінімальна дальність, точність визначення дистанції, роздільна здатність по дистанції, ймовірність визначення цілі). Зображення на екрані РЛС залежить від коливань рівня води, інформація про які надається рівневими постами. Така ситуація має місце упродовж усього суднового ходу. Також має місце складність при визначенні місця і розходженні суден в умовах обмеженої видимості, як при застосуванні візуального методу, так і за допомогою РЛС. На ВВШ автоматичне визначення місця судна за даними РЛС без використання Inland ECDIS з достовірними, офіційними ENC неможливе.

8) Крім РЛС в умовах ВВШ особливого значення набуває бортова апаратура AIS, яка дозволяє отримувати відомості про судна, включаючи цілі, що

знаходяться за вигинами річки і спостерігаються по РЛС. Однак, нанесення цілей на паперову річкову карту або використання маневреного планшета є дуже трудомістким процесом і на практиці не використовується. Тим самим не виключаються аварійні ситуації при розходженні суден. Важливими джерелами інформації про обставини плавання, безумовно, повинні стати електронна карта, РЛС, транспондер AIS.

9) У вересні 2001 року на конференції по внутрішньому судноплавству в Роттердамі представники країн Дунайського і Рейнського регіонів уклали багатосторонню угоду щодо впровадження до 2005 року інформаційної системи на внутрішніх водних шляхах Європи. На Україні ця система базується на стандартах ЄЕК ООН і річкових комісій – Центральної комісії судноплавства по Рейну і Дунайської комісії.

Потреба у річкових інформаційних службах (РІС) зумовлена особливостями розвитку ВВШ в умовах форсованого створення відповідного транспортного сполучення. Темпи транспортування вантажів між європейськими державами зростають і перевезення по внутрішніх водних шляхах, безпечні для навколишнього середовища, становлять реальну альтернативу перенавантаженій мережі доріг Центральної і Південної Європи.

На сьогоднішній день багато європейських країн уже мають свої інформаційно-диспетчерські системи на внутрішніх водних шляхах – RINAC, EMBARC, VTM, VTMIS, STIS, DORIS, GV. Вони здійснюють моніторинг суден на річці, надають весь комплекс інформаційних послуг, використовуючи електронно-картографічні системи суден, супутникові навігаційні системи, AIS, радіолокаційну інформацію, системи передавання даних, УКХ-радіозв'язок, телефонний зв'язок. На рис. 1.2, 1.3 і додатку В представлена інформація про РІС України.

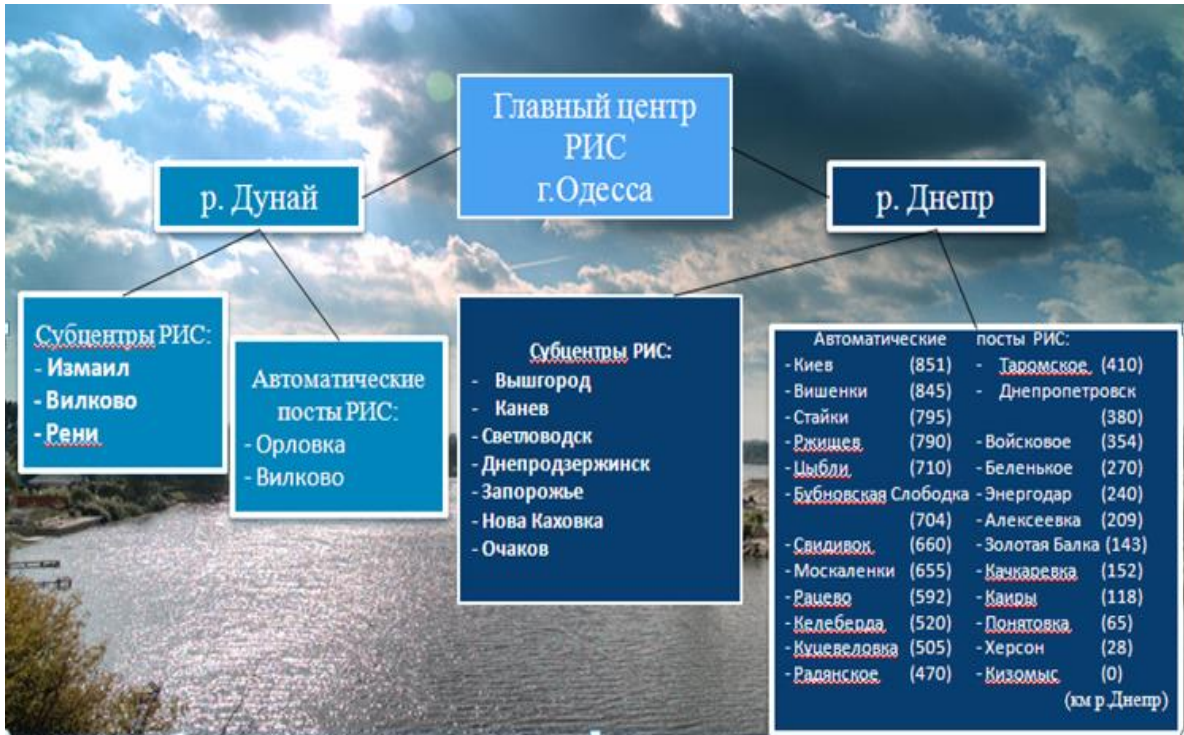


Рис. 1.2. Схема мережі РИС України

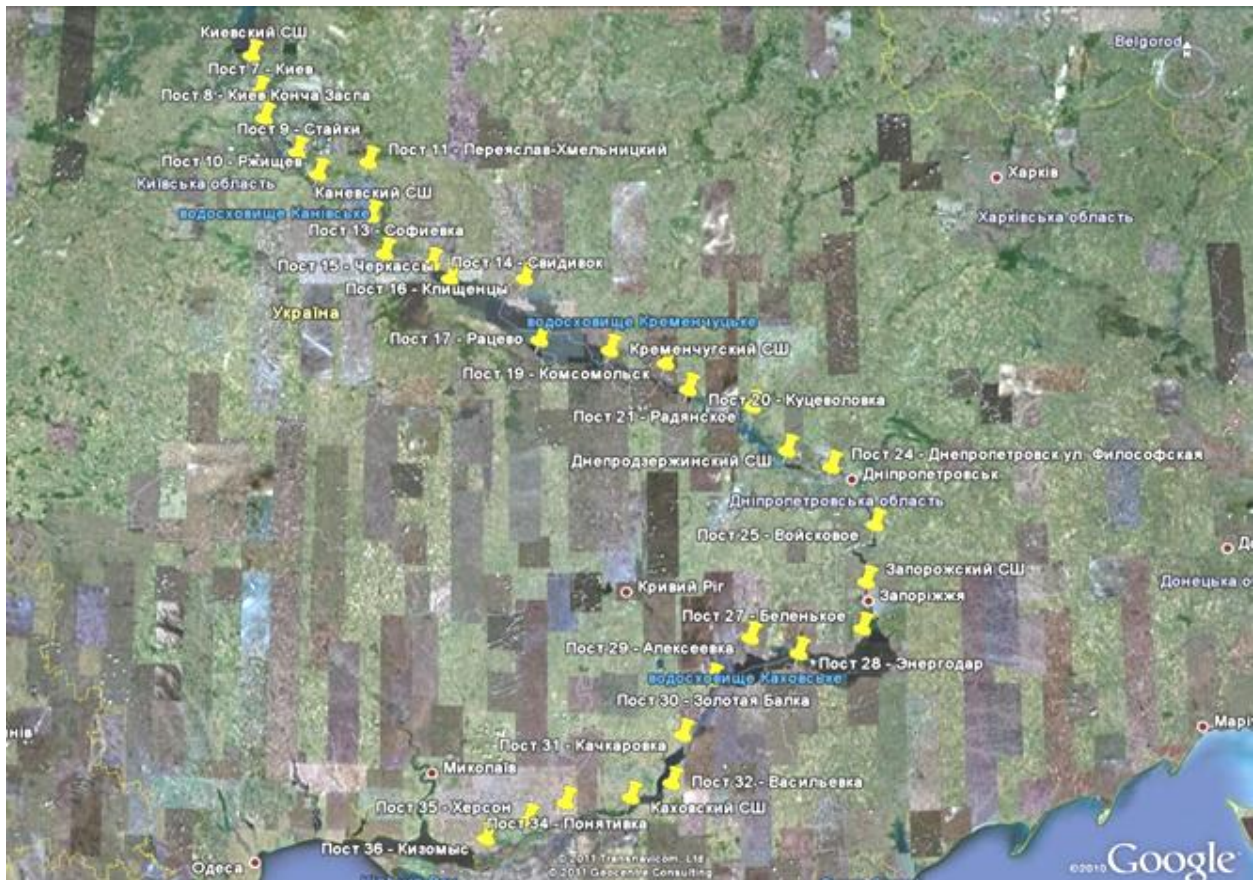


Рис. 1.3. Річкова інформаційна служба р. Дніпро

У Резолюції ЄЕК ООН № 57 «Керівні принципи та рекомендації для річкових інформаційних служб РІС» надаються стандарти, вимоги, керівництва та критерії до системи РІС. Головне завдання РІС – забезпечувати безпеку судноплавства, ефективність перевезень внутрішніми водними шляхами та охорону навколишнього середовища, покращувати взаємодію з іншими видами транспорту (морським, автомобільним та залізничним) [77].

Що стосується національного законодавства, то наказом Міністерства інфраструктури України від 25.02.2011 № 7 «Про комплекс заходів щодо створення річкової інформаційної служби на внутрішніх водних шляхах України» затверджено «Положення про річкову інформаційну службу на внутрішніх водних шляхах України» (Додаток В). Це Положення встановлює організаційно-правовий статус, функції та права річкової інформаційної служби, дає поняття про структуру РІС. Але разом з тим слід відзначити окремі недоліки, виявлені під час функціонування РІС України:

а) *невизначеність єдиної висотної основи*. Така невизначеність вводить в оману судноводіїв через помилки у визначенні поправок до фактичних глибин, що, безумовно, знижує ймовірність безпечного плавання. Виявлені різні системи відліку призводять до значних помилок. Наприклад, у разі помилки у визначенні рівня води в 20 см, ремонтне черпання 1 км каналу шириною 100 метрів може виявитися дорожчим на 3 млн. гривень. З огляду на критичність осадки суден по відношенню до глибини суднового ходу, абсолютна система відліку висот повинна бути *єдиною*, або в показання глибин, нанесених на карти, повинна вводитися обов'язкова поправка за різницею вертикальних систем відліку;

б) *невідповідність систем відліку рівнів води* за даними річкових навігаційних карт на паперовій основі, ENC, РІС і водомірних постів (ВП);

в) *неоднозначність використання даних РІС на судні*. На підставі структурної декомпозиції системи РІС та її оцінки за результативністю та оперативністю виявлені наступні невизначеності. При активізації вікон по водомірних постах в РІС зафіксовано, що:

- інформація про абсолютну систему відліку проектного рівня води не завжди співпадає з системою відліку рівнів води за даними карти. Обчислення абсолютної системи відліку за даними таблиці рівнів води спричинює невизначеності для судноводія;
- інформація про рівні води дається не цілодобово. Наприклад, в РІС Австрії інформація про рівні води дається цілодобово і погодинно;
- не сформовані критерії судноплавства. Так, не дається інформація про верхній і нижній судноплавні рівні, про використання Inland ECDIS і Inland ENC на ділянках судноплавства;
- складність коректури Inland ENC за даними РІС.

Таким чином, застосування інформаційно-комунікаційних технологій при ІМН на ВВШ України на базі річкових електронно-картографічних систем безумовно забезпечить підвищення рівня безпеки судноплавства.

## **1.2. Інтелектуальна інтегрована система навігації Inland ECDIS як центр судової інформаційної мережі для забезпечення безпеки судноплавства**

Inland ECDIS разом з судноводієм утворює ергатичну систему, що управляє рухом судна. Електронно-картографічна система допомагає вахтовому помічнику оперувати з інформацією, необхідною для ефективної проводки судна на ВВШ, і надає йому результати обробки у вигляді, що полегшує судноводіння при ІМН. Це стає особливо актуальним у зв'язку із введенням в дію наказу Міністерства інфраструктури України від 25.02.2011 № 7 щодо оснащення всіх категорій річкових суден обладнанням Inland ECDIS починаючи з 2017 р. Таким чином Inland ECDIS ставатиме повноцінною системою підтримки прийняття рішень з управління судна [50]. При ІМН така система забезпечує високий рівень оцінювання ситуацій і дає обґрунтовані рекомендації для вирішення проблем для

автоматичної активації тих чи інших процедур забезпечення безпеки руху в критичних ситуаціях.

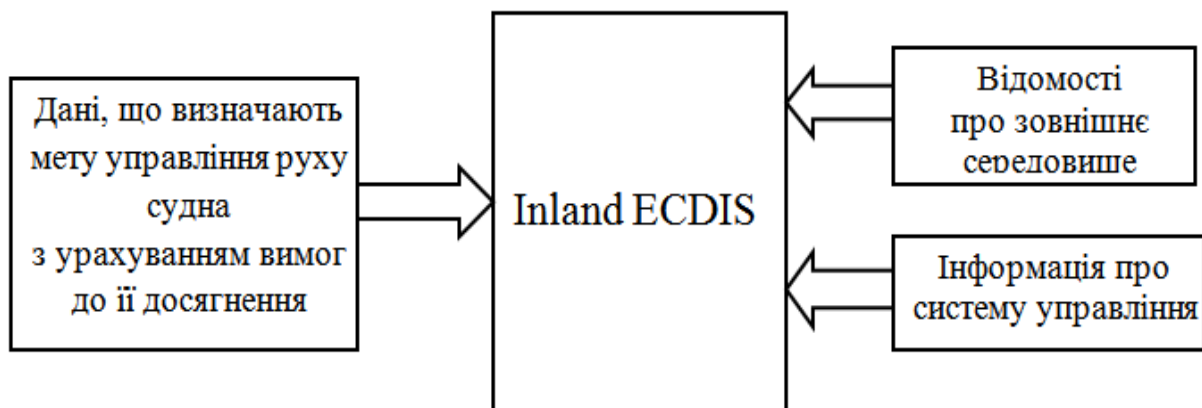


Рис. 1.4. Отримання інформації для управління судном з використанням Inland ECDIS

На додаток до рис. 1.4, навігаційно-інформаційна система може повноцінно розглядатися в системі ефективної підтримки прийняття рішень судноводієм, коли виконуються вимоги, показані на рис. 1.5.

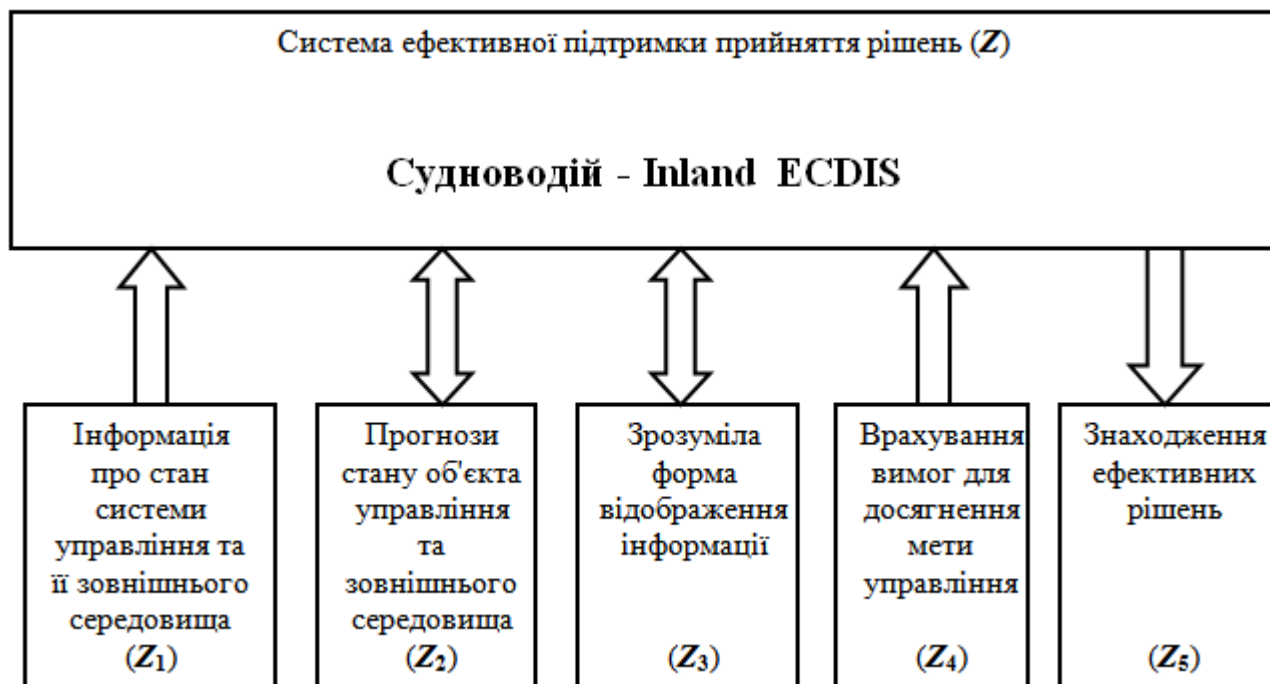


Рис. 1.5. Вимоги до системи ефективної підтримки прийняття рішень

Для функціонування системи ефективної підтримки прийняття рішень повинна виконуватися умова:

$$\bar{Z} = \{\bar{Z}_1, \bar{Z}_2\} \cap \{\bar{Z}_3, \bar{Z}_4\} \Leftrightarrow \{\bar{Z}_5\} \quad (1.2)$$

Із зазначених завдань найбільшу складність представляє вимога  $Z_5$ . До теперішнього часу електронно-картографічна система мало використовувалася для вироблення рішень з управління судном через нестачу інформації для формування ефективних рішень, відсутність для ряду ситуацій методів знаходження цих рішень. Для функціонування підсистеми  $Z_5$  при ІМН повинні бути створені умови для отримання системою  $Z$  практично всієї необхідної інформації, а також визначені способи для формування рекомендацій щодо вирішення проблем судноводіння.

У судноводінні по ВВШ труднощі створення підсистеми  $Z_5$  при ІМН визначаються тим, що через різноманіття ситуацій, що впливають на процес управління судном, для вирішення ряду завдань єдиними поки є евристичні і наближені методи, засновані на неформалізованих знаннях, накопичених в результаті досвіду вирішення подібних проблем. Звідси випливає, що підсистема  $Z_5$  повинна включати до складу експертну систему (ES). У даному випадку під ES розуміється пакет програм, який оперує з алгоритмічними відомостями і неформалізованими знаннями в певній предметній області і здатний пропонувати користувачеві вирішення проблем на основі математичного моделювання фізичних процесів і механізму мислення. На нашу думку, до ES повинні входити програми не тільки для вироблення рішень, але і програми для їх пояснень.

Однією з основних характеристик системи  $Z$  є її продуктивність, тобто швидкість отримання рішення, яке було б не гірше і швидше, ніж те, яке може запропонувати фахівець в цій предметній області, і його достовірність (надійність).

На рис. 1.6 показані можливі джерела рекомендацій з судноводіння.

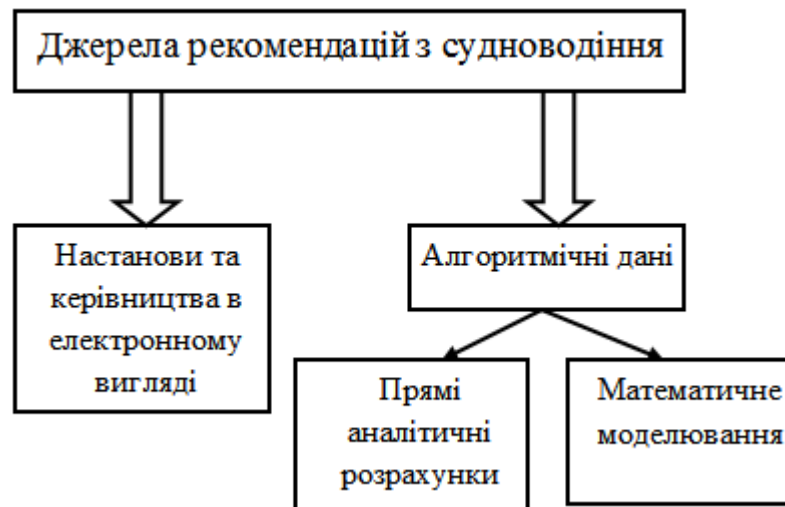


Рис 1.6. Джерела рекомендацій з судноводіння для ES

Все сказане дає змогу сформулювати загальні вимоги до ES. Експертна система [56, 125]:

- є частиною системи  $Z$ ;
- є програмою, яка оперує з неформалізованими відомостями (знаннями) в області судноводіння по ВВШ;
- пропонує і пояснює користувачеві розумні рішення шляхом моделювання механізму мислення судноводія;
- складається з бази знань, механізму логічного висновку і підсистеми пояснень;
- використовує евристичні і наближені методи;
- формує певні розуміння і висновки;
- для отримання рекомендацій, висновків, рішень використовується механізм логічного висновку;
- рекомендації можуть видаватися системою за запитом судноводія;
- відрізняється від інших прикладних програм наявністю таких ознак:
  - 1) моделює не тільки фізичну природу і взаємозв'язки в певній проблемній області, а й в основному механізмі мислення людини;

- 2) відрізняється від систем математичного моделювання;
- 3) не повністю відтворює інтелектуальну роботу фахівця.

Як приклади завдань, що стосуються ІМН, для вирішення яких необхідна ЕС, можна назвати:

- розходження суден в складних ситуаціях і при безпосередній загрозі зіткнення;
- розбіжності у нанесенні картографічної інформації на паперових картах і Inland ENC;
- розбіжності в інформації про засоби навігації (види буїв, знаки, покажчики) і текстів у спеціальному вікні на дисплеї Inland ECDIS;
- розбіжності в інформації щодо місця розташування суден по карті і фактично;
- розбіжності у показі дійсного рівня за даними РІС і ехолота;
- розбіжності у накладенні на Inland ENC радіолокаційного зображення;
- відсутність в Inland ECDIS обов'язкової автоматичної коректури;
- діагностика роботи суднових технічних засобів навігації та управління ними при порушеннях номінального режиму функціонування;
- діагностика несправностей технічних засобів навігації та помилок в роботі програмного забезпечення;
- вилучення інформації з зашумлених первинних даних РЛС;
- розпізнавання критичних ситуацій, визначення процедур для забезпечення безпеки і їх активація.

Як приклад можна назвати існуючі експертні системи діагностики роботи головних двигунів сучасних суден і інтелектуальні системи нових радарів для виділення корисної інформації з первинних радіолокаційних даних в умовах інтенсивних перешкод.

Слід підкреслити, що експертна система це лише помічник судноводія. Необхідно чітко уявляти її обмеження. Ця система здатна давати правильні відповіді в ситуаціях, які в ній передбачені. Але експертна система не вміє думати.

Вищевикладені вимоги до ES лягли в основу розробки нейро-нечіткої експертної системи у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS у розділу 3 дисертації [56, 125].

Перейдемо до розгляду засобу Inland ECDIS системи Z.

Метою створення Inland ECDIS стала необхідність створення умов для безпечного використання річкового водного транспорту, збереження чистоти навколишнього середовища та забезпечення ефективності перевезення вантажів на внутрішніх водних шляхах. Inland ECDIS не потрібно мати повних функціональних можливостей однойменних морських систем, але вони повинні бути сумісними. Необхідно, щоб ECDIS відповідали особливостям навігації на річках. Експлуатаційні і технічні вимоги до Inland ECDIS визначені стандартами та резолюціями ЄЕК ООН, Дунайської комісії, Центральної комісії судноплавства по Рейну.

У додатку Г наводиться актуалізований перелік основних міжнародних документів, що регламентують установку та експлуатацію НІС на судах. Знання цих стандартів дозволяє об'єктивно оцінювати переваги і недоліки існуючих зразків НІС, включаючи Inland ECDIS.

Inland ECDIS, на відміну від морських ECDIS, набагато менше вивчені. Цій системі приділяється менше уваги, проте Inland ECDIS також є дуже важливою системою. Так, на відміну від морських систем, для Inland ECDIS відсутні вимоги і умови щодо альтернативної заміни паперових річкових навігаційних карт. Це питання до теперішнього часу залишається відкритим і потребує додаткового вивчення [50].

Для визначення напряму дисертаційного дослідження в додатку Д приведено порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS.

Необхідно відзначити, що ідея створення стандарту Inland ECDIS полягала в тому, щоб пристосувати ECDIS для цілей внутрішнього судноплавства та доповнити ECDIS деякими характерними для внутрішнього судноплавства параметрами без зміни самого стандарту ECDIS. Таким чином забезпечена сумісність первісної морської системи ECDIS з Inland ECDIS. Це має важливе

значення при плаванні по гирлових ділянках річок, які використовуються як морськими суднами, так і суднами внутрішнього плавання. Необхідність таких доробок визначається відмінностями навігації на внутрішніх водних шляхах від морського судноводіння (таблиця 1.1).

Як і морська система, Inland ECDIS включає в себе апаратне, інформаційне, програмне забезпечення, засоби спілкування з оператором і периферійні пристрої. Ця система відображає картографічну інформацію, дані навігаційних приладів і результати моніторингу процесу судноводіння. В Inland ECDIS застосовують Inland ENC і неофіційні растрові та векторні карти. У випадку застосування неофіційних карт Inland ECDIS переходить у розряд ECS [50]. У додатку Е приведено порівняльний аналіз ефективності експлуатації ECDIS з векторним та растровим відображенням топології простору руху судна.

Щоб забезпечити відповідність спеціальним умовам плавання по внутрішніх водних шляхах, в Inland ECDIS, порівняно з морськими ECDIS, введено нові функції [54]:

- подання інформації про засоби навігації (види буїв, знаки, покажчики) і текстів у спеціальному вікні на дисплеї Inland ECDIS;
- показ ізобат для дійсного рівня води і відображення індивідуальної судноплавної полоси для судна залежно від обраної його осадки та дійсного рівня води;
- змінювана в часі інформація про глибину на Inland SENC повинна відображатися незалежно від категорій відображення;
- накладення на Inland SENC радіолокаційного зображення з автоматичним суміщенням його з картою. У навігаційному режимі радіолокаційне зображення повинно відображатися на дисплеї в першочерговому порядку, причому тільки в режимі відносного руху з орієнтацією по курсу;
- інтегроване відображення має відповідати вимогам, що пред'являються до радіолокатора на внутрішніх водних шляхах та в цьому стандарті;
- у навігаційному режимі Inland SENC повинна автоматично відключатися, якщо визначене місце розташування не відповідає радіолокаційному зображенню;

- замість наявних у морських ECDIS режимів «Виконавча прокладка», «Планування шляху» для Inland ECDIS встановлені режими «Інформаційний» та «Навігаційний»;
- навігаційний режим означає використання Inland ECDIS з метою управління судном з накладенням радіолокаційного зображення;
- використання в Inland ECDIS обов'язкової автоматичної коректури;
- у навігаційному режимі допускається лише послідовне перемикання шкал дальності (масштабів);
- основний вид орієнтування зображення – орієнтування по курсу;
- основний режим – режим відносного руху;
- відсутні вимоги і умови щодо альтернативної заміни паперових річкових навігаційних карт.

В останні роки установка електронно-картографічних систем на річкові судна носила необов'язковий характер. На теперішній час процес впровадження сертифікованих електронно-картографічних систем набув системного характеру.

### **1.3. Особливості експлуатації водного транспорту та функціональної стійкості навігаційного обслуговування в сучасних умовах застосування інструментального методу навігації**

Перш ніж перейти до стійкості функціонування системи ІМН на ВВШ України звернімося до його визначення.

ІМН (річкова *e*-навігація) – це гармонізовані заходи зі збору, інтеграції, обміну, подання та аналізу інформації на судах і в берегових службах за допомогою інформаційних технологій для підвищення рівня безпеки судноплавства та охорони навколишнього середовища на ВВШ України. ІМН – це система комплексного використання інформації, що забезпечує і обслуговує електронно-картографічні засоби судноводіння [31].

Таким чином, відбувається комбінування інформації з численних джерел із знаходженням більш точних і достовірних даних про ситуацію, ніж результати, які отримані від цих джерел окремо. На рис. 1.7 відображені ключові компоненти системи ІМН на ВВШ України [128].

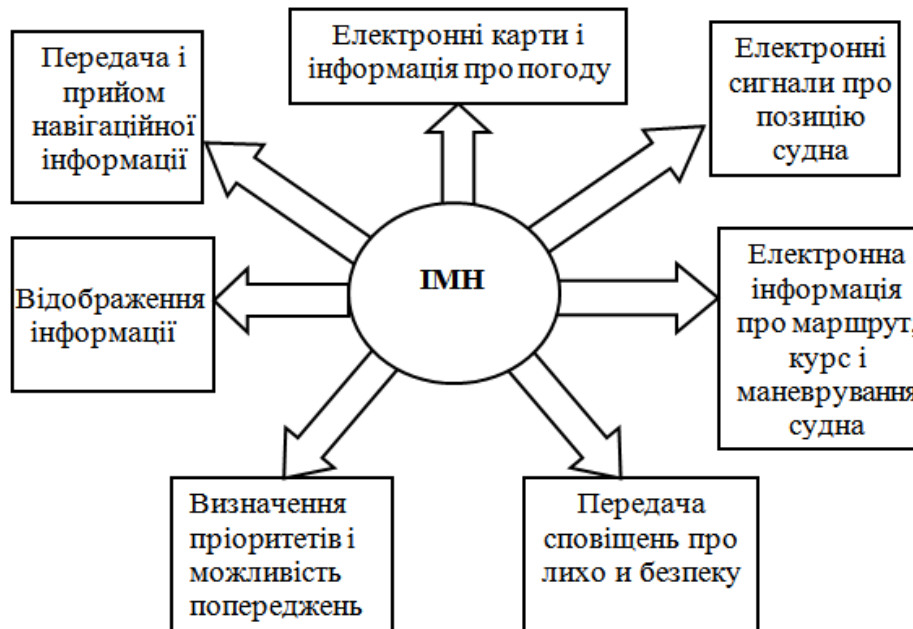


Рис. 1.7. Ключові компоненти системи ІМН на ВВШ України

До засобів компонентів системи відносяться AIS, Radar/ARPA, ECDIS/Inland ECDIS, GNSS, PIC та інші.

Функціонування суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури ВВШ України при ІМН можна віднести до розподіленої ієрархічної інтелектуалізованої системи управління складним технічним об'єктом. При ІМН реальний процес функціонування системи суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури повинен відповідати розрахунковому. Стійкість функціонування такого методу заснована на аналізі цілого ряду факторів, які в даний час не враховуються у зв'язку з використанням приблизних моделей. Слід зазначити, що проблема визначення функціональної стійкості такої складної організаційної системи, як система ІМН на ВВШ України, на сьогоднішній день залишається відкритою. Теорія

функціональної стійкості системи ІМН передбачає нові підходи щодо вирішення наукової проблеми та включає сукупність логічно пов'язаних між собою основ [7,11,14]:

- *концептуальних*;
- *теоретичних*, де керівна ідея забезпечення функціональної стійкості системи ІМН повинна досліджуватися за допомогою науково обґрунтованих підходів, методів, методик, алгоритмів і математичних моделей;
- *технологічних*, де відображується практична сторона використання основної ідеї ІМН на всьому життєвому циклі системи.

Теорія функціональної стійкості системи ІМН передбачає такі основні напрями досліджень: математична формалізація критеріальних визначень, розробка методів підвищення функціональної стійкості; визначення найефективніших засобів підвищення їх функціональної стійкості. Слід також відзначити, що в Інституті водного транспорту ДУІТ проводиться дисертаційне дослідження щодо вирішення нової проблеми ефективного використання деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS, яка також включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ ІМН. Перейдемо до обґрунтування запропонованого методу вибору критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи, що відображає ефект від застосування ІМН на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS на ВВШ України.

Система ІМН на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS повинна оптимізуватися за комплексом критеріїв, що характеризують виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання  $P_{\text{бп}}$  для конкретних умов руху ВТЗ.

$$P_{\text{бп}} = 1 - \exp(-D_{\text{min}}/M) \geq 95\%. \quad (1.3)$$

У [7,11,14] наведено основну відмінність стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості. Що стосується системи ІМН на ВВШ України, то стійкість функціонування такої системи характеризує зміну екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи.

$$\begin{aligned} \forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0, \quad V[(x_0, y_0), (x_0^1, y_0^1)] < \Delta_{x,y} \Rightarrow \\ \Rightarrow V\left\{ (x, y)[t, (x_0, y_0)], (x, y)[t, (x^1, y^1)]_0 \right\} < E, \quad \forall t \in (0, \infty), \end{aligned}$$

де  $x_0, y_0$  – екранні координати при розрахунковому стані системи;  $(x_0^1, y_0^1)$  – екранні координати при зміненому стані системи;  $V$  – векторний простір  $x_0, y_0$ ;  $E$  – раціональні числа, що показують відхилення зміненого стану системи від розрахункового.

Функціональна стійкість такої системи характеризує відхилення основних функцій від екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи [7,11,14]

$$\begin{aligned} \forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0, \quad V[f(x_0, y_0), f(x_0^1, y_0^1)] < \Delta_{x,y} \Rightarrow \\ \Rightarrow V\left\{ f(x, y)[t, (x_0, y_0)], f(x, y)[t, (x^1, y^1)]_0 \right\} < E, \quad \forall t \in (0, \infty), \end{aligned}$$

де  $f(x, y)$  – функція від координат руху при розрахунковому та зміненому стані системи.

Таким чином, функціональна стійкість системи ІМН зумовлюється її властивістю зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій в межах, встановлених нормативними вимогами в умовах протидії зовнішнім дестабілізуючим факторам.

На рис. 1.8 показані основні етапи функціональної стійкості системи ІМН на ВВШ України, що включає систему елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання [7,11,14].

У процесі функціонування етапів функціональної стійкості берегової інфраструктури, суднового навігаційного обладнання системи ІМН не виключається ситуація, коли окремі її елементи можуть бути неоптимальними, а система в цілому – оптимальною відповідно до встановлених вимог, у зв'язку з чим різномірність критеріїв найчастіше призводить до суперечності їх один одному. У цьому випадку задоволення всіх критеріїв є компромісним варіантом.

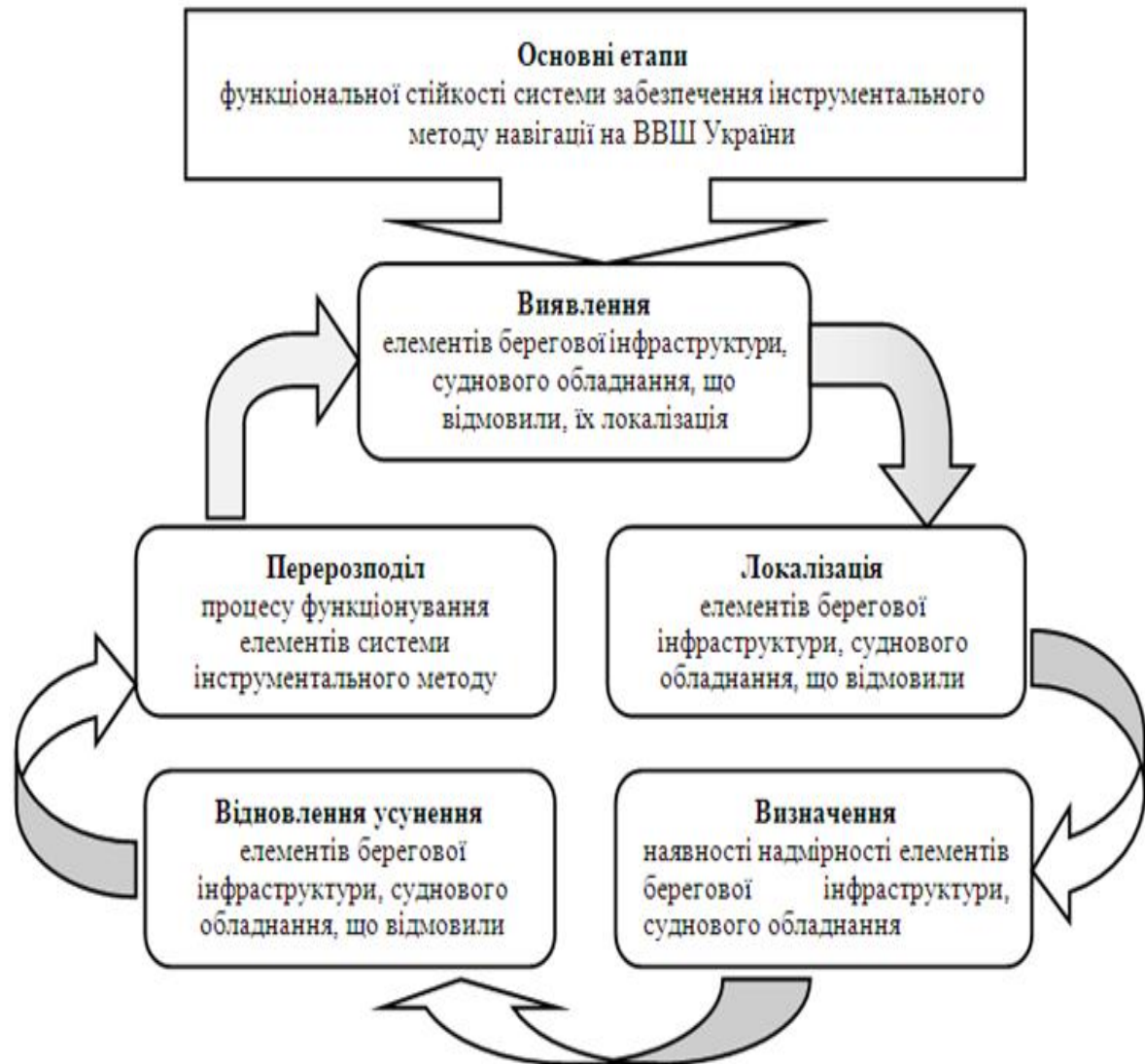


Рис. 1.8. Основні етапи функціональної стійкості системи ІМН

При ІМН, окрім встановлення факту стійкості, повинен бути визначений запас стійкості, а також області стійкості у векторному просторі параметрів системи. Система ІМН є адаптивною системою, тобто вона має можливість перебудовуватися відповідно до зовнішніх умов для оптимального досягнення загальної мети.

Поняття надійності та функціональної стійкості системи ІМН внаслідок того, що вони виражають і характеризують якісну визначеність системи, співпадають у певному відношенні, і в той же час вони виражають різні критерії функціонування внутрішнього механізму системи. Забезпечення функціональної стійкості в

даному випадку вимагає спеціального додаткового апаратного й програмного забезпечення, яке не враховується в безвідмовній системі.

Принциповим є те, що усунення наслідків позаштатних ситуацій здійснюється шляхом перерозподілу уже існуючих ресурсів; зміни алгоритму функціонування системи ІМН; зміни режиму роботи її підсистем.

Таким чином, на будь-яку позаштатну зміну стану системи ІМН на ВВШ України повинна бути вироблена реакція у вигляді набору керуючих впливів, спрямованих на нейтралізацію наслідків за мінімальний час з мінімальними втратами показників функціональної стійкості системи.

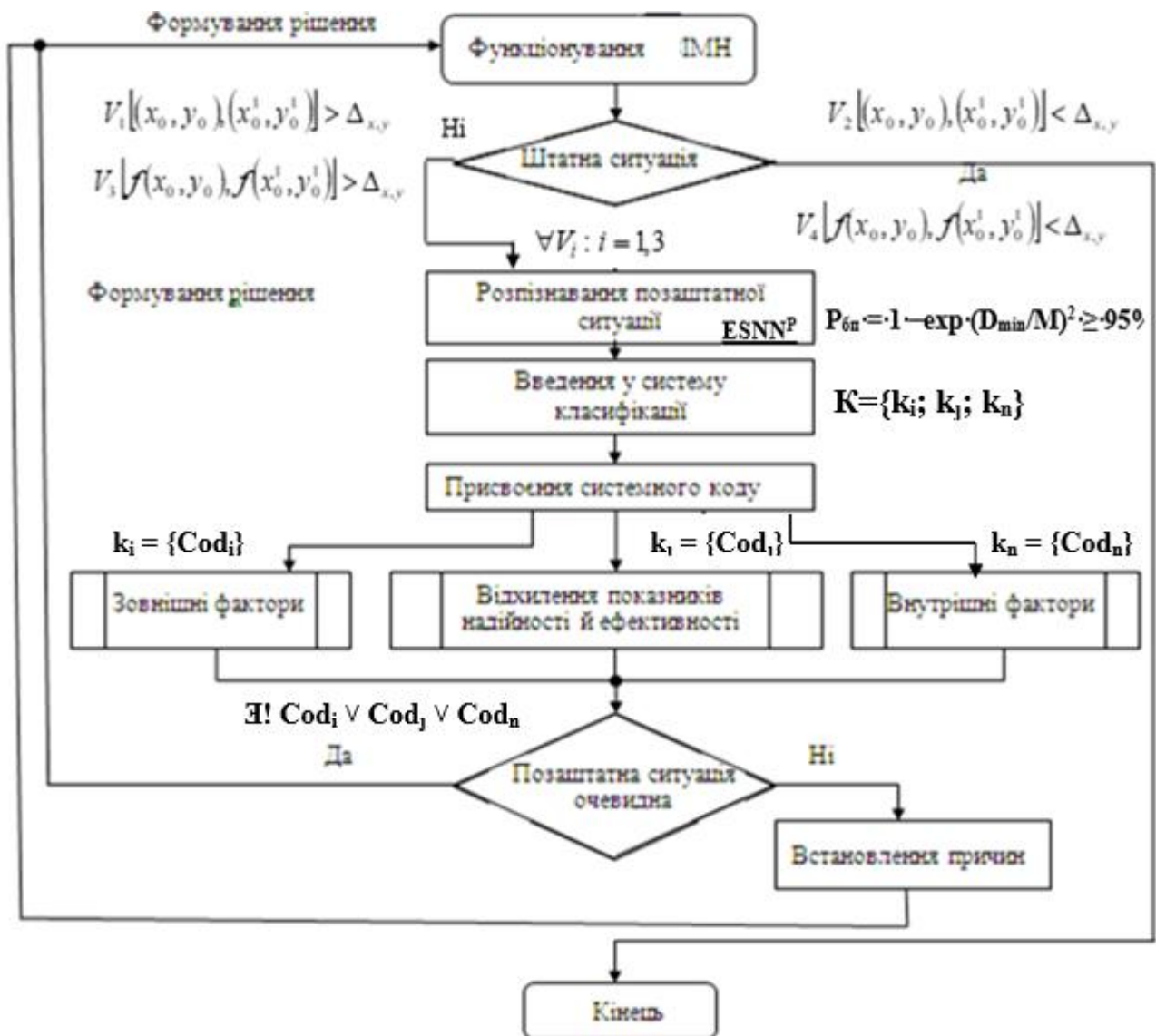


Рис. 1.9. Алгоритм реалізації функціональної стійкості системи ІМН

На рис. 1.9 показаний алгоритм реалізації функціональної стійкості системи ІМН на ВВШ України [4,11,14]. Система ІМН є багатопозиційною телекомунікаційною системою. Звідси витікають основні вимоги до критеріїв забезпечення функціональної стійкості системи.

Використаємо математичну модель у вигляді неорієнтованого графа у зв'язку з тим, що логічні зв'язки в ІМН є двосторонні. У графі відсутні петлі й кратні ребра. Множина вершин  $V$  відповідає множині складових елементів системи ІМН потужності  $n$ , а множині ребер  $\langle E, F \rangle$  відповідає множина функціональних зв'язків між складовими елементами системи ІМН [4,11,14].

$$G(V, \langle E, F \rangle), V = \{v_i\}, \langle E, F \rangle = \{ \langle e, f \rangle_{ij} \}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.4)$$

Тоді  $\langle v, e, f \rangle$  характеризує конкретний стан ІМН,

де  $v \subseteq V, |v| \leq |V|; \quad e \subseteq E, |e| \leq |E|; \quad f \subseteq F, |f| \leq |F|.$

$$\Delta v = v^+ \cap v^-. \quad \Delta e = e^+ \cap e^-. \quad \Delta f = f^+ \cap f^-,$$

де  $v^+, e^+, f^+$  – збільшені значення  $\{V, E, F\}$  складових елементів ІМН;

$v^-, e^-, f^-$  – зменшені значення  $\{V, E, F\}$  складових елементів ІМН.

$$|v^+| = |V|. \quad |e^+| = |E|. \quad |f^+| = |F|. \quad |v^-| < |V|. \quad |e^-| < |E|. \quad |f^-| < |F|.$$

В [7] проведений аналіз основних критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ і представляють принциповий інтерес для застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості системи ІМН на ВВШ України і можливостей їх реалізації за наступними значеннями:

– критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо габаритів суднового ходу  $V_I$

$$v_1^- < k_1 \cdot V_1 \quad \text{за умови} \quad \left\{ \begin{array}{l} k_1 = 0,67 \quad \text{для односторон руху,} \\ k_1 = 0,38 \quad \text{для двосторон руху,} \\ k_1 = 0,35 \quad \text{для двосторон руху} \\ \quad \quad \quad \text{з урахуванням ризику суден.} \end{array} \right.$$

– критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо радіусів заокруглення суднового ходу  $V_2$  на ВВШ в районі перекатів

$$v_2^- < k_2 \cdot V_2,$$

де  $V_2$  – радіус заокруглення суднового ходу,

$k_2$  – коефіцієнт запасу;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу  $V_3$

$$v_3^- < V_3 - \Delta_3,$$

де  $\Delta_3$  – осадка судна на стоянці;

$V_3$  – глибина суднового ходу/

$\Delta_3$  – запас по глибині, який залежить від значення  $V_3$  і типу ґрунту;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів шлюзів

$$v_4^- < V_4 \quad v_{4-1}^- < V_{4-1} - \Delta_{4-1};$$

$$v_{4-2}^- < \begin{cases} 0,8 \text{ м/сек} & \text{для вантажних составів,} \\ 1,0 \text{ м/сек} & \text{для одиночних самохідних суден,} \end{cases}$$

де  $V_4$  – фактична довжина шлюзової камери;

$V_{4-1}$  – фактична ширина шлюзової камери;

$\Delta_{4-1}$  – запас по ширині, що приймається в шлюзах України,  $\Delta_{4-1} = 0,8$  м;

$v_{4-2}^-$  – швидкість заходу суден до камери шлюзу;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів підходів до судноплавних шлюзів

$$v_5^- < 0,26 \cdot V_5, \quad v_{5-1}^- < 3 \cdot V_5, \quad \frac{V_5}{V_{5-2}} = 7,9,$$

де  $V_5, V_{5-2}$  – габарити підхідного каналу шлюзу;

$v_{5-1}^-$  – радіус циркуляції судна;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів мостів

$$v_6^- < V_6 - 2 \cdot \Delta_6, \quad v_{6-1}^- < V_{6-1} - \Delta_{6-1},$$

де  $V_6$  – гранична ширина суднового ходу при проході під мостами позначена на картах;

$\Delta_6$  – максимальне відхилення від осі суднового ходу при проході під мостами;

$V_{6-1}$  – висота моста над фактичним рівнем води;

$\Delta_{6-1}$  – мінімальний запас по висоті, який залежить від  $V_{6-1}$  і характеру ВВШ: наявність течії або зрегульовані ділянки;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо висоти проводів повітряних ліній електропередачі

$$v_7^- < V_7 - \Delta_7,$$

де  $V_7$  – найменша відстань проводів від фактичного рівня води;

$\Delta_7$  – мінімальний запас по висоті, який залежить від напруги в лінії електропередачі.

Для суден внутрішнього плавання, у тому числі з динамічними засобами підтримки та ватерлінією обмеженої площі, реальну небезпеку становлять знаки плавучого огороження, якірні бочки, колоди, коріння дерев та ін. Для таких суден основною проблемою руху є відсутність надійних засобів і методів виявлення зазначених небезпек в темний час доби і в умовах обмеженої видимості та, як наслідок, відсутність відображення на електронно-картографічній системі. В навігації основним є метод руху, який полягає в безперервному веденні зчислення і в регулярному визначенні місця судна.

Безпека руху ВТЗ залежить, насамперед, від частоти та точності визначення місця, внаслідок чого визначення місця судна відносять до основних завдань експлуатації. Процес вимірювання та обробки експлуатаційних параметрів супроводжується похибками, які впливають на координати місця судна. Тому, для обґрунтування маневру ВТЗ з метою забезпечення розбіжності з реальною небезпекою оцінку точності визначення місця ВТЗ повинна виконувати електронно-картографічна система замість ручної обробки зазначеної інформації.

Нормативи точності знання координат в обмежених районах руху (за наявності на судні сучасної супутникової навігаційної системи) складають: допустима величина похибки визначення місця  $e_1^- \leq 10 \text{ м}$  (з ймовірністю 0,95), інтервал дискретності поновлення координат  $f_1^- \leq 2c$ .

$$(1.3) \Rightarrow P_{\text{он}} < P_{\text{зад}} \Rightarrow e_1^- = f(P_{\text{зад}}, t_{\text{д}}) \Rightarrow f_1^- = t_{\text{д}} - 2 \cdot t_{\text{обс}} \Rightarrow \text{графік } f(M_{\text{д}}, M_{\text{м}}). \quad (1.5)$$

Розрахунки (1.5) потрібно автоматизувати в Inland ECDIS по аргументах  $D$  і  $M$ , використовуючи

$$P_{\text{он}} = 0,5[1 + \Phi(Z)], \quad (1.6)$$

де  $\Phi(Z)$  – функція Лапласа, що визначається по аргументу  $Z = D\sqrt{2}/M$ .

При лоцманському методі проведення суден на р. Дніпро кількісним критерієм безпеки руху є безпечна дистанція, яка характеризується мінімальною відстанню, яка вимірюється або визначається візуально між судном і небезпекою. Найбільш ймовірне зіткнення з небезпечними об'єктами, розташованими на гострих курсових кутах судна.

Визначення величини безпечних дистанцій  $v_8^+$  для розходження з виявленими нерухомими небезпеками, з використанням ребер в неорієнтованому графі (1.4), може виконуватися за формулами:

– при ухиленні від небезпеки активним чи пасивним гальмуванням судна

$$v_8^+ \geq V_8 - v \cdot \Delta_t - S_t - m_D - m_S,$$

де  $V_8$  – дистанція виявлення небезпеки;

- $v$  – швидкість судна до моменту початку маневру ухилення;
- $\Delta_t$  – мертвий проміжок часу при здійсненні маневру машинами;
- $S_t$  – гальмівний шлях судна до моменту його повної зупинки;
- $m_D$  – гранична (із заданою ймовірністю) похибка визначення дистанції до небезпеки;
- $m_S$  – гранична (із заданою ймовірністю) похибка визначення гальмівного шляху;
- при ухиленні від небезпеки поворотом судна

$$v_8^+ \geq V_8 - v_{8-1}^- - v \cdot \Delta_{t-1} - S_t - m_R - m_D,$$

- де  $\Delta_{t-1}$  – мертвий проміжок часу при здійсненні маневру повороту;
- $v_{8-1}^-$  – радіус фактичної циркуляції судна;
  - $m_R$  – гранична похибка (із заданою ймовірністю) визначення реального радіусу циркуляції судна.

Для даного прикладу ознаками функціональної стійкості системи є зв'язність графа  $\{K=1\}$  і наявність в його складі мостів  $N_L \geq 1$ , а також вузлів з'єднання  $N_V \geq 1$

$$\{K=1\} \wedge [\{N_V \geq 1\} \vee \{N_L \geq 1\}] \quad (1.7)$$

Слід зазначити, що вираз (1.7) суттєвим чином знижує функціональну стійкість розподіленої інформаційної системи, оскільки всі маршрути передачі інформації з вершин одного підграфа у вершини іншого будуть включати в себе цей міст або вузол сходження. Тому для приведення системи у функціонально стійкий стан необхідно вводити в структуру резервні лінії зв'язку для того, щоб в структурі мостів або вузлів не було зчленування. При цьому будуть з'являтися декілька незалежних та альтернативних маршрутів передачі інформації.

Крім того, нижче наведені кількісні критерії оцінки функціональної стійкості системи ІМН, що враховуватимуться для формалізації критеріїв, закладених в логіку функціонування ES (рис. 1.5, 1.6):

- критерії розходження суден у складних ситуаціях і при безпосередній загрозі зіткнення ( $d$ - критерій) [31].

При використанні РЛС небезпека зближення визначається оцінкою  $D_{кр}$ . Помилка такого визначення обчислюється за формулою:

$$\Delta D_{кр} = -\frac{D^2}{V} \sigma_q, \quad (1.8)$$

де  $D$  – відстань до судна;

$V$  – відносна швидкість зближення,

$\sigma_q$  – середньоквадратична помилка (СКП) у визначенні швидкості зміни пеленга. Для РЛС величина  $\sigma_q$  приймається рівною  $50 \times 10^{-6}$  рад/с;

– критерії розбіжності у нанесенні картографічної інформації на паперових картах і Inland ENC.

Точність інформації на SENC визначена похибкою нанесення на неї опорних точок ( $\sigma_k = 0,2$  мм);

– критерії розбіжності в інформації щодо місця розташування суден по карті і фактично.

Визначається допустимою величиною похибки визначення місця  $e_1^- \leq 10$  м (з ймовірністю 0,95);

– критерії розбіжності у показі дійсного рівня за даними РІС і ехолота.

Відповідно до цього в ході дисертаційних досліджень (підрозділ 2.3) обґрунтована автоматизація відображення фактичних глибин на електронній карті шляхом реалізації методів обчислювального інтелекту. Запропонована методологія системної оптимізації і стратегії використання деталізованого масиву глибин, геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації при змінах умов експлуатації, спосіб розв'язання задачі щодо зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у  $n$ -мірному просторі, спосіб інтелектуальної обробки потоку даних за символічно-формалізованими перетвореннями Лапласа. Результати досліджень викладені в [9]. Критерії розбіжності викладені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

## Точність вимірювання глибин

Глибина, м	Точність, м
0,1 – 5.0	+/- 0.05
5.1 – 20.0	+/- 0.10
більше 20.0	+/- 0.20
намітка до 5	+/- 0.05
лот	+/- 0.10

- критерії розбіжності у накладенні на SENC РЛЗ.

Визначається точністю SENC і точністю вимірювання дистанції за допомогою Inland radar і складає  $\sigma_{\text{РЛС}} \leq 10$  м;

- критерії розпізнавання критичних ситуацій, визначення процедур для забезпечення безпеки і їх активація (розкриваються в наступних розділах дисертації).

А також критерії, які потребують подальших дисертаційних досліджень:

- діагностики роботи суднових технічних засобів навігації та управління ними при порушеннях номінального режиму функціонування;
- діагностики несправностей технічних засобів навігації та помилок в роботі програмного забезпечення.

Що стосується помилок в роботі програмного забезпечення, то слід зазначити, що в ході дисертаційних досліджень проведено аналіз проблеми впровадження технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів, а також існуючих методів перевірок ECDIS перед виходом судна. Обґрунтована математична модель для реалізації розширення функціональних можливостей ECDIS за рахунок тестування, контролю та верифікації технологічних модулів у режимах контролю і діагностування. Розроблений і обґрунтований лінійний алгоритм технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів. Результати досліджень викладені в [6];

- вилучення інформації з зашумлених первинних даних РЛС.

У ході дисертаційних досліджень (підрозділ 2.4) запропоновано метод автоматизації у вигляді алгоритму автоматичного накладення РЛЗ на SENC за наявності між зображеннями яскравісних і геометричних відмінностей, що дозволяє здійснювати поточний контроль GPS-координат для визначення правильності роботи СНС і точності ENC. Результати досліджень викладені в [4].

#### **1.4. Застосування системного аналізу впровадження інструментального методу навігації на річці Дніпро**

Слід визначити, що способів проведення системного аналізу і універсальних методик не існує. Загальним для всіх методик системного аналізу є визначення закономірностей функціонування системи, формування варіантів структури системи і вибір найкращого варіанта, здійснюваного шляхом вирішення завдань декомпозиції, аналізу і синтезу досліджуваної системи.

Впровадження ІМН на річці Дніпро розглянемо як системний об'єкт з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей і процесів. Крім того, системний аналіз є найбільш конструктивним з напрямів системних досліджень, що включає застосування методів і моделей теорії систем для практичного їх застосування [123, 128].

В даному випадку системний аналіз використаний для вирішення в першу чергу слабоструктуризованих проблем впровадження ІМН, тобто проблем, склад елементів і взаємозв'язків яких встановлений тільки частково і виникають вони, як правило, в ситуаціях, що характеризуються наявністю фактора невизначеності, і містять як формалізовані, так і неформалізовані елементи, що не перекладаються на мову математики.

Спочатку розглянемо загальну схему етапів підвищення ефективності експлуатації ВТЗ на ВВШ України (рис. 1.10) [128, 151].

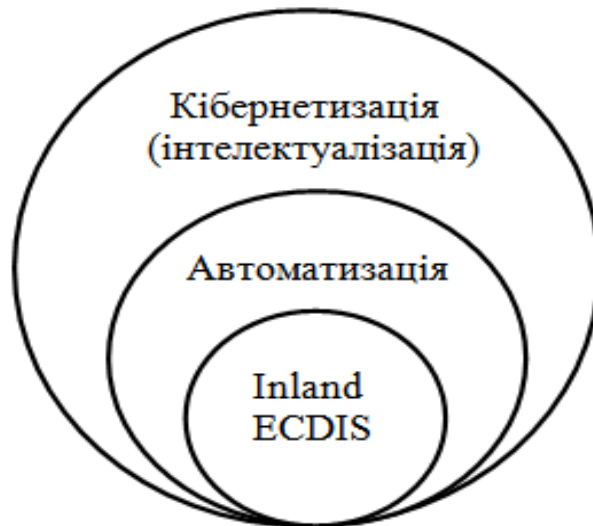


Рис. 1.10. Загальна схема етапів підвищення ефективності експлуатації ВТЗ на ВВШ України

*Перший* етап підвищення ефективності – впровадження Inland ECDIS на суднах (підвищує продуктивність вирішення задач навігації у 18 – 20 разів). Роботою Inland ECDIS завжди керує судноводій [2].

*Другий* етап підвищення ефективності пов'язаний з автоматизацією вирішення завдань навігації при несенні вахти. Основне її завдання – це виключити участь судноводія з конкретного процесу судноводіння, тобто покласти на Inland ECDIS управління цими процесами.

*Третій* етап – рівень системності практичної діяльності судноводія пов'язаний з кібернетизацією (інтелектуалізацією). Основною відмінністю від попередніх рівнів є використання інтелекту. Він дозволяє орієнтуватися в незнайомих ситуаціях, вирішувати завдання, які виникли і не піддаються формалізації, і вирішувати завдання, які не можуть вирішити автоматизовані системи. Тут використовується або природний інтелект, або створюється штучний інтелект [151].

Таким чином, підвищенню ефективності експлуатації ВТЗ на ВВШ України властива системність. Система ІМН, що розглядається, це набір об'єктів, що

мають інтегральні властивості і закономірності, а також набір зв'язків між об'єктами і їх властивостями [123, 128].

На рис. 1.11 відображена схема компонування системи [123, 151, 153].

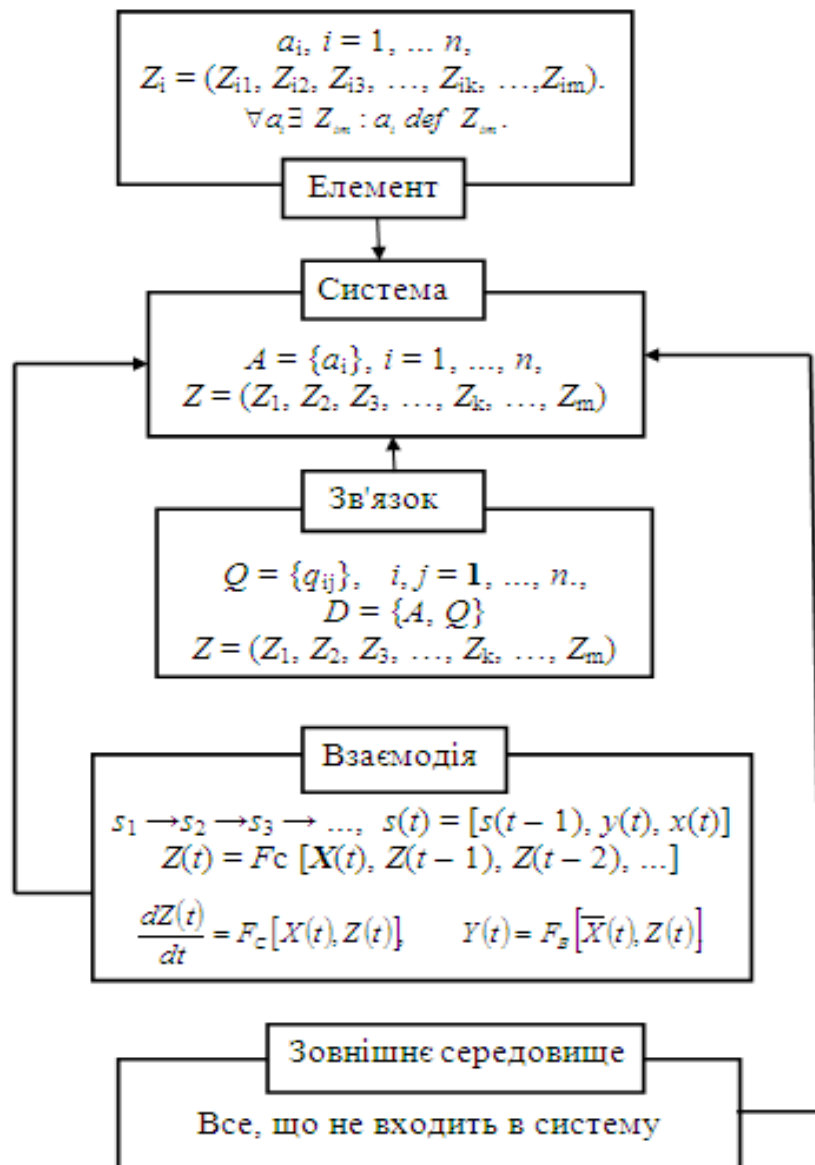


Рис. 1.11 Схема компонування системи ІМН

Пояснимо рис. 1.11 з використанням даних таблиці 1.1.

Визначимо поняття елемента як частини складного цілого. У нашому випадку складне ціле – це система ІМН, яка являє собою комплекс взаємопов'язаних елементів. Тобто елемент – це неділима частина системи, що має самостійність по відношенню до даної системи. Неділимість елемента

розглядається як недоцільність обліку в межах моделі даної системи його внутрішньої будови. Сам елемент характеризується тільки його зовнішніми проявами у вигляді зв'язків і взаємозв'язків з іншими елементами [123, 153].

Множину  $A$  елементів системи можна описати у вигляді

$$A = \{a_i\}, i = 1, \dots, n, \quad (1.9)$$

де  $a_i$  –  $i$ -й елемент системи;  $n$  – число елементів у системі.

Кожний елемент  $a_i$  характеризується конкретними властивостями  $Z_{i1}, \dots, Z_{im}$ , які однозначно визначають його у даній системі.

Совокупність усіх властивостей  $m$  елемента  $a_i$  визначимо як стан елемента  $Z_i$

$$Z_i = (Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3}, \dots, Z_{ik}, \dots, Z_{im}). \quad (1.10)$$

Послідовні зміни стану елемента є рухом елемента.

$$Q = \{q_{ij}\}, i, j = 1, \dots, n, \quad D = \{A, Q\}, \quad (1.11)$$

де  $Q$  – множина зв'язків між елементами  $a_i$  і  $a_j$ ,

$D$  – сукупність елементів системи і зв'язків між ними.

$$Z = (Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_k, \dots, Z_m), \quad (1.12)$$

де  $Z$  – стан системи (сукупність станів її  $n$  елементів і зв'язків між ними).

Двосторонніх зв'язків не може бути більше ніж  $n(n - 1)$ .

Можливі стани такої реальної системи утворюють деяку підобласть  $Z_{CD}$  (множина допустимих станів системи). Система ІМН має властивості рівноваги, стійкості і здатна переходити з одного стану в інший

$$s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow \dots, \Rightarrow s(t) = [s(t - 1), y(t), x(t)]. \quad (1.13)$$

Розглянемо залежності станів системи ІМН від функцій входів, її станів та виходів [153].

$$\begin{aligned} \mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_r) &\Rightarrow Z(t) = F_c [\mathbf{X}(t)], \Rightarrow \\ &\Rightarrow Z(t) = F_c [\mathbf{X}(t), Z(t - 1), Z(t - 2), \dots], \end{aligned} \quad (1.14)$$

де  $F_c$  – перехідна функція стану системи.

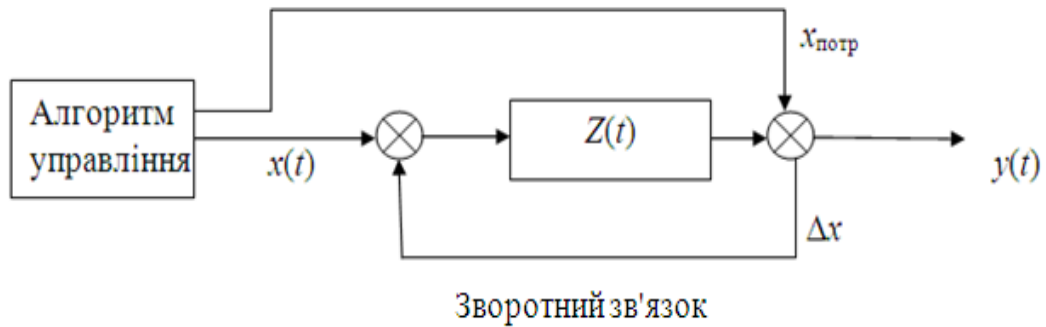


Рис. 1.12. Схема підсистеми ІМН з одиничним зворотним зв'язком

На рис 1.12 зображений зворотній зв'язок елементів системи [128, 151, 156], де  $x(t)$  – алгоритм управління;  $x_{\text{потр}}$  – потрібне значення регульованого параметра;  $x_i$  – фактичне значення регульованого параметра,  $\Delta x$  – неузгодженість між  $x_{\text{потр}}$  і  $x_i$ .

$$Y(t) = F_b [X(t)], \quad (1.15)$$

де  $F_b$  – функція виходів системи. При такій функції в залежності від станів реальної системи ІМН має ознаки статичної.

Особливість системи ІМН полягає в тому, що в залежності від її станів вона буде залежати не тільки від функцій входів  $X(t)$ , але і від функцій станів  $Z(t-1)$ ,  $Z(t-2)$ , тобто система ІМН має ознаки динамічної [153, 156].

$$Y(t) = F_b [X(t), Z(t), Z(t-1), Z(t-2), (Z-v)], \quad (1.16)$$

де  $v$  – параметр пам'яті системи.

Звідси випливає, що функціонування системи ІМН здійснюється в дискретному або безперервному режимі.

Для безперервного режиму [151]:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = F_c [X(t), Z(t)], \quad Y(t) = F_b [\bar{X}(t), Z(t)] \quad (1.17)$$

Ознаки досліджуваної системи ІМН:

- система в цілому має властивості, яких не має ні одна із її складових елементів;
- систему можна розділити на підсистеми і вивчати кожна з них окремо;
- система функціонує в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища на неї, що обумовлює випадковий характер зміни її показників;
- система здійснює цілеспрямований вибір своєї поведінки.

На початковому етапі дослідження проведено вивчення об'єкта з подальшою його формалізацією. На цьому етапі виникло двоєдине завдання. З одного боку, це формалізація об'єкта системного дослідження, з іншого боку, формалізації підлягає процес дослідження системи, процес постановки і вирішення проблеми.

Важливим завданням даного системного аналізу є проблема прийняття рішення. Проблема прийняття рішення пов'язана з вибором певної альтернативи розвитку системи в умовах різного роду невизначеності. Невизначеність обумовлена наявністю множини факторів, що не піддаються точній оцінці, впливу на систему невідомих факторів, багатокритеріальності завдань оптимізації, недостатньої визначеності цілей розвитку систем, неоднозначності сценаріїв розвитку системи, недостатності апріорної інформації про систему, впливу випадкових факторів в ході динамічного розвитку системи, невизначеності, пов'язаної з подальшим впливом результатів прийнятого рішення на проблемну ситуацію.

Важливе місце в застосованому системному аналізі зайняли завдання організаційного характеру, в тому числі проблеми управління в ієрархічних системах, вибір оптимальної структури, оптимальних режимів функціонування, оптимальної організації взаємодії між підсистемами і елементами та інші організаційні завдання [128].

У застосованому системному аналізі використаний сучасний математичний апарат. Однак виявилось неможливим покладатися тільки на суворі математичні методи. Тому в системному аналізі широко використані неформальні процедури: об'єднання формальних і неформальних методів аналізу і синтезу. Основним

інструментом, що забезпечує це об'єднання, є імітаційні моделі, створені за допомогою методів комп'ютерного моделювання. Однак слід зазначити, що в системних дослідженнях не переслідувалася мета створення якоїсь «супермоделі», мова йде про розробку окремих моделей, кожна з яких вирішує свої специфічні завдання.

Окрему групу завдань застосованого системного аналізу склали завдання дослідження комплексу взаємодій аналізованих об'єктів із зовнішнім середовищем. Тобто проведена межа між досліджуваною системою і зовнішнім середовищем, яка зумовлює граничну глибину впливу розглянутих взаємодій, якими обмежується розгляд, визначення реальних ресурсів такої взаємодії, розгляд взаємодій досліджуваної системи з системою більш високого рівня [128].

На етапі *декомпозиції* системи використано декілька її варіантів [152]:

- функціональна декомпозиція, що базується на аналізі функцій системи;
- декомпозиція по життєвому циклу, що відповідає етапам обробки інформації: реєстрація, збір, передача, обробка, відображення, зберігання;
- структурна декомпозиція.

На етапі *аналізу системи* застосовані наступні методи [152]:

– когнітивний аналіз – у зв'язку з тим, що увага акцентується на «знаннях» в конкретній області впровадження інструментального методу навігації на ВВШ України, на процесах їх подання, зберігання, обробки, інтерпретації нових знань, а обсяг і якість наявної про проблему інформації не дозволяють використовувати традиційні методи;

- структурний аналіз, що включає уточнення складу і закономірностей функціонування елементів, алгоритмів та взаємовпливів підсистем, поділ керованих і некерованих характеристик, задавання станів і параметричного простору, в якому задано поведінку системи, аналіз цілісності системи, формулювання вимог до нової створюваної системи;

- аналіз ефективності, що дозволяє провести оцінку створеної системи за результативністю та оперативністю. Він включає вибір шкали вимірювання, формування показників ефективності, обґрунтування і формування критеріїв ефективності, безпосередньо оцінювання та аналіз отриманих оцінок;

- формування вимог до створюваної системи, включаючи вибір критеріїв оцінки і обмежень.

На етапі *синтезу* системи відпрацьовані наступні етапи [152]:

- розробка моделі системи, що вимагається. На даному етапі обраний відповідний дослідженню математичний апарат, виконано оцінку моделі за критеріями адекватності, простоти, відповідності між точністю і складністю, балансу похибок, багатоваріантності реалізацій, модульності побудови;

- синтез альтернативних структур системи, що вирішує проблемну ситуацію. На цьому етапі використані результати структурного і морфологічного аналізу для генерації альтернатив;

- синтез властивостей системи. На даному етапі проведений аналіз якісних та кількісних характеристик функціональних елементів структури, опис їх функцій, визначені основні характеристики, що входять і виходять з системи потоків, а також параметри їх взаємодії з зовнішнім середовищем;

- оцінювання альтернативних варіантів синтезованої системи. Проведено обґрунтування схеми оцінювання варіантів реалізації системної моделі, проведено експеримент по оцінці, обробка результатів оцінювання, аналіз результатів, вибір найкращого варіанту.

На закінчення треба зупинитися на такій важливій проблемі подальших досліджень як вибір структури для представлення системи ІМН, врахування її особливостей та можливостей. Зазначимо, що від виду структури залежить важлива характеристика системи ІМН – ступінь її цілісності, стійкості. При порівняльному аналізі структур використані інформаційні оцінки ступеня цілісності  $\alpha$  і коефіцієнта використання компонентів системи  $\beta$ , які інтерпретуються як оцінки стійкості при наданні свободи елементів структури. Ці

оцінки отримані зі співвідношення, що визначає взаємозв'язок системної  $C_c$ , власної  $C_o$  і взаємної  $C_b$  складності системи ІМН [128, 156]:

$$\begin{cases} C_c = C_o + C_b, \\ \alpha = -\frac{C_b}{C_o}, \\ \beta = \frac{C_c}{C_o}, \\ \beta = 1 - \alpha. \end{cases} \quad (1.18)$$

Проведемо аналіз формули (1.18) [156].

1) Власною складністю  $C_o$  у даному випадку є сумарна складність (зміст) елементів системи поза зв'язком їх між собою. Так, наявність таких елементів (підсистем) ІМН, як Inland ECDIS, Inland ENC, датчики інформації, РІС, елементи берегової інфраструктури (AIS, DGPS, мости, ЛЕП, шлюзи та інше), вказує на їх складність у складі системи.

2) Системна складність  $C_c$  характеризує зміст системи як цілого. Складність її використання вимагає спеціальної підготовки операторів, контролю за її роботою, своєчасного проведення профілактичних робіт.

3) Взаємна складність  $C_b$  характеризує ступінь взаємозв'язку елементів в системі. Це визначено складністю її пристрою, схеми, структури.

4)  $\alpha$ ,  $\beta$  – дві важливі спряжені оцінки.

Оцінка  $\alpha$  характеризує ступінь цілісності, зв'язності, взаємозалежності елементів системи. Для системи ІМН  $\alpha$  інтерпретується як характеристика стійкості, керованості, ступеня централізації управління. Знак мінус у виразі  $\alpha$  введений для того, щоб  $\alpha$  було позитивним, оскільки  $C_b$  у даній системі формально має негативний знак і  $C_o > C_c$ .

5) Оцінка  $\beta$  показує самостійність, автономність частин у цілому, ступінь використання можливостей елементів. Тобто,  $\beta$  – коефіцієнт використання елементів у системі ІМН.

Таким чином, у процесі дослідження при проведенні системного аналізу використаний комплекс процедур, які спрямовані на формулювання проблемної ситуації, визначення генеральної мети системи, висунення множини альтернатив досягнення цих цілей, які зіставляються з тими чи іншими критеріями ефективності, а також побудова узагальненої моделі, що відображає всі чинники і взаємозв'язки реальної ситуації і досягнення цільового стану системи [128].

Разом з тим слід зазначити, що остаточний висновок про правильність системного аналізу такої складної системи, як система ІМН, можна зробити лише на підставі результатів його практичного застосування. Кінцевий результат залежатиме не тільки від того, наскільки досконалі і теоретично обґрунтовані методи, що застосовуються при проведенні аналізу, але і від того, наскільки точно і якісно реалізовані отримані рекомендації. Слід також враховувати, що на практиці ситуація, коли спочатку проводять дослідження, а потім їх результати впроваджують у практику, зустрічається відносно рідко, і лише в тих випадках, коли мова йде про відносно прості системи. При дослідженні такої складної системи вона змінюється з плином часу як сама по собі, так і під впливом досліджень. Тобто, проблема поступово вирішувалася в ході активного дослідження.

### **1.5. Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження**

Так сталося, що проблема використання ІМН на ВВШ України вивчена ще не повністю, деякі її питання досліджені поверхово і побіжно. У даному разі доречно вказати, що вивчення стану даної проблеми почалося з найбільш ґрунтовних публікацій: монографії Паніна В.В. «Структурне моделювання та символічні перетворення для управління рухом транспортних засобів», Міністерство освіти і науки, 2014 [126] та дисертації Дороніна В.В. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації», Київ, КДАВТ, 2016 [54], які є найбільш близькими до обраного дослідження. Проте, як

показав аналіз, науково обґрунтований підхід до даного напрямку розглядався тільки у вигляді гіпотези без теоретичного обґрунтування.

Стосовно розвитку ІМН на річковому транспорті вагомі наукові здобутки висвітлені в працях вітчизняних вчених: Баранова Г. Л., Беляєвського Л. С., Вагущенко Л. Л., Дороніна В. В., Паніна В. В., а також закордонних вчених: Волкова А. Б., Гагарського Д. А., Каретнікова В. В., Еріка Тадо Тедонзонга. Застосування в першому розділі дисертації поняття функціональної стійкості ІМН проводилося з урахуванням різних варіантів поняття стійкості – стійкості по Ляпунову, стійкості по ймовірності, стійкості по Лагранжу та інше [7, 14]. Це поняття відноситься не до даного об'єкта, а тільки до якої-небудь його властивості. Для різних систем розроблено достатньо багато методів аналізу стійкості: методи Ляпунова, Гурвіца, Михайлова, Попова тощо. В класичній теорії стійкості розроблено критерії, за якими можна встановити факт стійкості системи.

Поняття функціональної стійкості для динамічної системи вперше визначено у роботах професора Машкова О. А. [104] Теорію побудови функціонально-стійких розподілених автоматизованих систем управління запропоновано професором Барабашем О. В. [23] Даний підхід базується на оцінках зв'язності графів мережі. Є також інші підходи щодо забезпечення функціональної стійкості для навігаційних систем спеціального призначення (професор Кравченко Ю. В.). Слід зазначити, що класичні підходи теорії стійкості для сучасних систем, засновані на активному використанні методів штучного інтелекту, часто не відповідають вимогам щодо адекватності й надійності оцінок стійкості функціонування таких систем. Разом з тим, моделі і методи теорії функціональної стійкості залежать від предметної області їх застосування.

Відзначаючи важливе значення, яке надається автоматизованому тестуванню Inland ECDIS при ІМН, відзначимо, що вперше автоматизоване тестування згадується в книзі Фредеріка Брукса «Мифический человек-месяц» [141], де йдеться про перспективи використання модульного тестування. Проаналізовано два основних підходи до автоматизації тестування: тестування на рівні коду і тестування ІК. До першого типу відноситься, зокрема, модульне тестування. До

другого – імітація дій користувача за допомогою спеціальних тестових фреймворків. Найбільш високими темпами автоматизація тестування стала розвиватися у 1990-х роках. Аналіз проблеми використання технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів для функціонування Inland ECDIS показав, що даний напрям є малодослідженим у порівнянні з іншими напрямками експлуатації електронно-картографічних систем. Крім того, в стандартах Inland ECDIS ця вимога не є однозначною. Не дивлячись на складність та існуючі проблеми, стала очевидною користь, яку можна отримати шляхом автоматизації тестування на рівні коду і ІК Inland ECDIS для вирішення окремих задач з безпечної експлуатації водного транспорту [6].

Слід відзначити, що протягом останніх 10 років розвиток сучасних електронно-картографічних засобів для ефективного використання водного транспорту проходив пришвидшеними темпами. Електронно-картографічні навігаційні системи уже продемонстрували своє значення і експлуатаційну надійність у роботі. На теперішній час процес їх вдосконалення продовжується. Активний розвиток та освоєння засобів навігаційного забезпечення знайшли відображення у збільшенні кількості публікацій і досліджень з питань підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання.

Питання підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання для безпечного використання засобів водного транспорту досліджувалися у роботах, статтях і дослідженнях Алейсійчука М. С., Алексішина В. Г., Богом'я В. І., Баранова Г. Л., Беляєвського Л. С., Вагущенка Л. Л., Гагарського Д. А., Гладких І. І., Данцевича В. А., Кошового А. А., Кошового В. М., Лобастова В. М., Мальцева А. С., Носкова А. А., Сизова М. М., Тихонова І. В., Цимбала М. М.

Крім того, аналіз нормативно-правових актів показав, що вимоги до електронно-картографічного обладнання викладені без конкретного алгоритму дій операторів, що дало можливість розробнику самостійно розробляти і впроваджувати алгоритми реалізації функціональних можливостей електронно-

картографічного обладнання. А це зумовило появу істотних відмінностей інформаційно-управляючих панелей, різних підрівнів меню, форматів відображення ENC, що значно ускладнило експлуатацію різних типів систем, включаючи їх тестування. У зв'язку з цим, окрім обов'язкової підготовки судноводіїв, багато судноплавних компаній змушені проводити додаткову перепідготовку по конкретному типу обладнання Inland ECDIS і обирати єдиного постачальника в судноплавній компанії [54].

У резолюціях ЄЕК ООН [136] крім обов'язкових вимог до обладнання Inland ECDIS («повинно бути») викладаються і не обов'язкові («може бути») без конкретного зазначення мінімальних вимог щодо відображення такої інформації. Це стосується автоматизації тестування ІК, підключення датчиків інформації: AIS, ARPA, ехолота і бази даних додаткової навігаційної інформації, що також приводить до істотних відмінностей відображуваної інформації.

Проблема, яка пов'язана з ІМН ставить під сумнів необхідність деталізації масиву глибин на Inland ENC, так як для безпеки судноплавства набагато важливіше точне зазначення положення фарватеру [9].

Так, у процесі виконання в 2013 році на замовлення Мінтрансу Росії науково-дослідної роботи «Совершенствование нормативной технической базы, регулирующей использование государственных навигационных карт и баз данных навигационной информации в интересах навигационно-информационного обеспечения транспортного комплекса Российской Федерации» здійснювався пошук конструктивного рішення наукової задачі щодо вдосконалення всієї картографічної бази даних Inland ENC. Що стосується оновлення відображуваного масиву глибин в SENC, то дана проблема розглядалася тільки на рівні пропозицій і гіпотез.

У наукових працях Вагущенка Л. Л. «Судовые навигационно-информационные системы» [32], «Современные информационные технологии в судовождении» [33], Гагарського Д. А. «Электронные картографические системы» [44] проблема використання деталізованого масиву глибин при ІМН полягала тільки у врахуванні поправок з використанням картографічного

редактора Inland ECDIS, тобто вручну без системного науково обґрунтованого підходу до періодичності оновлення діючих глибин на ENC, її автоматизації і відображення на екрані.

Найбільш конструктивні пропозиції були викладені у статті Каретнікова В.В. «Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації», опублікованій у журналі «Річковий транспорт (XXI століття)» у 2014 році [73], де запропоновані рекомендації по впровадженню нових конструктивних підходів до створення та оновлення баз даних навігаційної інформації Inland ENC на ВВШ РФ. Було сформульовано ряд дуже цікавих науково обґрунтованих рекомендацій щодо створення та оновлення баз даних Inland ENC, впровадження яких на водному транспорті, безумовно, забезпечить підвищення безпеки судноплавства. У публікації поставлено під сумнів саме необхідність деталізації масиву глибин на Inland ENC, висунуті гіпотези (відмовитися від кодування масивів глибин в осередках ENC, прискорити процес відображення (прорисовування) елементів спеціального навантаження осередків ENC, знизити навантаження відображення ENC, скоротити тимчасові витрати і вартість виробництва осередків ENC, створити передумови для оптимізації кількості знаків ЗНО) – без теоретичного обґрунтування. Питання автоматизації введення поправок до масиву глибин на SENC не розглядалося.

У європейській програмі COMPRIS – «Платформа управління інформацією і експлуатацією річок», яка об'єднала зусилля західноєвропейських країн щодо впровадження єдиних технічних вимог для інформаційної системи на ВВШ Європи, проблема щодо автоматизації оновлення відображуваного масиву глибин на SENC при експлуатації Inland ECDIS також розглядалася тільки опосередковано.

Проблемам головної відмінної особливості ВВШ України, що полягає в нестабільності глибин, русел річок і характеристик водних потоків, присвячені праці Ободовського О. Г. [120] Так, наприклад, на річці Дніпро суттєві зміни суднового ходу можуть спостерігатися протягом однієї навігації. При цьому

важливо відзначити, що подібним переформуванням річкового русла властива випадковість і неоднорідність глибин.

Внаслідок цього, в ДУІТ проводяться дисертаційні дослідження проблеми використання деталізованого масиву глибин при експлуатації Inland ECDIS. Це, перш за все, обумовлено тим, що в Україні системний науково обґрунтований підхід до даної проблеми до теперішнього часу не застосовувався. Тому реалізація досліджень вирішить проблему використання деталізованого масиву глибин на підставі системного науково обґрунтованого підходу до періодичності оновлення діючих глибин на ENC, її автоматизації і відображення на екрані. До того ж, перевага дисертаційних досліджень полягає і в тому, що розробка і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS дозволить принести значний ефект щодо удосконалення ІМН на ВВШ України і підвищення обороноздатності держави.

Класична теорія використання багатосарових штучних нейронних мереж передбачає критерії, за якими можна встановити факт використання у системі [11, 57, 147]. У даний час відомий ряд прикладних досліджень, в яких пропонується тільки моделювання динаміки руху судна на основі методів побудови нейронної мережі [118]. У статті [63] пропонується побудова нейронної мережі, що прогнозує швидкість дрейфу судна в умовах впливу зовнішніх факторів, методика формування зразків для навчання і тестування. Дослідження [42] також присвячене питанням синтезу нейромережових систем, які прогнозують параметри руху судна в умовах впливу керуючих і збурюючих впливів. У статті розглядається синтез нейронних мереж, які прогнозують прискорення дрейфу і похідну кутової швидкості повороту за часом в умовах зовнішніх збурень. У даний час все частіше використовуються гібридні системи, що дозволяють зберігати переваги нейронних мереж і нечітких систем. Приклади гібридних нейро-нечітких систем, які прогнозують лише кінематичні параметри судна, описані у роботі [47].

На закінчення треба зупинитися на такій важливій проблемі як вибір структури для представлення системи ІМН, врахування її особливостей та можливостей. На підставі порівняльного аналізу структур теорії систем, запропонованих академіками Анохіним П. К. [19], Л. фон Берталанфі [25], Богдановим А. А., використані інформаційні оцінки ступеня цілісності і коефіцієнта використання компонентів системи, які інтерпретуються як оцінки стійкості при наданні свободи елементів структури.

Все сказане дає змогу зробити висновок, що проблема використання ІМН на ВВШ України вивчена ще не повністю, деякі її питання досліджені поверхово і побіжно і це підтверджує актуальність наряду досліджень.

## **1.6. Дорожня карта дисертації з визначенням кроків та механізмів реалізації**

Дорожня карта дисертації, обґрунтовується специфікою предметної області дослідження, що пов'язано з безпекою судноплавства на річці Дніпро, двоїстістю природи використання ІМН. З одного боку, це вимоги безпеки судноплавства і обороноздатності держави, що не мають суто економічного характеру. З іншого боку, економічна складова оцінюється системою критеріїв, пов'язаних із впровадженням зазначених положень і конструктивним вирішенням ряду додаткових задач: відмова від лоцманського принципу судноводіння, відмова від установки ЗНО, удосконалення берегової інфраструктури, зменшення навантаження відображення SENC.

**Крок 1** (розділ I, підрозділи 1.1, 1.2).

*Проблема.* Існують домінуючі інфраструктурні та технічні фактори, які обмежують навігацію на річці Дніпро. Потенціал річкового транспорту не використовується. Для відродження і подальшого розвитку судноплавного потенціалу річки Дніпро необхідно взяти ряд заходів, спрямованих на усунення існуючих проблем. Основною метою усунення вказаних проблем є гарантування безпеки судноводіння в стислих водах ВВШ, що представляють собою складні в

навігаційному відношенні райони. Навігаційна складність таких районів формує підвищені вимоги щодо точності і надійності річкового судноводіння. Відзначені окремі недоліки, виявлені під час функціонування РІС України.

*Механізми реалізації.* Застосування інформаційно-комунікаційних технологій при ІМН на ВВШ України на базі річкових електронно-картографічних систем безумовно забезпечить підвищення рівня безпеки судноплавства і конструктивного вирішення ряду додаткових задач. При ІМН такі системи забезпечують високий рівень оцінювання ситуацій і дають обґрунтовані рекомендації для вирішення проблем для автоматичної активації тих чи інших процедур забезпечення безпеки руху в критичних ситуаціях.

### **Крок 2** (розділ I, підрозділ 1.3).

*Проблема.* Стійкість функціонування системи ІМН заснована на аналізі цілого ряду факторів, які в даний час не враховуються у зв'язку з використанням приблизних моделей.

*Механізми реалізації.* Функціонування судового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури ВВШ України при ІМН запропоновано віднести до розподіленої ієрархічної інтелектуалізованої системи управління складним технічним об'єктом. Реалізовані нові підходи щодо теорії функціональної стійкості ІМН на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS, що характеризують виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання для конкретних умов руху  $ВТЗ \geq 95\%$ . Стійкість функціонування такої системи характеризує зміну екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи. Функціональна ж стійкість такої системи характеризуватиме відхилення основних функцій від екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи. Таким чином, функціональна стійкість системи ІМН зумовлюється її властивістю зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій в межах, встановлених нормативними вимогами, в умовах протидії зовнішнім дестабілізуючим факторам. Для цього показані основні етапи функціональної стійкості системи ІМН на ВВШ України. Обґрунтовано, що поняття надійності та функціональної стійкості системи ІМН

співпадають у певному відношенні, і в той же час вони виражають різні критерії функціонування внутрішнього механізму системи. Причому, забезпечення функціональної стійкості в даному випадку вимагає спеціального додаткового апаратного й програмного забезпечення, яке не враховується в безвідмовній системі. В доповнення до цього розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості системи, застосована математична модель у вигляді неорієнтованого графа, проведений аналіз основних критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ і представляють принциповий інтерес для застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості системи.

### **Крок 3** (розділ I, підрозділ 1.4).

На етапі впровадження ІМН на ВВШ України розроблена методика системного аналізу, яка гарантує високу якість моделювання згідно з точнісними критеріями судноплавства і економічності. Системний аналіз є найбільш конструктивним з напрямів системних досліджень, що включає застосування методів і моделей теорії систем для практичного їх застосування.

*Механізми реалізації.* Впровадження системи ІМН розглядається як системний об'єкт з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей і процесів. У процесі дослідження використаний комплекс процедур, що мають елементи наукової новизни і спрямовані на формулювання проблемної ситуації, висунення множини альтернатив, які зіставляються з критеріями ефективності із застосуванням коефіцієнтів стійкості системи. Запропонований підхід до обробки даних, який заснований на вивченні властивостей системи з подальшою її формалізацією. Розроблена модель компонування системи на базі електронно-картографічних систем, що характеризує виконання поставлених завдань з підвищеною ймовірністю безпечного плавання. Розглянуто особливості стану системи. Відпрацьовані показники експериментальних досліджень процесу функціонування етапів функціональної стійкості берегової інфраструктури і суднового навігаційного обладнання. Результати експериментів дозволяють рекомендувати запропонований метод для впровадження ІМН на ВВШ України.

**Крок 4** (розділ II, підрозділ 2.1).

Викладена концепція системної оптимізації структури ІМН. Особливостями викладеної концепції є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, обґрунтування змін до підсистем ІМН, зниження рівня суб'єктивізму й підвищення частки формальних прийомів при постановці й вирішенні оптимізаційних завдань, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо.

*Механізми реалізації.* Сформульовані основні положення, які використані при обґрунтуванні цієї концепції. Це дозволило перейти до суті основних етапів методології системної оптимізації структури ІМН. Так, перший етап передбачає формування множини припустимих варіантів елементів підсистем ІМН. Запропоновані способи вирішення цих завдань. Другим етапом у рамках біфакторного завдання оптимізації вирішується завдання оптимального вибору структури функціонування параметрів підсистем ІМН зі сформованою множиною припустимих її елементів. Результатом такої оптимізації є впорядкована (домінуюча) послідовність просторових координат  $X$ ,  $Y$ ,  $H$ . На третьому етапі у рамках завдання оптимізації визначається рівень функціональної ефективності системи ІМН. Розглядаються цільові функції математичних уявлень залежності критеріїв оптимальності від потрібних змін підсистем ІМН, а як обмеження – функціональна ефективність отримання просторових координат для забезпечення безпеки руху всіх класів рухомих об'єктів. Процеси параметричної стабілізації характеризуємо як етапи забезпечення функціональної стійкості відповідних підсистем ІМН, що якісно працюють у заданих інтервалах варіювання параметрів. Визначення доцільності використання потрібних змін та обмежень елементів ІМН визначається на четвертому етапі. На заключному п'ятому етапі оптимізації проводиться аналіз чутливості до зміни параметрів елементів підсистем ІМН з метою визначення таких, удосконалення яких може призвести до істотного підвищення ефективності використання Inland ECDIS.

**Крок 5** (розділ II, підрозділи 2.2 – 2.5).

Визначені методи побудови функціонально стійкого навігаційного обслуговування систем електронно-картографічної інтелектуалізації.

*Механізми реалізації.* До розроблених методів належать:

– метод визначення навігаційних параметрів для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи. Завдання стабілізації руху судна, процес вимірювання відхилення від еталонної програмної лінії розглянуті на програмних траєкторіях, що відображуються на SENC. Наведені математичні розрахунки визначення положення будь-якої точки на судні по двох точках з відомим положеннями. Запропонована модель двоканального режиму стабілізації отримання навігаційних параметрів на базі Inland ECDIS. З використанням методології системної оптимізації структури ІМН зафіксований рівень потенціалу якості навігаційних параметрів (НП) для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи ІМН. Слід зазначити, що вибір НП здійснювався із застосуванням штучного інтелекту з використанням елементів нечіткої логіки. На відміну від традиційних систем вживання нечіткої логіки, яка оперує множиною значень, а в окремих випадках є системою наближених обчислень, можна використовувати гібридний підхід, при якому в різних частинах системи функціонують різні обчислювальні моделі, які активно взаємодіють;

– методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах. Враховано, що для автоматизованого показу фактичних глибин на SENC в Inland ECDIS різниця висот миттєвого рівня в 2-х крайніх точках зони дії водомірних постів не повинна перевищувати половини точності вимірювання і нанесення глибин на карту. Зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна описано у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь з використанням рухомої системи координат. Розв'язання задачі щодо зняття невизначеності ситуаційної динаміки потребувало її декомпозиції на ряд окремих кроків і визначення відповідних математичних прийомів для їх вирішення. Результатом інтелектуальної обробки

потоків даних від водомірних постів за символічно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна є отриманий вираз, який може служити основою для автоматизованого визначення фактичних глибин на SENC. Для обґрунтування того, що підсистема Inland ECDIS відособлена і пов'язана з зовнішнім середовищем через сукупність входів і виходів, застосована модель «чорного ящика»;

– метод розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС. Запропонований алгоритм автоматичного суміщення РЛЗ з еталонними зображеннями за наявності між зображеннями яскравісних та геометричних відмінностей. Запропонований метод полягає в необхідному формуванні, послідовному накладенні і відображенні на дисплеї трьох елементів: статичного зображення ENC і навігаційних орієнтирів, відображення РЛЗ, що змінюється протягом часу огляду радіолокаційного простору, який формується РЛС, відображення РЛЗ, що змінюється по мірі обробки набору міток цілей в РЛС. Використання методу можливе тільки при роботі Inland ECDIS в навігаційному режимі. Тому наявність в Inland ECDIS навігаційного режиму є обов'язковою умовою функціонування ІМН;

– алгоритм автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна по фарватеру. Алгоритм визначений із застосуванням можливих варіантів положення лінії відносного руху на SENC і математичної моделі місцеположення руху точки по траєкторії у різних ортогональних системах координат.

**Крок 6** (розділ III, підрозділи 3.1 – 3.4).

Запропоновані нові методи електронно-картографічної інтелектуалізації ІМН для забезпечення ефективності експлуатації ВТЗ.

*Механізми реалізації.* Викладена методологія контекстно-орієнтованого керованого підходу під час інтелектуальної обробки потоків даних в умовах річкової e-навігації. Для оцінки вирішення завдань обґрунтований критеріальний метод, в якому кожна окремо взята альтернатива оцінюється конкретним числом (критерієм, цільовою функцією).

Запропонована модель, що відображує реальну ієрархію засобів управління, які взаємопов'язані та взаємозалежні у системі ІМН. Зафіксований рівень потенціалу якості навігаційних параметрів для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи ІМН. Вихідна інформація для прийняття автоматизованого рішення (АР) в умовах невизначеності та ризику представлена у вигляді моделі АР.

На основі розробленого переліку інформаційних ситуацій, пов'язаних з невизначеністю зовнішнього середовища, запропонована модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності. Для вирішення вказаної проблеми застосовані метод нормалізації; вагомий метод і метод згортки.

Визначені етапи побудови гібридної нейро-нечіткої моделі з виявленням системи пріоритетів суб'єкта. Запропонована модель нейро-нечіткої експертної системи у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS. Завдання аналізу та діагностики мереж зведені до пошуку відхилень від нормального режиму функціонування – мережевих аномалій. Розроблена математична модель обчислень, яка заснована на прецедентах.

Для отримання оптимального потоку навігаційних даних при ІМН застосований спосіб розміщення об'єктів зовнішнього середовища. Вирішення завдання полягає у визначенні у двомірному просторі сумарних довжин зв'язків кожного нерозміщеного об'єкта з уже розміщеними.

#### **Крок 7** (розділ IV, підрозділи 4.1 – 4.4).

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів.

*Механізми реалізації.* Визначені програма експериментальних досліджень запропонованого методу сучасної е-навігації та шляхи виконання апіорної оцінки досліджень. Для здійснення апіорної оцінки застосовані методи математичного моделювання. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 12 тестів. Проведені експериментальні дослідження, їх математична обробка та отримані результати досліджень запропонованого методу сучасної навігації. Проведений порівняльний аналіз експериментальних

досліджень згідно з існуючим та пропонованим методом навігації. Здійснений розрахунок показників та оцінка ефективності пропонованих методів. Так, запропоновані методи дозволяють підвищити точність навігаційних параметрів на 10 %; скоротити час для прийняття рішення з безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити точність розрахунку СКП вихідного сигналу в 4 рази; підвищити ефективність несення навігаційної вахти на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97; річний економічний ефект складає 48 млн. грн, термін окупності капітальних вкладень складає  $\approx 2$  роки; економія палива складає  $\approx 0,3$  т за добу (простої, вибір оптимального маршруту та ін.).

### **Висновки по РОЗДІЛУ 1**

1. Здійснений огляд та аналіз розвитку сучасних систем навігації для вирішення задач управління рухом суден на ВВШ України. Визначена роль річки Дніпро у функціонуванні міжнародного транспортного коридору. Визначені існуючі домінуючі інфраструктурні та технічні фактори, які обмежують навігацію на річці Дніпро. Зведені в таблицю особливості річкового та морського судноводіння. Дана характеристика сучасної системи навігації, яку використовують судноводії при русі суден на річці Дніпро.

2. Визначений порядок отримання інформації для управління судном з використанням Inland ECDIS. Сформульовані умови і вимоги до системи ефективною підтримки прийняття рішень судноводієм і експертної системи.

3. Актуалізований повний перелік основних міжнародних документів, які регламентують установку та експлуатацію Inland ECDIS на річкових суднах. Проведено аналіз сучасного стану функціонування електронно-картографічних навігаційних засобів на водних акваторіях судноводіння.

4. Для визначення напряму дисертаційного дослідження приведений порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS. Крім

того, обґрунтовано, що Inland ECDIS повинна стати ланкою інтегрованої інформаційної системи для управління транспортними потоками на ВВШ.

5. Визначені ключові компоненти інструментального методу навігації на ВВШ України. Встановлено, що теорія функціональної стійкості ІМН передбачає нові підходи щодо вирішення наукової проблеми та включає сукупність логічно пов'язаних між собою основ.

6. Застосовані критерії оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України. Наведені основні відмінності стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості. Показані основні етапи функціональної стійкості ІМН, що включає систему елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання. Розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості ІМН на ВВШ України з використанням математичної моделі у вигляді неорієнтованого графа. Визначені основні критичні фактори, що визначають обмеження руху ВТЗ.

7. Наведені кількісні критерії оцінки функціональної стійкості ІМН, що враховуватимуться для формалізації критеріїв, закладених в логіку функціонування ES.

8. Застосований системний аналіз впровадження інструментального методу навігації на річці Дніпро. Складена загальна схема етапів підвищення ефективності експлуатації ВТЗ, схема компонування системи ІМН. В системному аналізі широко використані неформальні процедури: об'єднання формальних і неформальних методів аналізу і синтезу. На підставі отриманих даних при проведенні системного аналізу використаний комплекс процедур, які спрямовані на формулювання проблемної ситуації, визначення генеральної мети системи, висунення множини альтернатив досягнення цих цілей, які зіставляються з тими чи іншими критеріями ефективності.

9. Здійснений огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження. Відзначено, що публікації, пов'язані з проблемами в застосуванні інструментального методу навігації, дуже обмежені, а деякі її питання досліджені не повністю, поверхово і побіжно. Проаналізовані основні напрями досліджень по

даній проблематиці. Обґрунтовані не розкриті в повному обсязі шляхи вирішення деяких питань підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання. Визначені малодосліджені аспекти процесів їх експлуатації.

10. Складена дорожня карта дисертації з визначенням кроків та механізмів реалізації.

## РОЗДІЛ 2

# МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОГО НАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ

### 2.1. Модель оптимізації структури інструментального методу навігації

Для обґрунтування моделі оптимізації структури ІМН сформулюємо положення, які необхідно застосовувати.

1. Раніше розроблені процеси та відомі технології використовують спрощені лінеаризовані моделі навігаційно-гідрографічного забезпечення безпеки судноплавства. Ці моделі не враховують реальні різноманітні зміни нелінійних багатопараметричних характеристик суден та взаємодію їх з оточуючим середовищем у складних умовах руху на ВВШ, які швидко змінюються [123, 128].

2. Багатокритеріальні вимоги до використання ІМН на ВВШ України, насамперед на стислих габаритних смугах, породжують труднощі з реалізацією обчислювального інтелекту [9].

3. Ефективність системи навігації та управління рухом суден повинна бути адекватна реальній фізичній природі. Це забезпечують новітні нелінійні багатопараметричні моделі, що повинні відображати рух суден на електронній карті у широкому експлуатаційному діапазоні [128].

4. Повинна бути забезпечена можливість автоматизованого відображення індивідуальної судноплавної смуги для судна в залежності від обраної його осадки і дійсного рівня води, а в перспективі можлива відмова від установки берегових і плавучих ЗНО і від лоцманського принципу судноводіння [9].

5. Облік усіх нештатних ситуацій в умовах обмеженого часу – неможлива задача, тому є потреба в покращенні стандартів роботи з ергатичними системами

та вибору ефективного та безпечного шляху для запобігання втратам з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища.

6. Гарантування безпеки судноводіння на ВВШ. Це, перш за все [54]:

- підвищення точності визначення навігаційного місцезнаходження суден;
- контроль точності визначення фактичного запасу глибин під кілем судна;
- формалізація методів перехідних процесів руху суден;
- попередження зіткнень суден;
- врахування характеристик суден за темпом змін обставин в екстремальних умовах.

7. Дотримання вимог виразу (1.1)  $\bar{C} = \bar{G}_R \Delta \bar{G}_S = \bar{G}_R \vee \bar{G}_S$ ,  $\bar{G}_{R_i} \notin \bar{G}_{S_i}$ .

8. На відображуваних в Inland ECDIS електронних картах необхідно значення глибин показувати від реального рівня [50].

9. Використання тільки візуального орієнтування при русі судна в окремих випадках може призвести до аварійних ситуацій.

10. Плаваюча судноплавна обстановка виставляється в залежності від необхідності і складності суднового ходу і служить тільки для орієнтування судноводія, а не для точного визначення місця. Місцезнаходження знаків плаваючої обстановки постійно змінюється [64].

11. Виконання стандартів ІМО, ЄЕК ООН до руху у таких районах щодо точності визначення місця судна ( $M \leq 10$  м) і ймовірності безпечного плавання ( $P_{\text{бн}} = 1 - \exp(-(D_{\text{min}}/M)^2) \geq 95\%$ ).

12. Врахування особливостей роботи AIS, radar, PIS на ВВШ.

13. Inland ECDIS забезпечує високий рівень оцінювання ситуацій і дає обґрунтовані рекомендації для вирішення проблем для автоматичної активації тих чи інших процедур забезпечення безпеки руху в критичних ситуаціях [32].

14. Врахування вимог виразу (1.2) до системи ефективної підтримки прийняття рішень (рис. 1.5).

15. Для функціонування підсистеми  $Z_5$  (рис. 1.5) повинні бути створені умови для отримання системою  $Z$  практично всієї необхідної інформації, а також визначені способи для формування рекомендацій щодо вирішення проблем судноводіння.

16. Підсистема  $Z_5$  повинна включати до складу експертну систему (ES). До ES повинні входити програми не тільки для вироблення рішень, але і програми для їх пояснень [56, 125].

17. Експлуатаційні і технічні вимоги до Inland ECDIS визначені стандартами та резолюціями ЄЕК ООН, Дунайської комісії, Центральної комісії судноплавства по Рейну. Щоб забезпечити відповідність спеціальним умовам плавання по внутрішніх водних шляхах, в Inland ECDIS, порівняно з морськими ECDIS, введено нові функції.

18. Ключові компоненти ІМН на ВВШ України відображені на рис. 1.7.

19. Стійкість функціонування ІМН заснована на аналізі цілого ряду факторів, які в даний час не враховуються у зв'язку з використанням приблизних моделей [7,11,14].

20. Врахування дисертаційних досліджень, що проводяться стосовно вирішення нової проблеми ефективного використання деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS, яка також включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ системи ІМН.

21. Врахування критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи ІМН [7].

22. Функціональна стійкість системи МН характеризує відхилення основних функцій від екранних координат при розрахунковому стані системи [11].

23. Врахування основних етапів функціональної стійкості системи ІМН.

24. Врахування алгоритму реалізації функціональної стійкості системи ІМН на ВВШ України (рис. 1.9) [7,11].

25. Врахування математичної моделі у вигляді неорієнтованого графа [11].

26. Врахування основних критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ.

27. Впровадження ІМН на ВВШ України розглядається як системний об'єкт, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей і процесів [128].

28. Врахування схеми компонування системи (рис. 1.11).

29. Ознаки досліджуваної системи ІМН:

- система в цілому має властивості, яких не має ні один із її складових елементів;
- система поділяється на підсистеми;
- система функціонує в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища на неї, що обумовлює випадковий характер зміни її показників;
- система здійснює цілеспрямований вибір своєї поведінки.

30. Невизначеність системи обумовлена наявністю множини факторів, що не піддаються точній оцінці.

Застосуємо метод групувань, який дає змогу виділити у дисертаційному дослідженні характерні групи за наступними істотними ознаками, що характеризують:

- 1) точність навігаційного місцезнаходження суден на судновому ході;
- 2) автоматизоване відображення дійсного рівня води у SENC;
- 3) дотримання вимог виразу (1.1)  $\bar{C} = \bar{G}_R \Delta \bar{G}_S = \bar{G}_R \vee \bar{G}_S, \quad \bar{G}_R \notin \bar{G}_S;$
- 4) стійкість функціонування ІМН;

5) взаємодію реальних різноманітних змін нелінійних багатопараметричних характеристик суден з оточуючим середовищем у складних умовах руху на ВВШ;

б) надання обґрунтованих рекомендацій щодо вирішення проблем для автоматичної активації процедур в критичних ситуаціях.

Наведені основні положення дозволяють безпосередньо перейти до суті етапів застосування моделі оптимізації структури ІМН.

*Перший етап.* На рівні елементів підсистем ІМН (рис. 1.11) формується множина припустимих їх варіантів. Для виконання цього завдання запропоновані такі способи або їх комбінації [126]:

а) проводиться оптимізація елементів підсистем ІМН у рамках зазначеної на рис. 1.11 біфакторної  $(R_{x,y}, R_h)$  постановки завдань оптимізації при застосуванні встановлених обмежень та виразів (1.9 – 1.12). При цьому, завдання оптимізації вирішується багаторазово для їх різних рівнів. Таким чином, різні рівні застосованих обмежень представляють собою в сукупності області можливого їх варіювання. Оскільки обмеження можуть бути й у вигляді рівностей, тому для вирішення завдань

$$\begin{aligned} \text{extr} A_h \forall A_{x,y} &= A_{x,\text{обр}}, \\ \text{min} A_{x,y} \forall A_h &= A_h \text{ обр} \end{aligned}$$

застосовується використання обчислювального інтелекту, засноване на «нечіткій» логіці, тобто система наближених обчислень залежить лише від простоти відповідного рішення;

б) проводиться аналіз можливих принципів функціонування елементів системи ІМН  $A_{\phi,\lambda}, A_h$  у широкому діапазоні можливих їх параметрів з оцінкою показників (рис. 1.11);

в) проводиться оцінювання  $A_{\phi,\lambda}, A_h$  по показниках, які можуть бути використані в підсистемах ІМН.

*Другий етап.* У рамках біфакторного завдання оптимізації вирішується завдання оптимального вибору структури функціонування параметрів підсистем ІМН зі сформованою множиною припустимих її елементів. Результатом є впорядкована (домінуюча) послідовність просторових координат  $X, Y, H$  [126].

$$\begin{aligned} X(t_0), X(t_1) \dots X(t_n) &\Rightarrow \alpha(T), \beta(T), \dots, \chi(T), \\ Y(t_0), Y(t_1) \dots Y(t_n) &\Rightarrow \alpha(T), \beta(T), \dots, \chi(T), \\ H(t_0), H(t_1) \dots H(t_n) &\Rightarrow \alpha(T), \beta(T), \dots, \chi(T), \end{aligned}$$

де  $\alpha, \beta, \chi$  – нечіткі терми, що характеризують локальні тренди зміни просторових координат  $\Delta X, \Delta Y, \Delta H$ .

*Третій етап.* Далі у рамках завдання оптимізації визначається рівень функціональної ефективності системи ІМН. Розглядаються цільові функції математичних уявлень залежності критеріїв оптимальності від потрібних змін підсистем ІМН, а як обмеження – функціональна ефективність отримання просторових координат для забезпечення безпеки руху всіх класів рухомих об’єктів [126].

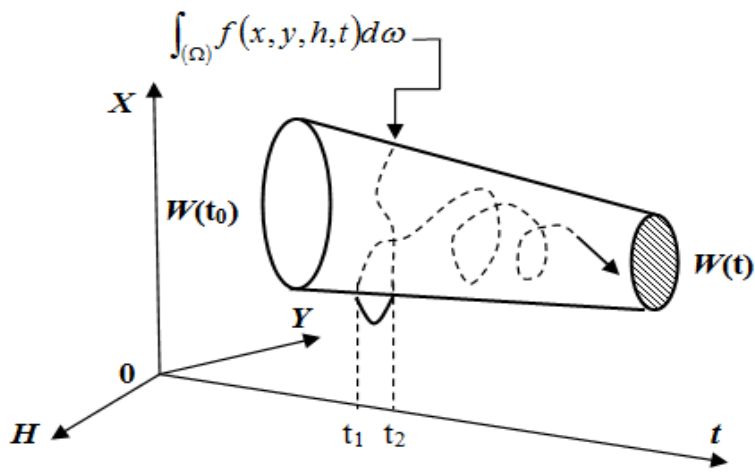


Рис.2.1. Параметрична варіація параметрів ІМН

Процес стабілізації (рис. 2.1) характеризується виходом з області заданої трубки  $W(t)$  [126]. Площа  $W(\tau)$  залежить від  $\tau = t_2 - t_1$  тривалості перехідного процесу (рис. 2.1). На позаштатну зміну стану ІМН здійснюється реакція у вигляді набору керуючих впливів  $u(t)$ , які належать до множини гіпердійсних чисел  $U^*$ , спрямованих на нейтралізацію наслідків за мінімальний час  $\tau$ .  $S(\varepsilon)$  – область безкінечно малого відхилення при русі судна  $\Omega = \{\omega_i\}$ .

$$\left\{ \int_{(\Omega)} f(x, y, h, t) d\omega > W(t_0) \right\} \Rightarrow \{u(t) \in U^* [\delta[w(t), w(\tau)]]\},$$

де  $\delta[w(t), w(\tau)] = \sup\{\rho[z, w(t) \cap w(\tau)], z \in w(t) \cup w(\tau)\}$  – характеризує відстань  $\rho$  у процесах руху судна  $\Omega(x, y, h, \tau, t) \in S(\varepsilon) [w(t)] < \varepsilon$ .

Умова:  $|t - \tau| < \gamma \Rightarrow \delta[w(t), w(\tau)] < \varepsilon$ .

Процеси параметричної стабілізації характеризуємо як етапи забезпечення функціональної стійкості відповідних підсистем ІМН, що якісно працюють у заданих інтервалах варіювання параметрів.

*Четвертий етап.* Визначення доцільності використання потрібних змін та обмежень елементів ІМН здійснюється з визначених на третьому етапі значень  $\text{var}E_h \in R_h \vee \text{var}E_{x,y} \in A_{x,y}$ , які зіставляються з обмеженнями  $\sup E_h \vee \inf E_h, E_{x,y} \vee \inf E_{x,y}$  [126]. Елементи  $\text{var}E_h, \text{var}E_{x,y}$  визначають за результатами 2-го етапу конкретну структуру, стратегію використання й параметри змін до підсистем ІМН, а згідно з результатами 1-го етапу – характеристики їх елементів.

*П'ятий етап.* На заключному етапі оптимізації проводиться аналіз чутливості  $\text{var}E_h, \text{var}E_{x,y}$  до зміни параметрів елементів, підсистем ІМН з метою визначення таких, удосконалення яких може призвести до істотного підвищення ефективності використання Inland ECDIS [126].

Особливостями викладеної моделі є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, обґрунтування змін до підсистем  $P_i$ , зниження рівня суб'єктивізму й підвищення частки формальних прийомів при постановці й вирішенні оптимізаційних завдань, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо. Найбільш специфічний характер мають методи, використовувані на другому й третьому етапах оптимізації.

## **2.2. Навігаційні параметри для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи інструментального методу навігації**

Система ІМН виконує три основні функції, що об'єднуються в єдину систему:

$F_1$  – безпечне плавання ВТЗ,

$F_2$  – точне навігаційне обслуговування у межах задач  $F_1$ ,

$F_3$  – гарантоване адаптивне управління системи ІМН, у тому числі рухом ВТЗ.

$$S(t) \rightarrow F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow F_1 \rightarrow E(t).$$

1) Завдання стабілізації руху судна розглядатимемо на програмних траєкторіях, що відображуються на SENC. У локальній контактній зоні системи ІМН якомога можна визначити лише три стани програмної траєкторії:

$$S'(t) = \begin{cases} S_l, & \varepsilon > \varepsilon_0, \\ S_0, & \varepsilon \in \varepsilon_0, \\ S_n, & \varepsilon < \varepsilon_0, \end{cases} \quad \forall S'(t) \exists ! S_l \vee S_0 \vee S_n : t = t_i, \quad (2.1)$$

де  $S_l$ ,  $S_0$ ,  $S_n$  – множини станів руху на програмній траєкторії (ліворуч, без відхилень, праворуч).

Під час руху ВТЗ при ІМН з урахуванням факторів зовнішнього середовища доцільне вимірювання крім дистанції ще й кутового навігаційного параметру. Причому ефективний закон управління повинен бути адаптований до зовнішніх факторів [8].

Математична модель рухомих об'єктів може бути описана у вигляді лінійного диференціального рівняння другого порядку [126]:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = 0, \quad (2.2)$$

де  $p(x)$ ,  $q(x)$  – раціональні функції відповідно до сил опору.

У виразі (2.2) функції  $p(x)$  та  $q(x)$  пропорційні степеневим залежностям від швидкості руху і особливостям стану локальної контактної зони системи ІМН. Тобто, розглядаючи ВТЗ як елементи ІМН, врахування даних функцій в електронно-картографічній системі (режим прогнозування місця розташування судна) здійснює вплив на функцію  $F_1$ .

Перетворюємо вираз (2.2) у межах заданого інтервалу  $x_{\min} < x < x_{\max}$  [126].

$$x = x_0 \Rightarrow$$

$$y_1 = (x - x_0)^r \phi(x), \quad y_2 = (x - x_0)^{r_1} \phi(x) \lg(x - x_0) + (x - x_0)^{r_2} \psi(x),$$

$$p(x) = \sum_{k=-1}^{\infty} a_k (x - x_0)^k, \quad q(x) = \sum_{k=-2}^{\infty} b_k (x - x_0)^k,$$

$$r(r-1) + a_{-1}r + b_{-2} = 0,$$

$$(r_2 - r_1) > 0 \Rightarrow p(x) = y_1 \vee y_2, \quad q(x) = y_1 \vee y_2,$$

$$(r_2 - r_1) = 0 \Rightarrow r_1 = r_2 = r \Rightarrow p(x) = y_1, \quad q(x) = y_1.$$

$$x \neq x_0 \Rightarrow$$

$$z_1 = \alpha \cdot y_1 + \beta \cdot y_2, \quad z_2 = \gamma \cdot y_1 + \delta \cdot y_2, \quad \alpha\delta - \beta\gamma \neq 0,$$

$$\eta_1 = \frac{y_2}{y_1}, \quad \eta_1 = \frac{\alpha + \beta\eta}{\gamma + \delta\eta}, \quad \frac{3\ddot{\eta}^2 - 2\dot{\eta}\ddot{\eta}}{\dot{\eta}^2} = [p(x)]^2 + 2\dot{p}(2) - 4q(x),$$

$$x = \phi(\eta),$$

де  $x_0$  – особлива точка рівняння (2.2);  $\phi(x)$ ,  $\psi(x)$  – ряди цілих ступенів (позитивних або негативних), побудованих змінною  $(x-x_0)$ ;  $r$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  – обрані цифрові значення для рядів з позитивним ступенем;  $z$  – будь-яка точка, яка відрізняється від  $x_0$ ;  $z_1$ ,  $z_2$  – два незалежних інтеграла, що пов'язані з початковими інтегралами;  $x=\phi(\eta)$  – зворотна функція.

$$t = t_0 \Rightarrow \forall M \in x_0 y \mapsto N \in u_0 v : \begin{cases} U = u(x, y) \\ V = v(x, y) \end{cases}, \quad I = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{vmatrix} \neq 0,$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x},$$

$$I = \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 = \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 > 0,$$

$$\exists! U'(x) \vee U'(y) \vee V'(x) \vee V'(y) \neq 0.$$

де  $I$  – якобіан в певній замкнутій області  $G$  площини  $x_0 y$  ( $G \in x_0 y$ ).

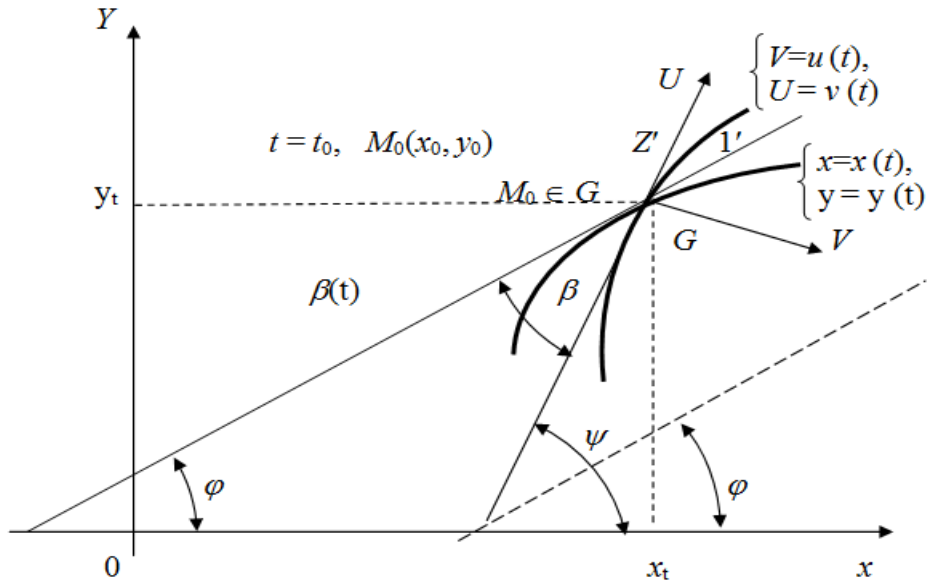


Рис. 2.2. Віртуальні траєкторії локального руху на площині у точці  $(x_t, y_t)$

$$(Рис. 2.2) \Rightarrow \begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V = \bar{u}(t) \\ U = \bar{v}(t) \end{cases}, \quad (2.3)$$

де  $x, y, V, U$  – задані дуги визначених кривих у параметричному вигляді на площинах  $xOy$  та  $uOv$ ,  $t$  – значення часу по ділянках ВВШ.

Далі розглянемо процес вимірювання відхилення від еталонної програмної лінії за допомогою електронно-картографічної системи [126].

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \psi - \operatorname{tg} \phi}{1 + \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \psi}, \quad \operatorname{tg} \phi = \frac{dy}{dx}, \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{dV}{dU}, \quad \beta = \operatorname{arctg} \frac{\frac{dV}{dU} - \frac{dy}{dx}}{1 + \frac{dV}{dU} \cdot \frac{dy}{dx}},$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \left[ \frac{\frac{\frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy}{\frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy} - \frac{dy}{dx}}{1 + \frac{\frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy}{\frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy} \cdot \frac{dy}{dx}} \right] = \operatorname{arctg} \frac{\frac{\partial V}{\partial x} d^2 x + \left( \frac{\partial V}{\partial y} dx dy - \frac{dU}{dx} dx dy \right) - \frac{\partial U}{\partial y} d^2 y}{\frac{\partial U}{\partial x} d^2 x + \left( \frac{\partial U}{\partial y} dx dy + \frac{dV}{dx} dx dy \right) + \frac{\partial V}{\partial y} d^2 y}.$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} dx dy - \frac{dU}{dx} dx dy = 0,$$

$$\frac{\partial U}{\partial y} dx dy + \frac{dV}{dx} dx dy = 0.$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\frac{\partial V}{\partial x}(d^2x + d^2y)}{\frac{\partial U}{\partial x}(d^2x + d^2y)} = \operatorname{arctg} \frac{\frac{\partial V}{\partial x} \frac{\partial x(t)}{\partial t}}{\frac{\partial V}{\partial y} \frac{\partial y(t)}{\partial t}} = -\operatorname{arctg} \frac{\frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial y(t)}{\partial t}}{\frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial x(t)}{\partial t}} \quad (2.4).$$

З виразу (2.4) слідує: кут  $\beta$  в точці  $M_0(x_0, y_0)$  залежить лише від часткових похідних функцій  $U(x, y)$  та  $V(x, y)$ , що обумовлює реальне відхилення фактичної рухомої кривої від прокладеного маршруту в SENC. Зміна кута  $\beta$  є першопричиною відхилення центру мас судна від запланованої кривої. Розрахування значення кута  $\beta$  дозволяє формувати диференційоване оптимальне управління на плановій траєкторії (судновому ході) [8].

2) При ухиленні судна від осі суднового ходу (рис. 2.3)  $Y = Y_{\text{дон}} = M_{\text{дон}}$ ,  $B_{CX} \sim L_M; B_M$  (для ВВШ).

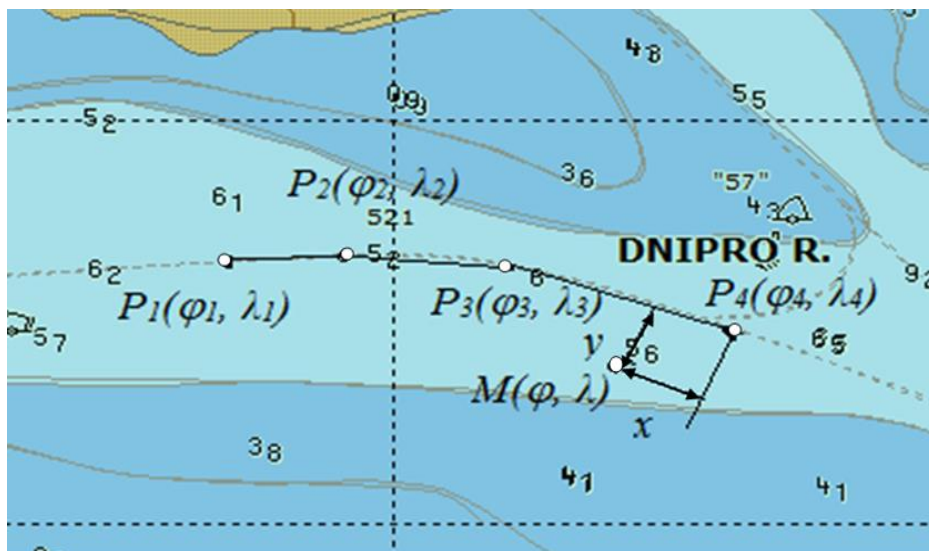


Рис. 2.3. Ілюстрація ухилення судна від осі суднового ходу

При  $B_{CX} \gg B_M$ , використовуючи функцію Лапласа, отримаємо інтеграл ймовірностей [55]

$$P_{\text{відх}} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{B_{CX}/2 - B_M}{X}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad m \approx M \Rightarrow M_{\text{дон}} = \frac{B_{CX}/2 - B_M}{X}, \quad (2.5)$$

де  $X$  – аргумент функції Лапласа за заданою  $P_{\text{відх}}$ .

Зміна допустимої похибки визначення місця судна  $M_0$  залежно від ширини суднового ходу при  $P_{зад}$  показана на рис. 2.4.

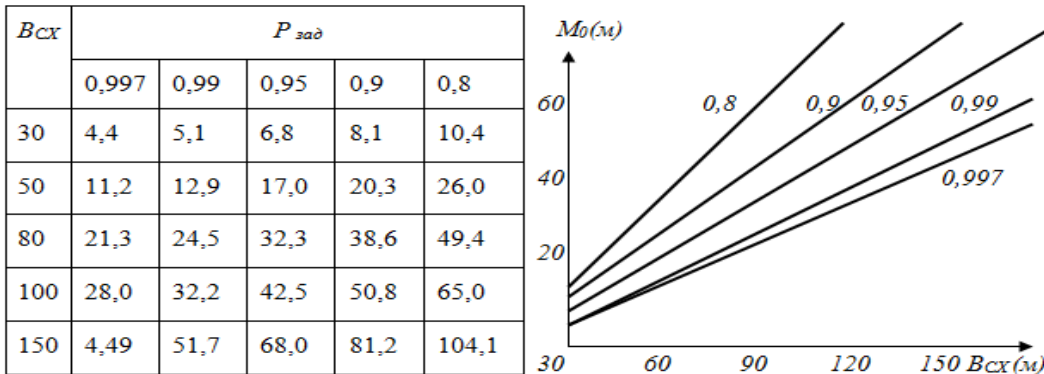


Рис. 2.4. Зміна допустимої похибки визначення місця судна  $M_0$  залежно від ширини суднового ходу  $B_{CX}$  при  $P_{зад}$

3) При сумарному зносі [55]

$$S = \sqrt{L^2 \sin^2 c + B_M^2 \cos^2 c}, \quad c = \text{ПУ} - \text{ІК}, \Rightarrow M_{дон} = \frac{B_{CX} - S}{X}. \quad (2.6)$$

При  $B = 50 \div 100 \text{ м}$ ,  $P_{відх} = 0,95 \Rightarrow M_{дон} = \frac{B_{CX} - S}{X}$ .

При  $B = 20 \div 50 \text{ м}$ ,  $P_{відх} = 0,997 \Rightarrow M_{дон} = \frac{B_{CX} - S}{X}$ .

При звальній течії на крутих поворотах

$B = 20 \div 100 \text{ м}$ ,  $P_{відх} = 0,997 \Rightarrow M_{дон} = \frac{B_{CX} - S - d}{X}$ , де:  $d = V_T \cdot t \cdot \sin q$ .

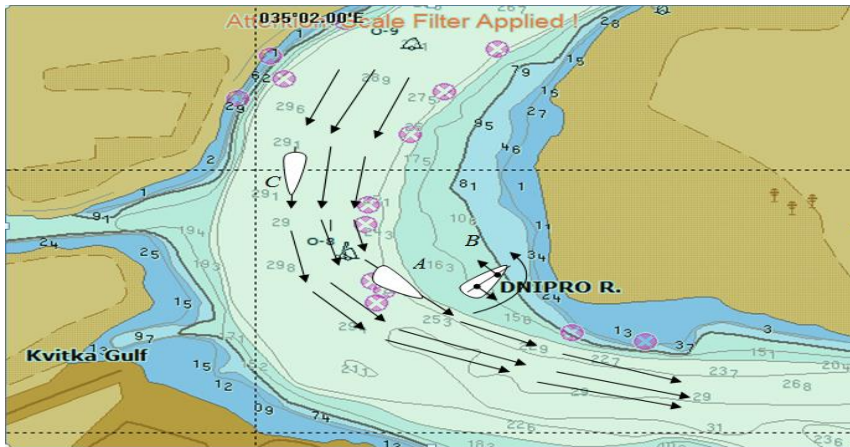


Рис. 2.5. Схема розвороту судна на вигинах річки зі звальною течією

При звивистому руслі річки і звальній течії можуть виникнути ситуації, показані на рис. 2.5.

Для безпечного судноводіння на даній ділянці повинна виконуватися умова  $R_u \approx R_{min}$ , причому  $Y_{don} = f(\omega, K_{CP}, M_{кр}, M_n, M_k, L_n, L_k)$ , де  $R_u, R_{min}$  – радіуси циркуляції судна і закруглення суднового ходу;  $\Omega$  – кутова швидкість повороту судна;  $K_{CP}$  – усереднене значення курсу;  $M_{кр}$  – координати кромки суднового ходу, зняті з ENC;  $M_n, M_k$  – координати носу і корми судна, отримані по GPS;  $L_n, L_k$  – відстань від носу і корми судна до крамок суднового ходу.

Такі ситуації можуть бути виключені шляхом застосування рознесеної в ніс і корму антени DGPS і визначення  $\omega, K_{DGPS}, L_n, L_k$  (рис. 2.6) [33].

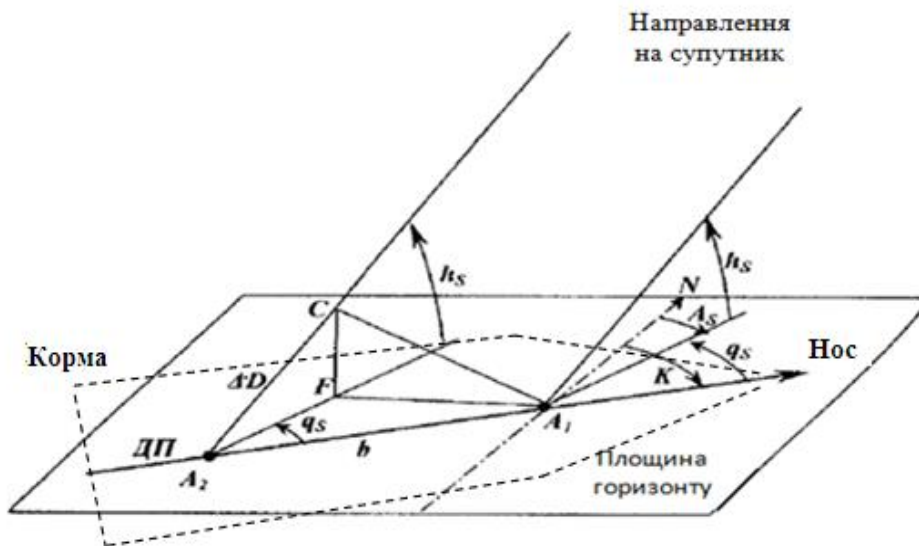


Рис. 2.6. Принцип визначення  $\omega$  і  $K_{DGPS}$  при використанні рознесених в ніс та в корму антен DGPS

$\Delta D = D_{A1} - D_{A2}$ ;  $\Delta D = f(\Delta\Phi) = f(\Delta\psi + n) = f(\Delta\psi)$  – з врахуванням багатозначності.  $\Delta D = \lambda \cdot \Delta\Phi \Rightarrow \Delta D = \lambda \cdot \Delta\psi$ .

$$\left. \begin{array}{l} \Delta D \\ h_s \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A_2 F = \Delta D \cosh_s, \\ q_s = \arccos \frac{A_2 F}{b}, \rightarrow \omega = \frac{d\eta}{dt}, \\ K_{DGPS} = A_s - q_s. \end{array} \right. \quad \text{де } \eta = K_{DGPS1} - K_{DGPS2}. \quad (2.7)$$

Обчислення відстаней від носу і корми судна до кромки суднового ходу пояснюється наступним чином:

$$L_H = M_{KP} - M_H = \sqrt{(\varphi_{KP} - \varphi_H)^2 + \left[ (\lambda_{KP} - \lambda_H) \cdot \cos \frac{\varphi_{KP} + \varphi_H}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{KP} - \varphi_H}{\cos K_1},$$

$$L_K = M_{KP} - M_K = \sqrt{(\varphi_{KP} - \varphi_K)^2 + \left[ (\lambda_{KP} - \lambda_K) \cdot \cos \frac{\varphi_{KP} + \varphi_K}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{KP} - \varphi_K}{\cos K_2},$$

де  $K_1, K_2$  – локсодромічне напрямлення.

Для судна достатньо знання положення всього двох точок, а потім можливо визначати положення будь-якої його точки (рис. 2.7) [127].

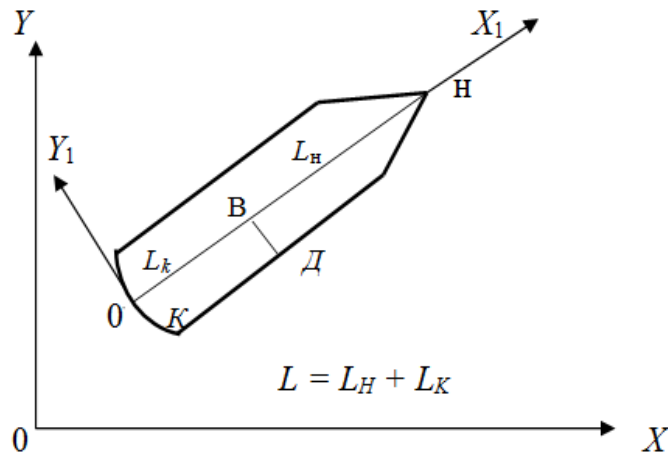


Рис. 2.7. Система координат судна

Введемо відношення відносини:  $\alpha = L_K/L$ ,  $\beta = L_H/L$ ,  $\gamma = \alpha/\beta$

$x_B = (x_H\gamma + x_K)/(1+\gamma)$ ,  $y_B = (y_H\gamma + y_K)/(1+\gamma)$ ,  $\gamma = 0$  (корма),  $\gamma = \infty$  (ніс).

$$y - y_B = -(x - x_B)/K_{ДП}.$$

З урахуванням  $k_1 = -1/k_2 \Rightarrow K_{ДП} = (y_H - y_K)/(x_H - x_K)$ .

$$y_D - y_B = -(x_D - x_B)/K_{ДП}. \quad d^2 = (x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2.$$

$$d^2 - (x_B - x_D)^2 = (x_B - x_D)^2/K_{ДП}^2. \quad x_B - x_D = \pm d(1 + 1/K_{ДП}^2)^{1/2}.$$

Остаточно для координат точки Д судна маємо [127].

$$x_D = (x_K + x_H\gamma)/(1+\gamma) \pm d/L (y_H - y_K),$$

$$y_D = (y_K + y_H\gamma)/(1+\gamma) \pm d/L (x_H - x_K).$$

(2.8)

Знак «±» визначає координату лівого (правого) борту судна. Визначимо математичне сподівання координат  $x_d$  і  $y_d$  та їх відхилення.

$$M(x_d) = (M(x_k) + M(x_h) \gamma)/(1+\gamma) + d/L (M(y_h) - M(y_k)), \quad (2.9)$$

$$M(y_d) = (M(y_k) + M(y_h) \gamma)/(1+\gamma) + d/L (M(x_h) - M(x_k)).$$

$$V_{x_d} = x_d - M(x_d) = (V_{x_h} + V_{x_k} \gamma)/(1+\gamma) + \delta (V_{y_h} - V_{y_k}), \quad \delta = d/L, \quad (2.10)$$

$$V_{y_d} = y_d - M(y_d) = (V_{y_h} + V_{y_k} \gamma)/(1+\gamma) + \delta (V_{x_h} - V_{x_k}), \quad \delta = d/L.$$

Визначаємо кореляційний момент для розрахунку дисперсій координат [127].

$$M_{x_d y_d} = M\{[V_{x_k} V_{y_k} + \gamma V_{x_h} V_{y_k} + \gamma V_{x_h} V_{y_h} + \gamma^2 V_{x_h} V_{y_h}]/(1+\gamma)^2 + \delta^2 [V_{y_h} V_{x_h} - V_{y_k} V_{x_h} - V_{y_h} V_{x_h} + V_{y_k} V_{x_h}] + \delta/(1+\gamma)[V_{x_k} V_{x_h} + \gamma V_{x_h} V_{x_h} - V_{x_h} V_{x_k} - \gamma V_{y_h} V_{y_k} + V_{y_k} V_{y_h} + \gamma V_{y_h} V_{y_h} - V_{y_k} V_{y_k} - \gamma V_{y_h} V_{y_k}]\} = (M_{x_y k} + \gamma^2 M_{x_y h})/(1+\gamma)^2 + \delta^2 (M_{x_y k} + M_{x_y h}) + \delta/(1+\gamma)(\gamma D_{x_h} - D_{x_k} + \gamma D_{y_h} - D_{y_k}).$$

$$V_{x_d}^2 = (V_{x_h} + \gamma V_{x_k})^2/(1+\gamma)^2 + \delta^2 (V_{y_h} - V_{y_k})^2 + 2\delta/(1+\gamma) (V_{x_k} + \gamma V_{x_h})(V_{y_h} - V_{y_k}) = (V_{x_k}^2 + \gamma^2 V_{x_h}^2 + 2\gamma V_{x_k} V_{x_h})/(1+\gamma)^2 + \delta^2 (V_{y_h}^2 + V_{y_k}^2 - 2V_{y_k} V_{y_h}) + 2\delta/(1+\gamma)(V_{x_k} V_{y_h} + \gamma V_{x_h} V_{y_h} - V_{x_k} V_{y_k} - \gamma V_{x_h} V_{y_k}).$$

Отримуємо дисперсії координат [127].

$$D(x_d) = [D(x_k) + \gamma^2 D(x_h)]/(1+\gamma)^2 + \delta^2 [D(y_k) + D(y_h)] + 2\delta/(1+\gamma)[\gamma M_{x_y h} - M_{x_y k}], \quad (2.11)$$

$$D(y_d) = [D(y_k) + \gamma^2 D(y_h)]/(1+\gamma)^2 + \delta^2 [D(x_k) + D(x_h)] + 2\delta/(1+\gamma)[\gamma M_{x_y h} - M_{x_y k}].$$

Визначимо параметри еліпса погрішностей точки  $D$ .

$$\operatorname{tg} 2\alpha = (V_2^2 \sin 2\theta + 2k V_1 V_2 \sin \theta)/(V_1^2 + V_2^2 \cos 2\theta + 2k V_1 V_2 \cos \theta). \quad (2.12)$$

$$a^2(b^2) = 0.5\{(V_1^2 + V_2^2 + 2k V_1 V_2 \cos \theta) \pm [(V_1^2 + V_2^2 \cos 2\theta + 2k V_1 V_2 \cos \theta)^2 + (V_2^2 \sin 2\theta + 2k V_1 V_2 \sin \theta)^2]^{1/2}\},$$

де  $V_1, V_2$  – векторіальні погрішності;  $\alpha$  – кут між великою віссю еліпса і більшою екваторіальною похибкою;  $k$  і  $\theta$  – коефіцієнт кореляції і кут між векторіальними похибками  $V_1$  і  $V_2$  [127].

$$\theta = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} 2\alpha = 2k V_1 V_2 / (V_1^2 - V_2^2), \quad (2.13)$$

$$a^2(b^2) = 0.5\{(V_1^2 + V_2^2) + [(V_1^2 - V_2^2)^2 + (2k V_1 V_2)^2]^{1/2}\}.$$

$$M_{XYD} = kV_1V_2, D(X_D) = V_1^2, D(Y_D) = V_2^2.$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 2M_{XYD} / (D(X_D) - D(Y_D)),$$

$$a^2(b^2) = 0.5 \{ (D(X_D) + D(Y_D)) + [(D(X_D) - D(Y_D))^2 + (2 M_{XYD})^2]^{1/2} \}.$$

$$\text{Корма: } M_{XYK} = 0.5 \operatorname{tg} 2 \alpha_K [D(X_K) - D(Y_K)] = 0.5,$$

$$[D(X_K) - D(Y_K)] = \cos 2\alpha_K (a_K^2 - b_K^2), [D(X_K) + D(Y_K)] = (a_K^2 + b_K^2).$$

$$\text{Ніс: } M_{XYH} = 0.5 \operatorname{tg} 2 \alpha_H [D(X_H) - D(Y_H)] = 0.5,$$

$$[D(X_H) - D(Y_H)] = \cos 2\alpha_H (a_H^2 - b_H^2), [D(X_H) + D(Y_H)] = (a_H^2 + b_H^2),$$

де  $a_K, b_K, \alpha_K$  і  $a_H, b_H, \alpha_H$  – піввісі еліпса і кут нахилу його більшої осі.

Далі отримуємо комбінацію параметрів для розрахунків [127].

$$2M_{XYD} = (a_K^2 - b_K^2) \sin 2 \alpha_K [1/(1 + \gamma)^2 + \delta^2] + \quad (2.14)$$

$$+ (a_H^2 - b_H^2) \sin 2 \alpha_H [\gamma^2/(1 + \gamma)^2 + \delta^2] + 2\delta/(1 + \gamma) [\gamma (a_H^2 + b_H^2) - (a_K^2 + b_K^2)],$$

$$D(X_D) + D(Y_D) = [\gamma^2 (a_H^2 + b_H^2) + (a_K^2 + b_K^2)]/(1 + \gamma)^2 + \delta^2 [(a_H^2 + b_H^2) + \quad (2.15)$$

$$+ (a_K^2 + b_K^2)] + 2\delta/(1 + \gamma) [\gamma (a_H^2 - b_H^2) \sin 2 \alpha_H - (a_K^2 - b_K^2) \sin 2 \alpha_K],$$

$$D(X_D) - D(Y_D) = [1/(1 + \gamma)^2 + \delta^2] (a_K^2 - b_K^2) \cos 2 \alpha_K + \quad (2.16)$$

$$+ [\gamma^2/(1 + \gamma)^2 + \delta^2] (a_K^2 - b_K^2) \sin 2 \alpha_H.$$

Задаючи параметри еліпсів носової і кормової точок будуємо алгоритм і розраховуємо параметри для точок прямолінійного обводу судна. Окремий (частковий) випадок:  $K(\gamma = 0, \delta = 0)$  і  $H(\gamma = 100, \delta = 0)$ .

4) В системі ІМН запропонований двоканальний режим стабілізації отримання навігаційних параметрів на базі Inland, орієнтований на використання зовнішніх та внутрішніх джерел [8]. Запропонована модель (рис. 2.8) відображує реальну ієрархію засобів управління, які взаємопов'язані та взаємозалежні у системі. Усі ці базові функції об'єднуються в єдину систему ІМН, яка перетворює наявні ресурси у цільові ефекти. Слід констатувати, що існуючі відомі традиційні системи навігації (берегова інфраструктура, включаючи ЗНО, суднові навігаційні засоби) не можуть реалізовувати властивості системи ІМН у заздалегідь непередбачуваних екстремальних ситуаціях.

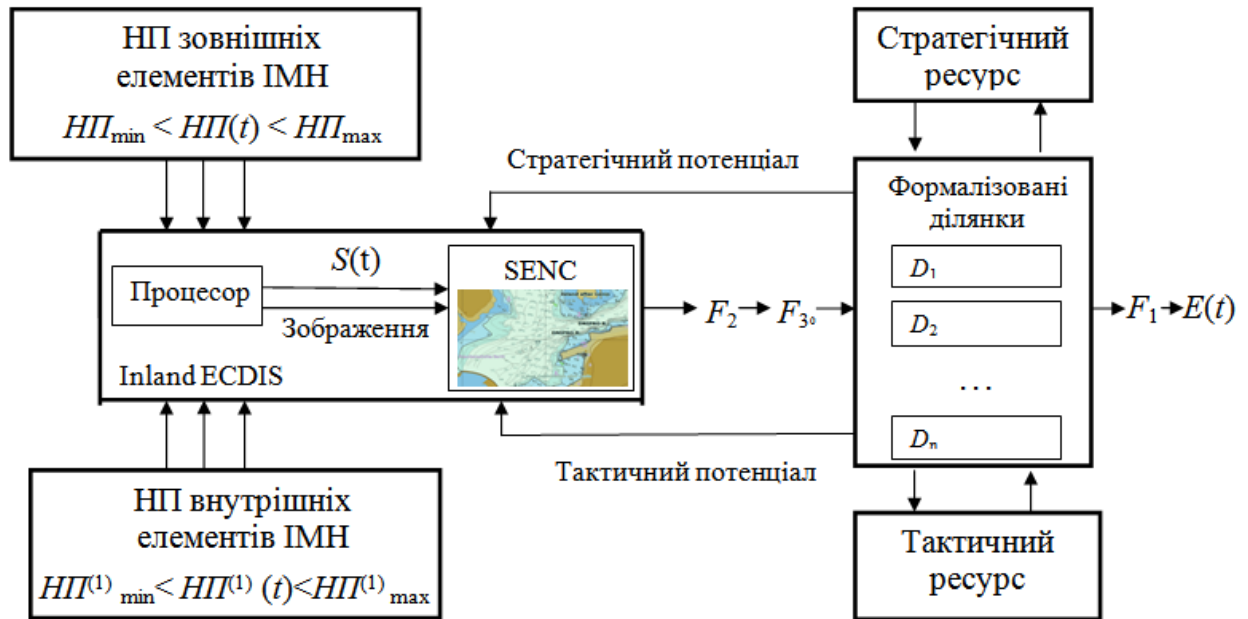


Рис. 2.8. Двоканальний режим стабілізації для отримання навігаційних параметрів на базі Inland

Використовуючи методологію системної оптимізації структури ІМН, запропоновану у підрозділі 2.1, зафіксуємо рівень потенціалу якості НП для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи ІМН.

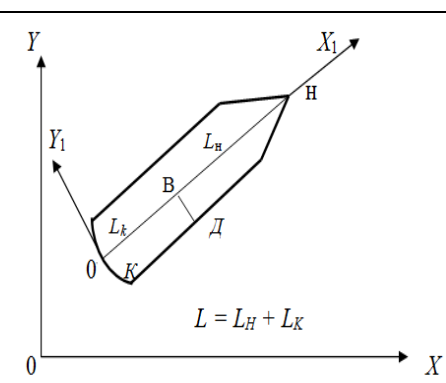
$$НП_{\min} < НП(t) < НП_{\max}, \quad (2.17)$$

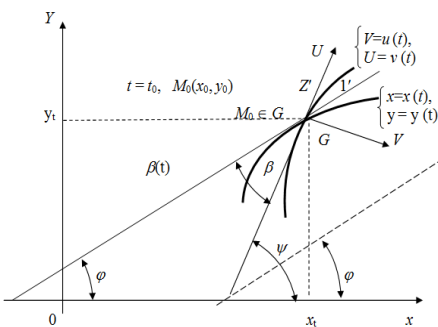
де  $НП_{\min}$  та  $НП_{\max}$  – значення НП, які обґрунтовані та гарантовано забезпечують відповідну якість параметрів управління  $U(t)$  у межах  $F_3$ .

З урахуванням вищевикладеного в таблиці 2.1 наведені НП для виконання поставленої задачі. Слід зазначити, що вибір НП здійснювався із застосуванням штучного інтелекту з використанням елементів нечіткої логіки. На відміну від традиційних систем вживання нечіткої логіки, яка оперує множиною значень, а в окремих випадках є системою наближених обчислень, можна використовувати гібридний підхід, при якому в різних частинах системи функціонують різні обчислювальні моделі, які активно взаємодіють.

Таблиця 2.1

## НП для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості ІМН [8]

№ з/п	НП	Точність	Символьні властивості
1	2	3	4
1	Напрямок (пеленг)	$\Delta D = \frac{m_{\Pi} \cdot d}{57,3 \cdot \sin \Theta} \Big _{\substack{m_{\Pi} \leq 1^0 \\ 30 < \Theta < 150}}$	$M_o = \frac{m_{\Pi}^0}{57,3^{\circ} \cdot \sin \theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2} \leq 10m$ $tg \Pi = \frac{\Delta \lambda \cdot \cos \varphi_m}{\Delta \varphi}$ $\Pi \vee D: f(x_0-0) = f(x_0+0) = f(x_0),$ $\forall x \in R \ x(t) = T_t x(t_0)$
2	Дистанція	$m_D < 10 \text{ м}$ $m_D = \sqrt{\left(\frac{m_{\alpha}}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2} \Big _{\substack{30 < \alpha < 150 \\ m_{\alpha} \leq 1^0 \\ m_h = 0,5 \text{ м}}}$	$M_o = \frac{1}{\sin \theta} \cdot \sqrt{m_{D1}^2 + m_{D2}^2} \leq 10m$ $D \vee \Pi: f(x_0-0) = f(x_0+0) = f(x_0),$ $\forall x \in R \ x(t) = T_t x(t_0)$
3	SENC $A = \{a_x, a_y\}, \quad i = \overline{1, n_a},$ $B = \{b_x, b_y\}, \quad i = \overline{1, n_b},$ $C = \{c_x, c_y\}, \quad i = \overline{1, n_c},$ ...	$\delta_{\alpha} = \text{MAX}_{N \in M, N, M_{i+1}} d(N, M, M_{i+1}) \leq 0,2 \text{ мм}$ $\leq 0,5 \text{ мм}$	$X_i^* - X_i = E_{X_i}, \quad Y_i^* - Y_i = E_{Y_i}, \Delta_i =$ $= \max( E_{X_i} ,  E_{Y_i} ) \approx 0,1 - 0,2 \text{ мм}$ $M(E_{X_i}) = M(E_{Y_i}) = 0$
4	Фактичні глибини $h(t)$	$\Delta z = \Delta z_f + \Delta z_{ИЗМ} + \Delta z_{\alpha} + \Delta z_M, \quad m_{z0} \leq 0,1 \text{ м},$ $m_{z0} = \sqrt{m_{ИЗМ}^2 + m_{zM}^2},$ $\forall M \stackrel{def}{=} \delta_K.$ MM	$h(t) = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B +$ $\underbrace{\quad}_{(C)_{i,j}}$ $+ \underbrace{y_{01BII} + h_{10}}_{const} + \ (\delta y_{01BII})_{i,1}\ .$
5	Сигнали СНС: «ГЛОНАСС», «GPS», «DGPS»	$M_{\text{ГЛОНАСС}} = 20 \div 35 \text{ м}$ $M_{\text{GPS}} = 36 \text{ м}$ $M_{\text{DGPS}} = 3 \div 5 \text{ м}$ при $P = 95\%$	$M_{\text{ОПР}} = m_p \sec h_{cp} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} = m_p \cdot \Gamma,$ $\sec h_{cp} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} = \Gamma,$ $1,5 < \Gamma < 5$
6	Положення точок розміщення антен GPS на судні	 $m \leq 0,05 \text{ м.}$	Символьні властивості відповідно до виразів (2.8 – 2.16)

1	2	3	4
7	Математична модель руху судна	$M_{\text{рух}} = M_0 < 10 \text{ м}$ $S'(t) = \begin{cases} S_n, & \varepsilon > \varepsilon_0, \\ S_0, & \varepsilon \in \varepsilon_0, \\ S_n, & \varepsilon < \varepsilon_0, \end{cases}$ $\forall S'(t) \forall! S_n \vee S_0 \vee S_{II} : t = t_i.$	$\frac{d^2 y}{dx^2} + p(x) \frac{dy}{dx} + q(x)y = 0,$ $t = t_0 \Rightarrow \forall M \in x0y \mapsto N \in u0v : \begin{cases} U = u(x, y) \\ V = v(x, y) \end{cases}$ $I = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{vmatrix} \neq 0, I = \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 > 0.$
8	Кут $\beta$	$m\beta \leq 1^0$ 	$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V = \vec{u}(t) \\ U = \vec{v}(t) \end{cases}$ $\beta = \arctg \frac{\frac{\partial V}{\partial x} \frac{\partial x(t)}{\partial t}}{\frac{\partial V}{\partial y} \frac{\partial y(t)}{\partial t}} = -\arctg \frac{\frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial y(t)}{\partial t}}{\frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial x(t)}{\partial t}}.$ $\beta = f[U'(x, y) \& V'(x, y)]$
9	Автоматична коректура SENC або ручна від PIC	$\delta_u = \text{MAX}_{N \in M, N, M_{i+1}} d(N, M, M_{i+1}) \leq 0,2 \text{ мм}$ $\leq 0,5 \text{ мм}$	$\delta_k$ $X_i^* - X_i = E_{Xi}, Y_i^* - Y_i = E_{Yi}, A_i =$ $= \max( E_{Xi} ,  E_{Yi} ) \approx 0,1 - 0,2 \text{ мм}$ $M(E_{Xi}) = M(E_{Yi}) = 0$

### 2.3. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах

Найважливішим елементом ІМН на ВВШ України є система відображення фактичних глибин на електронній карті. Дослідження та розв'язання актуальної задачі полягає в диференційованому відображенні фактичних глибин на SENC Inland ECDIS. Сьогодні головна відмінна особливість ВВШ України полягає в нестабільності глибин, русел річок і характеристик водних потоків.

Так, наприклад, на річці Дніпро суттєві зміни суднового ходу можуть спостерігатися протягом однієї навігації. При цьому, подібним переформовуванням річкового русла властива випадковість і неоднорідність глибин [128].

Слід враховувати, що для автоматизованого показу фактичних глибин на SENC в Inland ECDIS різниця висот миттєвого рівня в 2-х крайніх точках зони дії водомірних постів не повинна перевищувати половини точності вимірювання і нанесення глибин на карту [82]. Усунення наявної невизначеності можна здійснити тільки умовною розбивкою на зони  $k_3$  у межах дії водомірних постів.

$$k_3 = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2}, \quad (2.18)$$

де  $h_2 - h_1$  – різниця перевищень миттєвого рівня між постами;  $m_{z0}$  – загальна погрішність глибини, показаної на карті.

Зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна описуємо у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь [13, 154].

Поведінка цілісної моделі  $S$  визначається як послідовність станів у неперервному інтервалі системного часу. Кожний з можливих експлуатаційних станів має поточну тривалість часу  $t_{0i} \leq t_i \leq t_{0j} + T_i$ .

Зміна ситуацій  $S_i \rightarrow S_j$  за стислий перехідний момент часу визначається як дискретний процес відповідно до логіко-динамічного алгоритму переходу згідно з фіксованими умовами поведінки [9]. Використовуємо системи координат:

$XOY$  – висотна система координат SENC в абсолютній системі висот;

$X_1O_1Y$  – висотна система координат відносно нуля глибин ВП.  $H_0 \in y(0) = 0$ ;

$X_2O_2Y$  – висотна система координат відносно рівня води 1ВП.  $h_1 \in y(0) = 0$ ;

$y = f(x)$  – функція ( $n = 1$ ) зміни рівня води у системі координат  $X_2O_2Y$ ;

$z = f(x, y)$  – функція ( $n = 2$ ) зміни рівня води у системі координат  $X_2O_2Y$ .

$$\{\forall R_{(X_2O_2Y)} \in R_{(X_1O_1Y)} : R_{(X_1O_1Y)} \in R_{(XOY)}\},$$

$$\forall R_{(X_2O_2Y)} = R_{(X_1O_1Y)} \cap R_{(XOY)}, \quad \exists ! R_{(XOY)} \forall \text{ВП.}$$

$$\begin{aligned} (\bar{Y} = \sup \{R_{(XOY)}\}) &\stackrel{def}{=} (\exists M \in R) (\forall Y \in \{R_{(XOY)}\} : Y \leq M), \\ (\underline{Y} = \inf \{R_{XOE}\}) &\stackrel{def}{=} (\exists m \in R) (\forall Y \in \{R_{XOE}\} : Y \geq m). \end{aligned}$$

На всіх системах координат визначаємо верхній  $M$  (ВСР) і нижній  $m$  (НСР) судноплавні рівні.

Розв'язання задачі щодо зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку для автоматизації засобів електронно-картографічної навігації потребувало її декомпозиції на ряд окремих кроків і визначення відповідних математичних прийомів для їх вирішення [9].

Крок 1. Для знаходження поправок до вимірних глибин, що змінюються за часом  $t_i$ , спочатку доцільно використовувати рухому відносну систему координат  $X_2O_2Y$  відносно рівня води 1ВП за умови:

- $h_1 \in y(0) = 0, y_{x2} \geq 0$ , тобто  $O_2 \in X_2O_2Y$  – миттєвий рівень води 1ВП;
- зміни по вісі абсцис  $X_2 \equiv x(t) \Leftrightarrow y(t)$  є функцією часу;
- положення точок на  $y = f(x)$  залежать від різниці показів миттєвих рівнів води ВП і положення судна у зоні їх дії.

Функція  $y = f(x) = F(x(t))$  є:

- складною функцією від  $t$ , причому за правилом диференціювання складної функції  $(x(t))' = x'(t)'$ ;
- неявною функцією, що задана виразом  $F(x, y) = 0$  при  $F(x, f(x)) \equiv 0$ .

Слід зазначити, що у системі координат  $X_2O_2Y$   $x$  і  $y$  задані функціями від змінної  $t$ :  $x = x(t), y = y(t)$ , тобто вираз  $y = y(x)$  є параметрично заданою функцією в інтервалі  $x \in (O_2; E)$ . У цьому інтервалі рівняння  $x = x(t)$  можна виразити у вигляді  $t = t(x)$  і визначити функцію  $y = y(t(x)) = y(x)$ .

З огляду на вищезазначене вираз  $y = f(x)$  можна представити у вигляді диференціального рівняння першого порядку  $x \cdot y' = y$  [37]. Загальний інтеграл:

$$y' = \frac{dy}{dx} \Rightarrow x \cdot \frac{dy}{dx} = y \Rightarrow \frac{dy}{y} = \frac{dx}{x} \Rightarrow \int \frac{dy}{y} = \int \frac{dx}{x} \Rightarrow \ln|y| = \ln|x| + C \Rightarrow \ln|y| = \ln|x| + \ln|C|.$$

Загальне вирішення функції у явному вигляді:

$$y = Cx. \quad (2.19),$$

Надаючи  $C$  різні значення  $\{C_0, C_1, C_2 \dots C_n\}$ , можна отримати в SENC достатню послідовність окремих рішень диференціального рівняння для відображення деталізованого банку глибин при русі судна. Таку множину функцій можна реалізувати в Inland ECDIS за допомогою матричного обчислення.

У неперервному інтервалі системного часу у межах дискретного процесу згідно з фіксованими умовами поведінки однієї змінної  $x$  отримуємо:  
 $y = Cx \quad \text{if } C = \text{const} \Rightarrow z_i - z_j = \text{const}.$

Крок 2. Використовуємо систему координат  $X_2O_2Y$ . Слід зазначити, що на практиці різниця показів рівнів води по ВП  $z_i - z_j \neq \text{const}$ . З урахуванням того, що прирости змін функції є двома незалежними змінними (рух судна і різниця показів ВП), то зміни точок по осях абсцис і ординат описуються функцією двох незалежних змінних  $z = f(x, y)$  з фіксованою декартовою системою координат.

Припустимо, що її аргументи  $x$  і  $y$  отримують прирости  $\Delta x$  і  $\Delta y$ , тоді функція  $z = f(x, y)$  отримує повний приріст  $\Delta z = f(x + \Delta x, y + \Delta y) - f(x, y)$  [37, 154].

Геометрично повний приріст  $\Delta z$  дорівнює збільшенню аплікати графіка функції  $f(x, y)$  при переході від точки  $B(x, y)$  у точку  $B^{(1)}(x + \Delta x, y + \Delta y)$ . Функція  $z = f(x, y)$  є диференційованою в точці  $B(x, y)$ , так як її повний приріст  $\Delta z$  можна представити у вигляді  $\Delta z = B_i(x, y)\Delta x + B_j(x, y)\Delta y + O(\rho)$ ,

де  $\rho = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ ,  $O(\rho)$  – нескінченно мала величина вищого порядку.

Враховуючи, що  $z = f(x, y)$  диференційована в цій точці, тоді

$$dz = B_i(x, y)\Delta x + B_j(x, y)\Delta y.$$

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) \approx f(x, y) + dz = f(x, y) + f'_x(x, y)dx + f'_y(x, y)dy.$$

Функція  $z = f(x, y)$  у системі координат  $X_2O_2Y$  є складною функцією, тоді, використовуючи властивість інваріантності формули повного диференціала, отримуємо [37, 154].

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy.$$

Таким чином, загальне рішення диференціального рівняння першого порядку з двома змінними ( $n = 2$ ) матиме вигляд:

$$X_2O_2Y \Rightarrow z = Cx(t) + k\delta h(t)x(t) = k\overbrace{(C + \delta h(t))} \cdot x(t), \quad \delta h_i \equiv \delta(h_2 - h_1),$$

де  $\delta h_i$  – миттєва різниця рівнів води по ВП у системі координат  $X_2O_2Y$ ,

$$k = \begin{cases} 0, & \text{при } |\Delta h_i| \leq \frac{\varepsilon}{2}; \\ \text{round } \frac{2 \cdot |\Delta h_i|}{\varepsilon}, & \text{при } |\Delta h_i| > \frac{\varepsilon}{2}, \quad m(\text{НСР}) < k \cdot (C_i + \Delta h_i)x_i < M(\text{ВСП}). \end{cases}$$

Крок 3. Перейдемо до знаходження поправок  $h$  до вимірних глибин, що змінюються за часом  $t_i$ , у відносній системі координат  $X_1O_1Y$  [9].

Центр  $O_1$  системи координат  $X_1O_1Y$  є нуль глибин 1ВП на осі суднового ходу. Причому нулі глибин 1ВП і 2ВП співпадають. Положення рухомої системи координат  $X_2O_2Y$  змінюється відносно  $X_1O_1Y$  тільки по осі ординат  $Y$ . У даному випадку ( $n = 3$ ) функція трьох змінних  $h = f(x, y, z)$  з фіксованою декартовою системою координат належить до точок площини  $X_1O_1Y$ . Аналогічно до кроків 1, 2 визначимо загальне рішення функції  $h = f(x, y, z)$ :

$$X_1O_1Y \Rightarrow h = \overbrace{(C + k\delta h(t))} \cdot x(t) + h_1(t), \quad (2.20)$$

де  $h_1$  – миттєвий рівень води по 1ВП у системі координат  $X_1O_1Y$ ;

$\delta h_i$  – миттєва різниця рівнів води по ВП у системі координат  $X_1O_1Y$ .

$$\delta h_i = (X_2O_2Y \cap X_1O_1Y) : (X_2O_2Y \subseteq X_1O_1Y).$$

Крок 4. Розглянемо поведінку функції трьох змінних  $h = f(x, y, z)$  у системі координат карти  $XOY$ . Обов'язкові умови, які повинні дотримуватися:

висотна основа ENC в абсолютній системі висот повинна бути єдиною;

$$\text{dom} \forall R \in Y(0) = \text{const};$$

система координат  $X_1O_1Y$  нерухома відносно  $XOY \supseteq X_1O_1Y$ ;

$$\text{dom} (h = f(x, y, z)) \in X_1O_1Y \wedge XOY;$$

$$\bar{Y} = X_1O_1Y \cap XOY, \quad \underline{Y} = X_1O_1Y \cap XOY, \quad \text{при умовах} \quad Y \leq \bar{Y}, \quad Y \geq \underline{Y}.$$

Враховуючи вищевикладене, використовуючи вираз (2.20) і встановлені обмеження  $0 < M_{\text{визн}} \leq 5$  м визначаємо формулу для усунення невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна

$$X O Y \Rightarrow h(t) = k \overbrace{(C + \delta h(t))} . x(t) + h_1(t). \quad (2.21)$$

Вираз (2.21) визначає диференціальні поправки  $h(t)$  до вимірних глибин, які позначені на SENC, і може служити основою для їх автоматизованого визначення.

Для інтелектуальної обробки потоку даних застосовані символно-формалізовані перетворення Лапласа [9]. Вираз (2.21) представимо у вигляді двох незалежних змінних, пов'язаних часом  $t$ :  $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$ .

Перетворенням першої і другої складової  $f_1(t)$  і  $f_2(t)$  одержуємо повний вираз для отримання диференціальних поправок  $h(t)$  до вимірних глибин, які позначені на SENC [9]

$$h(t) = \frac{1}{\underbrace{\det(pE - A)}_{(C)_{i,j}}} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01\text{ВП}} + h_{10}}_{\text{const}} + \|(\delta y_{01\text{ВП}})_{i,1}\|. \quad (2.22)$$

Отриманий вираз (2.22) є результатом інтелектуальної обробки потоку даних від водомірних постів (ВП) за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна (з використанням: матриці стану  $A$ , одиничної матриці  $E$ , характеристичної матриці  $(pE - A)$ , степеневого поліному змінної Лапласа  $p$  порядку  $n$   $\det(pE - A)$ , союзної матриці  $S(p)$ , значень рівня води  $y_{01\text{ВП}}$ , нуля глибин  $h_{10}$  і відхилень від нього  $\delta y_{01\text{ВП}}$ ) та означає повний вираз для отримання диференціальних поправок  $h(t)$  до глибин, які позначені на SENC. Тим самим усувається невизначеність ситуаційної динаміки у  $n$ -мірному просторі руху судна.

Застосуванням моделі «чорного ящика» обґрунтовується, що ця підсистема відособлена і пов'язана з зовнішнім середовищем через сукупність входів  $y_{1(t)}$  і виходів  $y_{k(t)}$  [9]. Виходи моделі «чорного ящика» описують результати діяльності підсистеми, а входи – ресурси і обмеження (рис. 2.9).

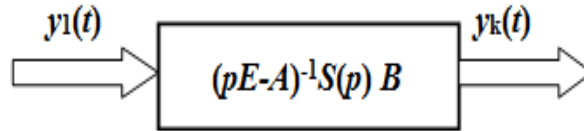


Рис. 2.9. Скалярна передаточна функція підсистеми автоматизованого показу глибин для дійсного рівня води в Inland ECDIS

Таким чином, з урахуванням ефективності функціонування берегової інфраструктури та Inland ECDIS, розподіл функцій для автоматизованого отримання диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на SENC, полягає в надходженні даних від водомірних постів, що характеризуються виразом  $y_{1ВП} = f(h_{01ВП}, \delta y_{01ВП})$ ,  $y_{2ВП} = f(h_{02ВП}, \delta y_{02ВП})$  [128].

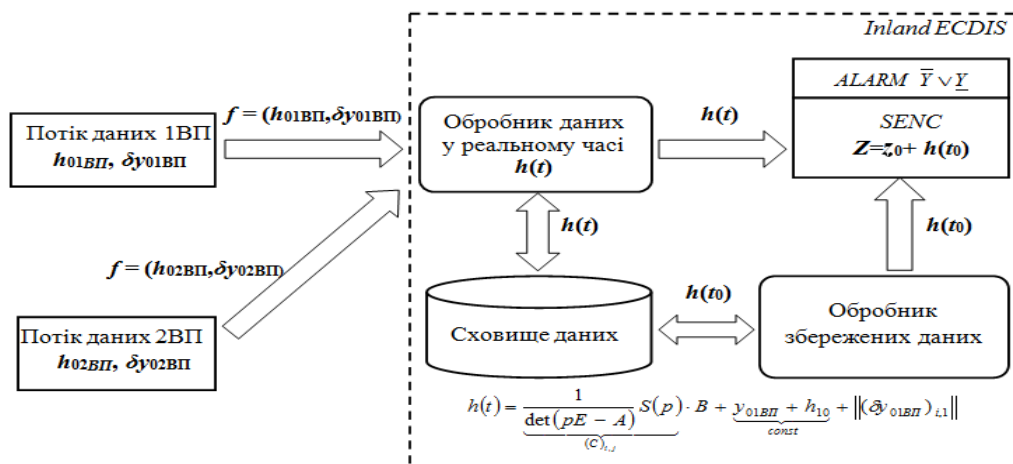


Рис. 2.10. Концептуальна модель системної архітектури отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від ВП

Особливістю викладеного методу є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо. Наведені вище математичні вирази включають сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних основ щодо усунення невизначеності ситуаційної динаміки у  $n$ -мірному просторі і вирішення нової наукової проблеми.

## 2.4. Метод розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС

Обов'язковою умовою роботи Inland ECDIS в навігаційному режимі є взаємодія з Inland radar. У даному випадку radar крім основного завдання визначення навігаційних параметрів (P & D) відносно радіолокаційних об'єктів виконує функцію суміщення radar-зображення з SENC. Така функція radar необхідна, перш за все, для контролю точності SENC (ENC) і точності показань GPS або інших систем позиціонування при річковому судноводінні. Розроблені провідними вченими процедури суміщення radar-зображення з SENC, як правило, ґрунтуються на геометричних відмінностях, що в ряді випадків призводить до втрати оператором Inland ECDIS інформації про взаємне розміщення суміщуваних зображень. Інші напрями обробки РЛЗ є малодослідженими. Відмінна особливість існуючих процедур обробки даних полягає в пошуку і перевірці оператором точок суміщення, що вирізняється великою трудомісткістю і вимагає певної кваліфікації.

Виходячи з наукової задачі дисертаційного дослідження щодо застосування ІМН необхідним є використання додаткової інформації, яка є ключовою для подальшої автоматизованої обробки РЛЗ. Причому, одночасно необхідно розглядати питання і про підвищення точності нанесення вимірних P & D Inland radar на SENC, так як інформативність нанесення показань залежить від зміни рівня води на ВВШ ( $\bar{G}_{R5}$ , таблиця 1.1).

Запропонований метод полягає у формуванні, послідовному (seq – sequence) накладенні і відображенні на дисплеї трьох елементів [4]:

- статичного зображення SENC (змінна *Map*);
- первинного відображення РЛЗ (змінна *Radar*);
- обробленого відображення змінних *Map & Radar* (змінна *Targets*).

Умова:

$$F(\text{seq}) \geq F(\text{ant}),$$

де  $F(\text{seq})$  – частота послідовного накладення і відображення на дисплеї трьох елементів *Map, Radar, Targets*,  $F(\text{ant})$  – частота обертання антени radar.

Причому, зображення  $\text{SENC} = \text{const}$  (змінюється тільки у результаті дії оператора), РЛЗ – результат первинної і вторинної обробки radar-інформації. Первинна обробка radar-інформації відбувається в результаті перетворення матриці амплітуд *відображеного ехо-сигналу*, а вторинна обробка формується за результатами вторинної обробки матриці амплітуд і оновлюється по мірі уточнення координат РЛ-об'єктів.

Таким чином виконується послідовність формування пам'яті Inland ECDIS при трьох оборотах антени radar [4].:

*Map* (1-й оборот) → операція *and* → *Radar* (2-й оборот) → операція *and* → *Targets* (3-й оборот).



Рис. 2.11. Ділянка акваторії Tallinn Bay (Baltic sea)

Формування векторної *ENC* включає зображення картографічної інформації у вигляді набору множин [4]

$$\begin{aligned}
 A &= \{a_x, a_y\}, & i &= \overline{1, n_a}, \\
 B &= \{b_x, b_y\}, & i &= \overline{1, n_b}, \\
 C &= \{c_x, c_y\}, & i &= \overline{1, n_c}, \\
 & & & \dots
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

де:  $a_x, a_y, b_x, b_y, c_x, c_y$  – відносні координати елементів картографічних об'єктів, за якими здійснюється векторизація ліній;  $i = \overline{1, n_\alpha}, i = \overline{1, n_\beta}$  –  $j$ -й дискрет по дальності.

З огляду на постійні зміни рівня води, що впливають на радіолокаційне зображення берегової лінії (див.  $\bar{G}_{R5}$ , таблиця 1.1), вираз (2.23) доповнюється коефіцієнтами радіолокаційного відображення  $\delta$ . Це дозволяє більш точно суміщати radar-зображення з SENC. Величина цих коефіцієнтів розраховується гідрографічною службою за результатами оплавування і вводиться в матрицю Inland ENC.

Тоді: вираз (2.3)  $\rightarrow$  матриця-тензор (2.4) [4]

$$T = \left\| \left\| \begin{array}{c} \left\| x \right\| \\ \left\| y \right\| \\ \delta_{0,0} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} \left\| x + d \right\| \\ \left\| y \right\| \\ \delta_{0,1} \end{array} \right\| \dots \left\| \begin{array}{c} \left\| x + Md \right\| \\ \left\| y \right\| \\ \delta_{0,M} \end{array} \right\| \right\|, \tag{2.24}$$

$$\left\| \begin{array}{c} \left\| x \right\| \\ \left\| y + d \right\| \\ \delta_{1,0} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} \left\| x + d \right\| \\ \left\| y + d \right\| \\ \delta_{1,1} \end{array} \right\| \dots \left\| \begin{array}{c} \left\| x + Md \right\| \\ \left\| y + d \right\| \\ \delta_{1,M} \end{array} \right\| \\
 \vdots \\
 \left\| \begin{array}{c} \left\| x \right\| \\ \left\| y + Nd \right\| \\ \delta_{N,0} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} \left\| x + d \right\| \\ \left\| y + Nd \right\| \\ \delta_{N,1} \end{array} \right\| \dots \left\| \begin{array}{c} \left\| x + Md \right\| \\ \left\| y + Nd \right\| \\ \delta_{N,M} \end{array} \right\|$$

де  $T$  – тензор у вигляді трьох  $(N+1) \times (M+1)$  – мірних матриць;

$d$  – крок карти, який визначає її точність;

$X$  з компонентами  $(x+jd), j=0\dots M$  – координати на осі  $OX$  (напрямок до  $N$ );

$Y$  з компонентами  $(y+kd), k=0\dots N$  – координати на осі  $OY$  (напрямок до  $E$ );

$\delta_{i,k}$  – коефіцієнти відображення.

Кожний елемент тензора  $T$  – трикомпонентний. При  $d \rightarrow d_{min}$  SENC стає більш достовірною [4].

Для більш детального обґрунтування елементів матриці  $T$  елементи  $Z$  з компонентами  $z_{i,k}$  не показані. Введення абсолютної висоти точок елементів SENC розглянуто у запропонованому методі реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах (підрозділ 2.3).

При наявності в SENC картографічних об'єктів з підвищеною ефективною поверхнею відображення, до яких відносяться мости, берегові орієнтири, дамби, установлені кутові відбивачі, автоматично здійснюється прив'язка об'єктів до точки позиціонування судна. Це особливо актуально за складних умов навігації при попаданні судна у тіньову область прийому сигналів GPS.

Формування  $PLZ$  здійснюється шляхом обробки первинної радіолокаційної інформації, яка представляє собою матрицю амплітуд  $R$ , які порівнюються з порогом візуалізації  $p$  [4]. Умови формування:  $R_{ij} < p_{ij} \ \& \ R_{ij} > p_{ij}$  (рис. 2.12).

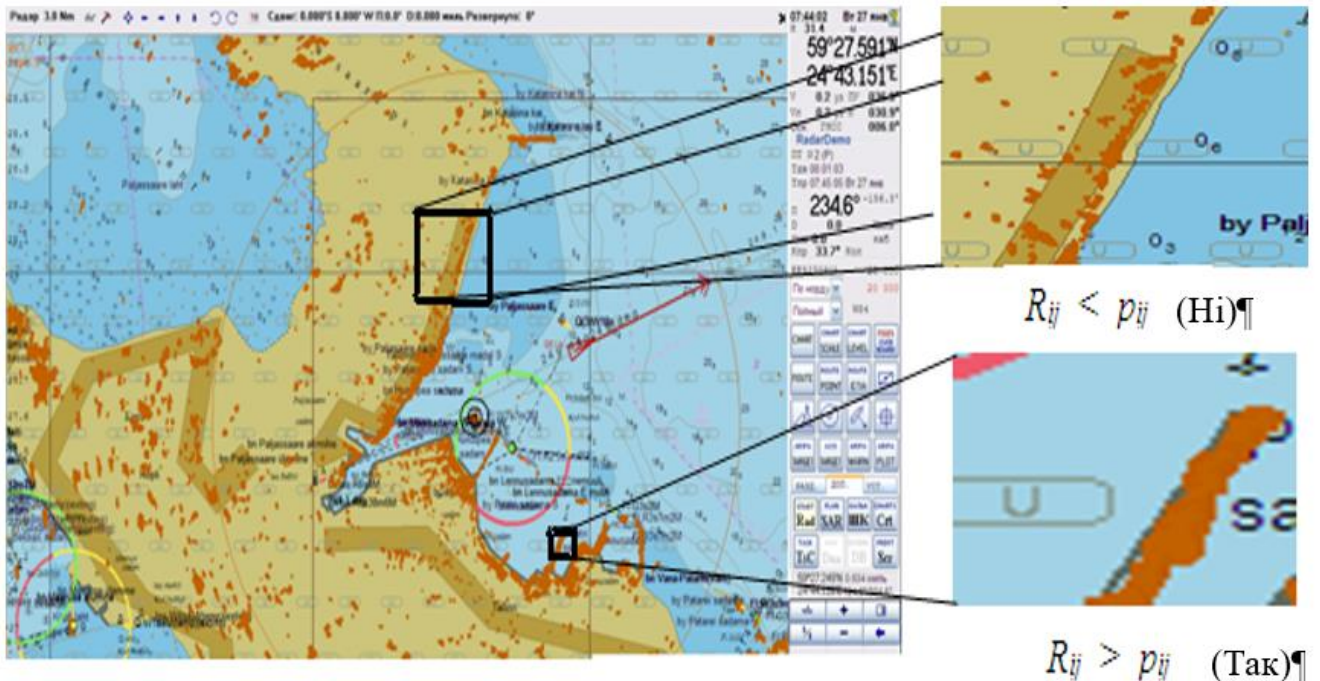


Рис. 2.12. Порогово-амплітудний принцип візуалізації radar-зображення на SENC

На рисунку показані відображення  $i = \overline{1, n_\alpha}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$  при  $R_{ij} > p_{ij}$  &  $R_{ij} > p_{ij}$ .

Слід зазначити, що зображення  $i = \overline{1, n_\alpha}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$  залежать від масштабу  $\mu$  SENC. Причому, з огляду на застосування Inland ENC (векторних карт) при зображенні  $i = \overline{1, n_\alpha}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$  використовуються точки, кола, відрізки локсодромій з координатами  $x(i,j)$ ,  $y(i,j)$ .

$$x(i, j) = c_x - (j \cdot \delta\beta \cdot \sin(i \cdot \delta\alpha) / \mu), \quad (2.25)$$

$$y(i, j) = c_y - (j \cdot \delta\beta \cdot \cos(i \cdot \delta\alpha) / \mu), \quad (2.26)$$

де  $c_x$ ,  $c_y$  – координати точки, визначені radar.

Необхідно враховувати, що особливістю роботи Inland radar є залежність прийнятих сигналів від ефективної поверхні відбиття РЛ-об'єктів, підстильної поверхні (водна поверхня, хвилювання), завад та інш.

Звідси слідує важливість оптимального встановлення порогів візуалізації  $p_{ij}$ .

Для чого позначимо:

- $p_{ij} = c$  – постійний поріг візуалізації для усіх  $i, j$ ;
- $p_{ij} = a / i^2 + b$  – самонастроюваний (адаптивний) поріг візуалізації.

Задачею дисертаційних досліджень є автоматизація роботи Inland ECDIS, в тому числі обробки даних, що надходять від radar. Тому замість вибірки коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  і  $c$  оператором в ручному режимі повинна бути реалізована автоматична оптимізуюча процедура для постійного і адаптивного порогів візуалізації.

Використовуючи число дискретів  $n_\beta$ , число дискретів, для яких  $R_{ij} < p_{ij}$  і максимальні значення  $a$ ,  $b$ ,  $c$ :  $b_{\max} = c_{\max} = \max_i (R_{ij})$  &  $a_{\max} = \max_i ((R_{ij} - b) \cdot i^2)$  отримуємо вираз, що дозволяє знаходити значення візуалізуючих коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  досить швидко і ефективно:

$$\frac{\partial(u(c)/n_\beta)}{\partial(c/c_{\max})} = 1, \quad \frac{\partial^2(u(c)/n_\beta)}{\partial(c/c_{\max})^2} < 0 \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(b/b_{\max})} = 1, \quad \frac{\partial^2(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(b/b_{\max})^2} < 0$$

$$\frac{\partial(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(a/a_{\max})} = 1, \quad \frac{\partial^2(u(a,b)/n_\beta)}{\partial(a/a_{\max})^2} < 0 \quad (2.28)$$

Таким чином, модель зображення змінної *Map* і змінної *Radar* можна записати у вигляді [4]:

$$W(c_x, c_y) = P_\Psi(c_x, c_y / \overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega}) + P_\Delta(c_x, c_y) \quad (2.29)$$

де  $P_\Psi(c_x; c_y)$  – еталонне зображення змінної *Map*;

$\Psi = 0, 1, \dots \Psi_{\alpha, \beta}$  – параметр розпізнавання;

$\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega}$  – вектор геометричних відмінностей об'єктів *Map* від об'єктів *Radar*;

$\Omega = 1, 2, \dots \Omega_{i,j}$ ;

$P_\Delta(c_x, c_y)$  – величина дискрета;

$c_x, c_y$  – координати на змінній *Map*,  $c_x = 1, \dots, C_X$ ,  $c_y = 1, \dots, C_Y$ ;

$C_X, C_Y$  – розмір зображення у пікселях.

З виразу (2.29) слідує:

- 1) При  $\Psi = 0$  зображення не відноситься до створеного класу.
- 2) До найбільш характерних геометричних відмінностей можна віднести:
  - $\alpha$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \alpha$ ) – кут повороту зображення *Map* до зображення *Radar*;
  - $\mu$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \mu$ ) – відмінність зображень *Map* і *Radar* за масштабом;
  - $X, Y$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = X, Y$ ) – просторовий зсув.

Формування оброблених зображень змінною *Targets* [4].

Вираз (2.29) показує оброблені зображення змінних *Map* і *Radar* з застосуванням операції *and* і дозволяє підвищити точність нанесення навігаційних параметрів radar на Inland ENC за рахунок використання коефіцієнтів радіолокаційного відображення  $\delta$  в матриці карти при різних рівнях води. Тим самим підвищується точність суміщення radar-зображення з SENC. Крім того, пропонується можливість підвищення точності суміщення за наявності між зображеннями змінних *Map* і *Radar* не тільки геометричних, але і яскравісних відмінностей. На рис. 2.13 показано розпізнавання зображення  $S1$  розміром  $K \times L$  пікселів на зображення  $S0$  розміром  $M \times N$  пікселів. Для вирішення поставленої задачі застосовується кореляційна функція з використанням швидкого перетворення Фур'є

$$D_{S,e} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L (s0_{k,i} \cdot s1_{k,i})}{K_{S,t}}, \quad \text{де: } K_{S,t} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L s0_{k,l} - \text{нормувальний коефіцієнт} \quad (2.30)$$

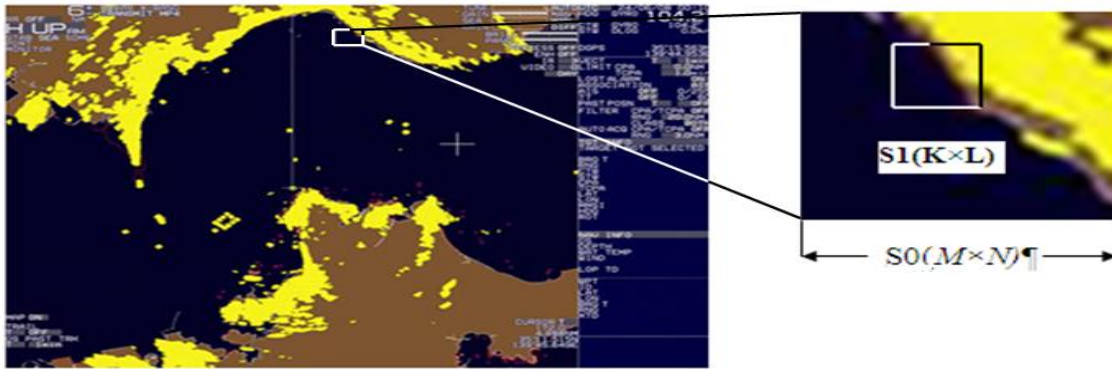


Рис. 2.13. Яскравісні відмінності між зображеннями змінних *Map* і *Radar*

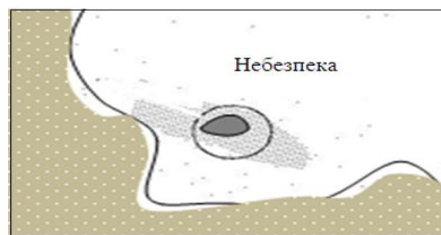


Рис. 2.14. Формування зображення обробленого об'єкта

Центр круга характеризує оброблені координати об'єкта.

Ідея отримання і застосування яскравісних відмінностей між зображеннями змінних *Map* і *Radar* полягає у створенні і використанні банку даних РЛЗ при змінах рівнів води. У даному випадку банк даних РЛЗ розглядається як банк даних, заснований на прецедентах з використанням нейро-нечіткої експертної системи *ESNN<sup>P</sup>*. Більш детально застосування моделі *ESNN<sup>P</sup>* викладено у підрозділі 3.3 дисертації. Процедура аналогічна процедурі доповнення коефіцієнтами радіолокаційного відображення  $\delta$  в матриці Inland ENC (змінна *Map*). Але на відміну від коефіцієнтів  $\delta$  в матрицю Inland ENC (змінна *Targets*) вносяться значення *Pr*, за якими запускається механізм пошуку за ступенем близькості прецедентів. Величина цих значень розраховується гідрографічною службою за результатами оплавування і вводиться у матрицю Inland ENC.

На рис. 2.15 показані алгоритм і схема розпізнавання зображень змінних *Map*, *Radar* і *Targets*. Розпізнавання відбувається по  $\alpha$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \alpha_i$ ),  $\mu$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \mu_i$ ) і кореляційній функції (2.30). Опис алгоритму здійснений за кроками. Причому, кількість кроків опису відповідає кількості послідовних кроків накладення і відображення на дисплеї трьох елементів (*Map*, *Radar* і *Targets*) за умовою:

$$\frac{1}{t_1 + t_2 + t_3} > \frac{1}{t_{об}}$$

Крок 1 [4].

При формуванні змінної *Map* (рис. 2.15) послідовно будується вираз (2.23) з доповненими коефіцієнтами радіолокаційного відображення  $\delta$  за виразом (2.24). На SENC утворюється картографічне зображення. Особливе значення мають автоматично виділені опорні сегменти поверхні з підвищеною ЕПВ і радіолокаційною контрастністю (мости, берегові орієнтири, дамби, установлені кутові відбивачі). Далі автоматично здійснюється прив'язка об'єктів і точки позиціонування судна. Зображення SENC змінюється тільки в результаті дії оператора стандартними функціями графічного інтерфейсу операційної системи.

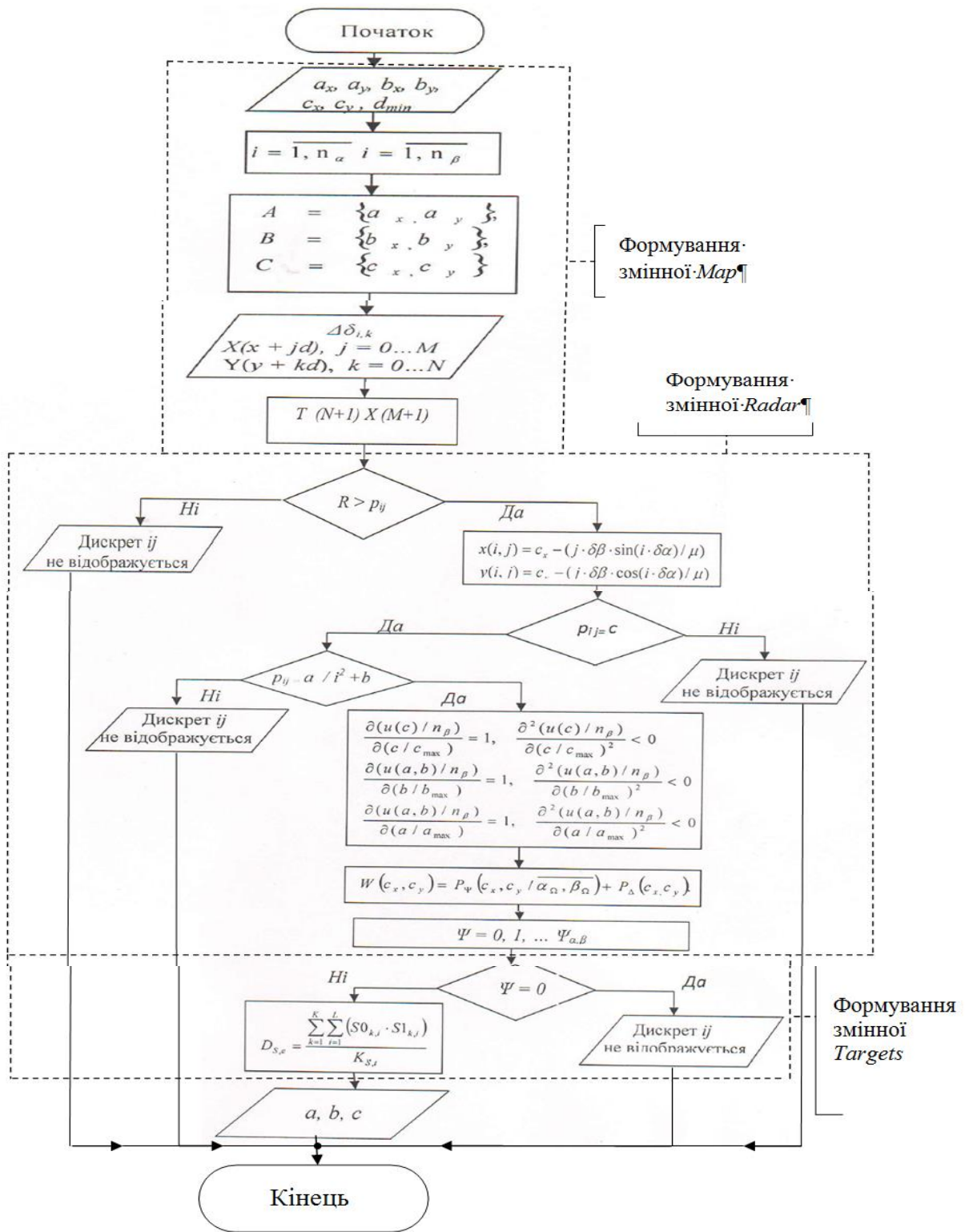


Рис. 2.15. Алгоритм і схема розпізнавання зображень змінної *Map* і змінної *Radar*

Крок 2 [4].

Результат формування змінної *Radar* є перетворення матриці амплітуд відображеного radar-сигналу. Причому, відображення змінної *Radar* на відміну від змінної *Map*  $\neq \text{const}$  і змінюється протягом часу.

Відображення  $i = \overline{1, n_\alpha}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$  здійснюється за умовою:  $R > p_{ij}$ . При  $R < p_{ij}$  елементи  $i = \overline{1, n_\alpha}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$  не відображуються. Координати  $x(i, j)$ ,  $y(i, j)$  точок локсодромій елементів зображення  $i = \overline{1, n_\alpha}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$  зв'язуються співвідношеннями (2.25) і (2.26).

Використання запропонованих порогів візуалізації (постійний поріг  $p_{ij} = c$ ; адаптивний поріг  $p_{ij} = a / i^2 + b$ ) дозволяє вибрати коефіцієнти  $a$ ,  $b$  і  $c$  вручну. Автоматична процедура визначення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  і  $c$  будується шляхом реалізації оптимізуючої процедури для постійного і адаптивного порогів по (2.27) і (2.28). Запропонований алгоритм дозволить ефективно знаходити значення візуалізуючих коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

Після операції *and* модель зображення змінних *Map* & *Radar* записується у вигляді (2.29) і містить еталонне зображення змінної *Map*  $P_\Psi(c_x; c_y)$  з параметром розпізнавання  $\Psi = 0, 1, \dots, \Psi_{\alpha, \beta}$ , вектор геометричних відмінностей об'єктів змінної *Map* від об'єктів змінної *Radar*  $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega}$ , величину дискрета  $P_\Delta(c_x, c_y)$ .

При  $\Psi = 0$  зображення не відображується у зв'язку з відсутністю сигналу розпізнавання.

В алгоритмі передбачені найбільш характерні геометричні відмінності на підставі особливостей спільного відображення інформації на річковій електронній карті і radar. Так, до найбільш характерних геометричних відмінностей можна віднести кут повороту зображення змінної *Map* до зображення змінної *Radar*  $\alpha$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \alpha$ ), відмінність змінної *Map* і змінної *Radar* за масштабом  $\mu$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \mu$ ), просторовий зсув  $X, Y$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = X, Y$ ).

Вплив інших геометричних відмінностей, в порівнянні з характерними, не суттєвий та істотно не впливає на точність суміщення показань radar і електронної карти.

*Крок 3* [4]. Формування змінної *Targets* полягає у зображенні оброблених міток цілей за результатами вторинної обробки матриці амплітуд і оновлюється по мірі уточнення координат об'єктів, що спостерігаються.

За наявності між зображеннями змінної *Map* і змінної *Radar* не тільки геометричних, але і яскравісних відмінностей здійснюється послідовний пошук і розпізнавання зображення  $S1$  розміром  $K \times L$  пікселів на зображення  $S0$  розміром  $M \times N$  пікселів. Для вирішення поставленої задачі застосовується кореляційна функція з використанням швидкого перетворення Фур'є (2.30).

Підсумовуючи слід сказати, що запропонований метод автоматизації у вигляді алгоритму автоматичного накладення РЛЗ на SENC за наявності між зображеннями яскравісних і геометричних відмінностей можна застосовувати до найбільш складних у навігаційному відношенні ділянок судноплавства. Це дозволяє значно скоротити час, підвищити точність поточного контролю GPS-координат для визначення правильності роботи СНС, точності SENC і положення судна, а також виявити цілі, про які не було сигналізації при перетині ними охоронної зони.

Використання методу автоматичного накладення РЛЗ на SENC можливе тільки при роботі Inland ECDIS в навігаційному режимі. Тому наявність в Inland ECDIS навігаційного режиму є обов'язковою умовою функціонування ІМН.

## **2.5. Метод автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна по фарватеру**

У таблиці 2.1 (підрозділ 2.2) наведені НП для вирішення задач безпечного руху судна та функціональної стійкості ІМН із застосуванням штучного інтелекту з використанням елементів нечіткої логіки при використанні Inland ECDIS [8].

Якщо формалізувати безпечну судову зону, тоді величина допустимої дистанції до небезпеки є величиною змінною і залежить від ряду факторів, які вимагають окремого або спеціального або додаткового дослідження.

Формалізовані суднові безпечні зони можуть бути представлені у вигляді кола, еліпса або чотирикутника.

Для визначення меж безпечних дистанцій розглянемо картографічні об'єкти (КО) на SENC (берегова риса, небезпеки та інше) як домени небезпеки (ДН) у вигляді небезпечних ізобат (рис. 2.16). Створення ДН під час руху судна задається відрізками локсодромії (геометричні примітиви) [149].

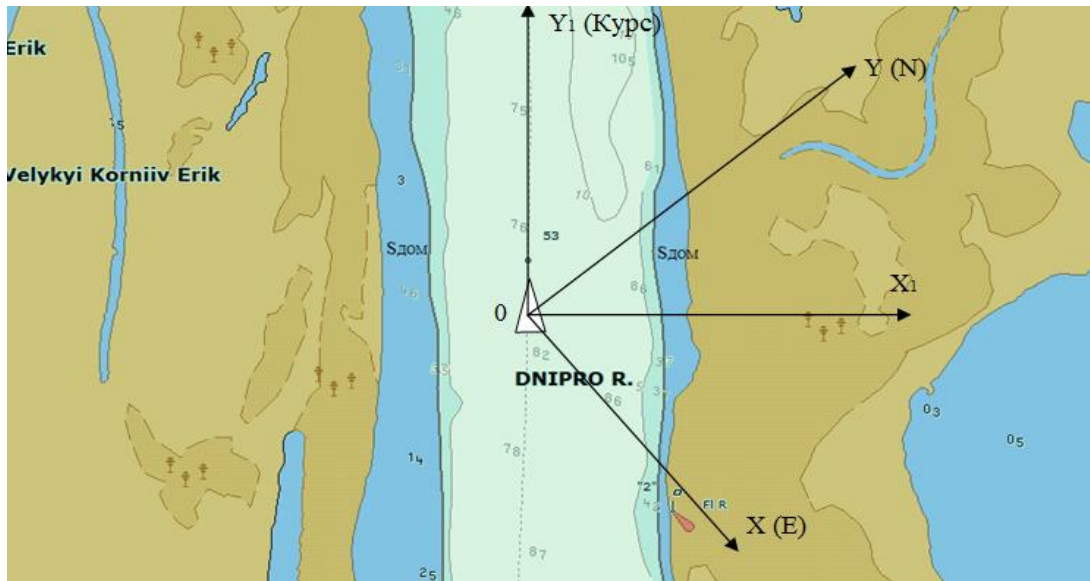


Рис. 2.16. Зображення на SENC зони домену небезпеки  $S_{\text{ДОМ}}$ , з системами координат судна

Враховуючи вираз (2.22) і рис. 2.10

$$\{H_{\text{SENC}}(t) = H_{\text{ПР}} + h(t)\} \in \{S_{\text{ДОМ}}(t)\}; H_{\text{SENC}}(t) \leq H_C + \delta, \quad (2.31)$$

де  $H_{\text{SENC}}$  – фактична глибина на SENC;  $H_{\text{ПР}}$  – проектний рівень води за даними РІС;  $S_{\text{ДОМ}}$  – небезпечна зона домену небезпеки;  $H_C$  – осадка судна;  $\delta$  – безпечний запас під кілем судна.

Оскільки основним режимом роботи Inland ECDIS є режим відносного руху, то для знаходження межі безпечних відстаней найкоротшого зближення  $D_{\text{кр}}$  при відносному курсі судна  $K_0$ , що є лінією відносного руху (ЛВР), враховуємо, що аварійна ситуація виникає тоді, коли ЛВР перетинає центр екрану або  $D_{\text{min}} < D_{\text{кр}}$ .

Граничне значення  $D_{\min}$  отримуємо, коли ЛВР торкається межі ДН. Відзначимо, що межа ДН змінюється тільки при підвищенні/зниженні рівня води, в інших випадках вона = *const*. Таким чином, множину точок межі ДН можна розглядати як чесний випадок розходження з цілями при

$$\forall \text{ КОЭ! } V_{\text{ДН}i} = 0. \quad (2.32)$$

У таблиці 2.2 показані можливі варіанти положення ЛВР, які охоплюють три початкові ситуації при русі судна [149].

Таблиця 2.2

## Можливі варіанти положення ЛВР на SENC при русі судна

Початкові ситуації	Можливі варіанти положення ЛВР			
	1	2	3	4
<p><math>\text{Cod}(\Pi, D)_i = \text{const},</math>  <math>i = 1, 2, 3, \dots, n</math>  <math>K_C \parallel \text{ЛВР}</math>  <math>D_{\min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>f(x-x_0, y-y_0)_i \neq \text{const}</math></p> <p>Місцезнаходження об'єкта (по радару) <math>f(\Pi, D)</math> рухається паралельно <math>K_C</math></p>	<p><math>V \uparrow \vee V \downarrow</math>  <math>\text{Cod}(\Pi, D)_i =</math>  <math>\text{const}, i = 1, 2,</math>  <math>3, \dots, n</math>  <math>K_C \parallel \text{ЛВР}</math>  <math>D_{\min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>f(x-x_0, y-y_0)_i \neq</math>  <math>\text{const}</math></p> <p>При зміні <math>V_C</math> паралельність зберігається.</p>	<p><math>K \uparrow \vee K \downarrow</math>  <math>\text{Cod}(\Pi, D)_i \neq \text{const},</math>  <math>i = 1, 2, 3, \dots, n</math>  <math>K_C \nparallel \text{ЛВР}</math>  <math>D_{\min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>K_C \uparrow \leftrightarrow \text{ЛВР} \downarrow</math>  <math>K_C \downarrow \leftrightarrow \text{ЛВР} \uparrow</math>  <math>f(x-x_0, y-y_0)_i \neq</math>  <math>\text{const}</math></p> <p>При зміні <math>K_C</math> ЛВР розвертається в бік, протилежний сторони розвороту</p>	<p>ЛВР <math>\uparrow \vee \downarrow</math> ЛВР  <math>\downarrow</math>  <math>\Rightarrow K \uparrow \vee K \downarrow : (K</math>  <math>c, V_c) = \text{const}</math>  <math>\text{Cod}(\Pi, D)_i \neq</math>  <math>\neq \text{const}</math>  <math>K_C \nparallel \text{ЛВР}</math>  <math>D_{\min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>f(x-x_0, y-y_0)_i \neq</math>  <math>\neq \text{const}</math></p> <p>Розворот ЛВР вказує на зміну <math>K_C</math> в бік розвороту. <math>(K_C, V_c) = \text{const}</math></p>	<p><math>f(x, y) = \text{const}</math>  <math>\text{Cod}(\Pi, D)_i =</math>  <math>= \text{const},</math>  <math>i = 1, 2, 3, \dots, n</math>  <math>K_C \parallel \text{ЛВР}</math>  <math>D_{\min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>f(x-x_0, y-y_0)_i \neq</math>  <math>\neq \text{const}</math></p> <p>Значення <math>f(\Pi, D)_i</math> нерухомого об'єкта (цілі) переміщається паралельно <math>K_C</math>.</p>
<p><math>\text{Cod}(\Pi, D)_i \neq \text{const},</math>  <math>i = 1, 2, 3, \dots, n</math>  <math>K_C \nparallel \text{ЛВР}</math></p> <p>Місцезнаходження об'єкта (по радару) <math>f(\Pi, D)</math> рухається не паралельно <math>K_C</math></p>	<p><math>D_{\min} &lt; D_{\text{кр}}</math>  <math>\Pi = \text{const}, D \downarrow</math></p> <p>ЛВР проходить через початок розгортки. Існує небезпека зіткнення</p>	<p><math>D_{\min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>f(\Pi, D)_i \neq \text{const}</math></p> <p>ЛВР перетинає <math>K_C</math>. Небезпеки зіткнення не існує</p>	<p><math>D_{k, \min} &gt; D_{\text{кр}}</math>  <math>(2.8 - 2.16)</math>  <math>f(\Pi, D)_i \neq \text{const}</math></p> <p>ЛВР перетинає <math>K_C</math> по кормі. Судно перетине або перетнуло <math>K_C</math>. Небезпеки зіткнення не існує</p>	<p>—</p>

$Cod (II,D)_i = \text{const},$ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ $D_{\min} > D_{\text{кр}}$ $f(x-x_0, y-y_0)_{i = \text{const}}$	$V_C \uparrow \downarrow \vee V_{Ц} \uparrow \downarrow$ $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$ $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$ $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$	$K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$ $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$ $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$ $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$	—	—
Місцезнаходження об'єкта (по радару) $f(II,D)$ не рухається (судно-сателіт)	Поява сліду після світіння паралельно $K_C$ . Небезпеки зіткнення не існує	Поява сліду після світіння паралельно $K_C$ . Небезпеки зіткнення не існує		

Звідси випливає, що в Inland ECDIS:

1) при зміні напрямку або швидкості переміщення *radar*-сигналу при  $K_C \& V_C = \text{const}$  окомірно не можна зробити однозначного висновку про вид маневру цілі. Вид маневру можна встановити тільки за допомогою математичної обробки первинного радіолокаційного зображення;

2) відворот судна від *radar*-сигналу не дозволяє окомірно оцінити ефективність цього маневру, так як зменшується відносна швидкість зближення, збільшується  $t_{\text{кр}}$  і в результаті можлива різка зміна напрямку ЛВР. Це визначається тільки при математичній обробці первинного радіолокаційного зображення.

Основним видом орієнтації в навігаційному режимі Inland ECDIS є *орієнтація за курсом судна  $K_C$* . Визначимо математичні моделі формалізації місцеположення руху точки по траєкторії у різних ортогональних системах координат [126, 149].

1) *Зсунуті декартові системи координат  $X_1OY_1$  і  $XOY$*  (рис. 2.16).

$$\left. \begin{cases} \bar{x} = \alpha_1 \bar{x} + \alpha_2 \bar{y} + \alpha_3 \bar{z} & x = x_0 + \alpha_1 \xi + \beta_1 \eta + \gamma_1 \zeta \\ \bar{y} = \beta_1 \bar{x} + \beta_2 \bar{y} + \beta_3 \bar{z} & y = y_0 + \alpha_2 \xi + \beta_2 \eta + \gamma_2 \zeta \\ \bar{z} = \gamma_1 \bar{x} + \gamma_2 \bar{y} + \gamma_3 \bar{z} & z = z_0 + \alpha_3 \xi + \beta_3 \eta + \gamma_3 \zeta \end{cases} \right\} \quad (2.33)$$

Алгебраїчні залежності на обмеження варіацій в даній ортогонально-зв'язній системі матимуть вигляд

$$\begin{aligned} \bar{x} &= (x - x_0); \quad \bar{y} = (y - y_0); \quad \bar{z} = (z - z_0); \\ \alpha_i^2 + \beta_i^2 + \gamma_i^2 &= 1, \quad \forall i = 1, 2, 3; \quad \alpha_i = \cos \langle x, y, z \text{ def } \xi, \beta, \zeta; \\ \alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2 + \gamma_1 \gamma_2 &= 0 \\ \alpha_1 \alpha_3 + \beta_1 \beta_3 + \gamma_1 \gamma_3 &= 0 \\ \alpha_2 \alpha_3 + \beta_2 \beta_3 + \gamma_2 \gamma_3 &= 0. \end{aligned}$$

2) Декартова площина з полярною системою координат.

$$\begin{aligned} x &= r \cos \varphi; \quad r = f_1(t), \quad (ds)_r = dr = f_1'(t)dt, \quad ds = \sqrt{dr^2 + r^2 d\varphi^2}, \\ y &= r \sin \varphi; \quad r = f_2(t); \quad (ds)_\varphi = r d\varphi = f_2'(t)dt; \end{aligned} \quad S = \int_{P_1}^{P_2} \sqrt{dr^2 + r^2 d\varphi^2}. \quad (2.34)$$

Алгебраїчні залежності на обмеження варіацій за полярною системою координат:

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2}, \\ \varphi &= \operatorname{arctg} \frac{y}{x}. \end{aligned} \quad (2.35)$$

$$\begin{aligned} S &= \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{1 + r^2 [f_1'(t)]^2} dr, \quad S = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sqrt{[f_2'(\varphi)]^2 + [f_2(\varphi)]^2} d\varphi, \\ S &= \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{[f_1'(t)]^2 + [f_1(t)]^2 + [f_2'(t)]^2} dt \end{aligned} \quad (2.36)$$

Жорстко зв'яжемо з судном координатну систему  $X_1OY_1$ , де вісь  $OY_1$  лежить в ДП і спрямована в бік носа судна, а вісь  $OX_1$  знаходиться в площині мідель шпангоута і спрямована в бік правого борту (рис. 2.17) [149].

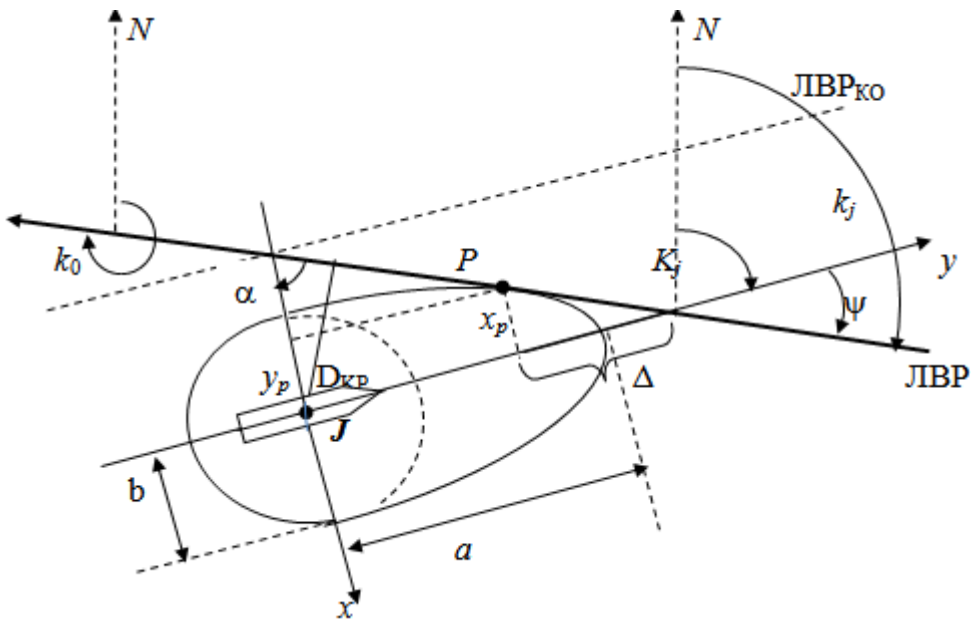


Рис. 2.17. До визначення  $D_{KP}$

Рівняння ЛВР у цій системі представимо у вигляді [31]

$$y = \operatorname{tg} \alpha x + C, \quad (2.37)$$

де  $\alpha = 90^\circ - \psi$ ,  $\psi = k_j - K_j = k_0 - K_j \pm 180^\circ$ ,  $K_j$  – курс цілі.

Виходячи з виразу (2.32), для КО в разі ситуації, зображеної на рис. 2.17,

$$V_j = 0, \quad \psi = 0, \quad \alpha = 90^\circ. \quad (2.38)$$

Таким чином, у даному випадку КО – безпечний. У загальному випадку для SENC Inland ECDIS вираз (2.38) матиме вигляд [4]

$$\begin{aligned} A &= \{a_x, a_y\}, & i &= \overline{1, n_a}, \\ B &= \{b_x, b_y\}, & i &= \overline{1, n_b}, & \Rightarrow \forall \{A, D, C \dots\} \exists ! V_j = 0, \psi = \pm 180^\circ, \alpha = \pm 90^\circ. & (2.39) \\ C &= \{c_x, c_y\}, & i &= \overline{1, n_c}, \\ & \dots \end{aligned}$$

Щодо можливих варіантів при  $V_C \uparrow \downarrow \vee V_{Ц} \uparrow \downarrow$  &  $K_C \uparrow \downarrow \vee K_{Ц} \uparrow \downarrow$  необхідно керуватися даними таблиці 2.2.

При русі цілі передня половина домену небезпеки є напівеліпс

$$\frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1, \quad y \geq 0 \Rightarrow \frac{y_p \cdot y}{a^2} + \frac{x_p \cdot x}{b^2}. \quad (2.40)$$

$$(2.37) \Rightarrow y = \operatorname{tg} \alpha \cdot x + \frac{a^2}{y_p}, \quad \operatorname{tg} \alpha = -\frac{x_p \cdot a^2}{y_p \cdot b^2} = k \cdot \frac{a^2}{b^2} \Rightarrow k = \left| -\operatorname{tg} \alpha \frac{b^2}{a^2} \right|. \quad (2.41)$$

$$(2.40) \Rightarrow y_p = a \cdot b \sqrt{\frac{1}{b^2 + k^2 a^2}}, \quad x_p = k \cdot y_p. \quad (2.42)$$

$$D_{KP} = (y_p + \Delta) \cdot \sin \psi = (y_p + x_p \cdot \operatorname{ctg} \psi) \cdot \sin \psi. \quad (2.43)$$

Виразом (2.42) визначаються координати точки торкання ЛВР  $x_p, y_p$  до ДН. Вираз (2.43) визначає граничне значення  $D_{KP}$  при оцінці небезпечного зближення або зіткнення при русі судна по фарватеру. Слід зазначити, що значення ДН для КО і рухомих цілей неоднакові за їх розмірами. Форма і розміри ДН визначаються в залежності від їх навігаційного статусу [149].

У зв'язку з тим, що при використанні ДН величина  $D_{KP} \neq \text{const}$ , то стандартна процедура виявлення небезпеки зближення за співвідношенням найкоротшої і гранично допустимої відстані є неприйнятною. У більшості випадків потрібно визначити граничні пеленги на зони безпеки КО або судна-цілі з визначенням сектора неприпустимих курсів. За основу прийнято спосіб розрахунку граничних пеленгів, викладений в роботі [3].

Задамо півосі еліпса  $a$  і  $b$ , які збігаються за напрямом з поздовжньою і поперечною вісями судна. Для обчислення граничних пеленгів, що визначають безліч небезпечних відносних курсів, визначимо аналітичний вираз для зони безпеки КО і рухомих цілей в опорній системі координат  $XOY$ . Для цього введемо ще дві системи координат  $X_1O_1Y_1$  і  $X_2O_2Y_2$  (рис. 2.18) [149]. У системі координат  $X_1O_1Y_1$

$$\frac{x_1^2}{a^2} + \frac{y_1^2}{b^2} = 1. \quad (2.44)$$

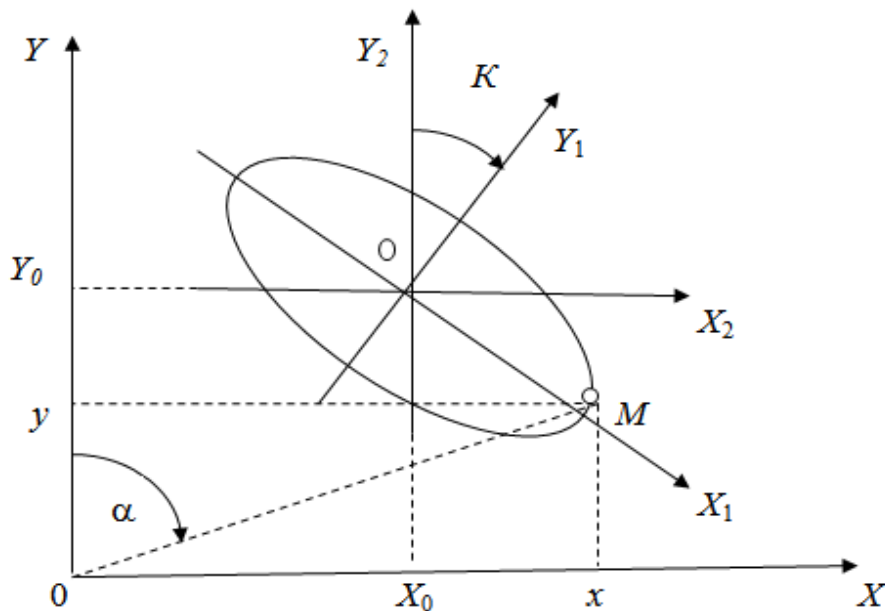


Рис. 2.18. Зв'язок між системами координат

$$x = X_0 + x_2, \quad y = Y_0 + y_2. \quad (2.45)$$

$$M(x_2, y_2) \Rightarrow \begin{cases} x_2 = y_1 \sin K + x_1 \cos K, \\ y_2 = y_1 \cos K - x_1 \sin K. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = X_0 + y_1 \sin K + x_1 \cos K, \\ y = Y_0 + y_1 \cos K - x_1 \sin K. \end{cases}$$

$$(2.44) \Rightarrow y_1 = \pm b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}.$$

$$y_1 = +b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \Rightarrow \begin{cases} x = X_0 + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cdot \sin K + x_1 \cdot \cos K, \\ y = Y_0 + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cdot \cos K - x_1 \cdot \sin K. \end{cases}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{x}{y} = \operatorname{arctg} \frac{X_0 + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cdot \sin K + x_1 \cdot \cos K}{Y_0 + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cdot \cos K - x_1 \cdot \sin K}. \quad (2.46)$$

Для знаходження граничних пеленгів  $\alpha_{\min}$  і  $\alpha_{\max}$  продиференціюємо вираз (2.46) і далі прирівняємо похідну до нуля [149]:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x_1} = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{y}\right)^2} \cdot \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{x}{y}\right). \quad \frac{\partial \alpha}{\partial x_1} = 0 \Rightarrow \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{x}{y}\right) = 0.$$

$$\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{x}{y}\right) = \frac{\frac{\partial x}{\partial x_1} y - \frac{\partial y}{\partial x_1} x}{y^2} \Rightarrow \frac{\partial x}{\partial x_1} y - \frac{\partial y}{\partial x_1} x = 0. \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial x}{\partial x_1} = \cos K - \frac{b}{a^2} \sin K \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}}, \quad \frac{\partial y}{\partial x_1} = \frac{b}{a^2} \cos K \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} + \sin K. \quad (2.48)$$

$$\forall (2.47) \exists (2.48): \left( \cos K - \frac{b}{a^2} \sin K \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} \right) \cdot \left( Y_0 + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K - x_1 \cdot \sin K \right) +$$

$$+ \left( \frac{b}{a^2} \cos K \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} + \sin K \right) \cdot \left( X_0 + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K + x_1 \cdot \cos K \right) = 0.$$

$$Y_0 \cos K + X_0 \sin K + \frac{b}{a^2} \cdot \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} (X_0 \cdot \cos K - Y_0 \cdot \sin K) +$$

$$+ b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} (\sin^2 K + \cos^2 K) + \frac{b}{a^2} \frac{x_1^2}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} (\sin^2 K + \cos^2 K) = 0.$$

$$Y_0 \cos K + X_0 \sin K + \frac{b}{a^2} \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} (X_0 \cos K - Y_0 \sin K) + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} + \frac{b}{a^2} \frac{x_1^2}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} = 0.$$

$$\frac{b}{a^2} \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}} (Y_0 \sin K - X_0 \cos K) = Y_0 \cos K + X_0 \sin K + b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} + \frac{b}{a^2} \frac{x_1^2}{\sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}}.$$

$$x_1 = \frac{a^2}{\underbrace{b(Y_0 \sin K - X_0 \cos K)}_c} \cdot \left[ \underbrace{(Y_0 \cos K + X_0 \sin K)}_r \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} + b \left(1 - \frac{x_1^2}{a^2}\right) + \frac{b}{a^2} \cdot x_1^2 \right].$$

$$x_1 = c \cdot \left[ r \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} + b \cdot \left(1 - \frac{x_1^2}{a^2}\right) + \frac{b}{a^2} x_1^2 \right] \vee x_1 + cb = cr \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}}. \quad (2.49)$$

$$(2.49)^2 \Rightarrow x_1^2 + 2cbx_1 + c^2b^2 = c^2r^2 \left(1 - \frac{x_1^2}{a^2}\right), \quad x_1^2 + 2 \frac{a^2cb}{(a^2 + c^2r^2)} x_1 + \frac{a^2c^2(b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2r^2)} = 0.$$

$$\det = \begin{cases} x_1^{(1)} = -\frac{a^2cb}{a^2 + c^2r^2} + \sqrt{\left(\frac{a^2cb}{a^2 + c^2r^2}\right)^2 - \frac{a^2c^2(b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2r^2)}}, \\ x_1^{(2)} = -\frac{a^2cb}{a^2 + c^2r^2} - \sqrt{\left(\frac{a^2cb}{a^2 + c^2r^2}\right)^2 - \frac{a^2c^2(b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2r^2)}}. \end{cases}$$

$$\alpha_n = \arctg \frac{X_0 \pm b \sqrt{1 - \frac{(x_1^{(1) \vee (2)})^2}{a^2}} \sin K + x_1^{(1) \vee (2)} \cos K}{Y_0 \pm b \sqrt{1 - \frac{(x_1^{(1) \vee (2)})^2}{a^2}} \cos K - x_1^{(1) \vee (2)} \sin K} = \arctg \frac{\eta}{\mu}, \quad n = 1, 2, 3, 4. \quad (2.50)$$

Графічно визначення граничних значень пеленгів зображено на рис. 2.19.

Значення знаків складових пеленгів  $a_n$  з отриманих коренів наведені в таблиці 2.3 [149].

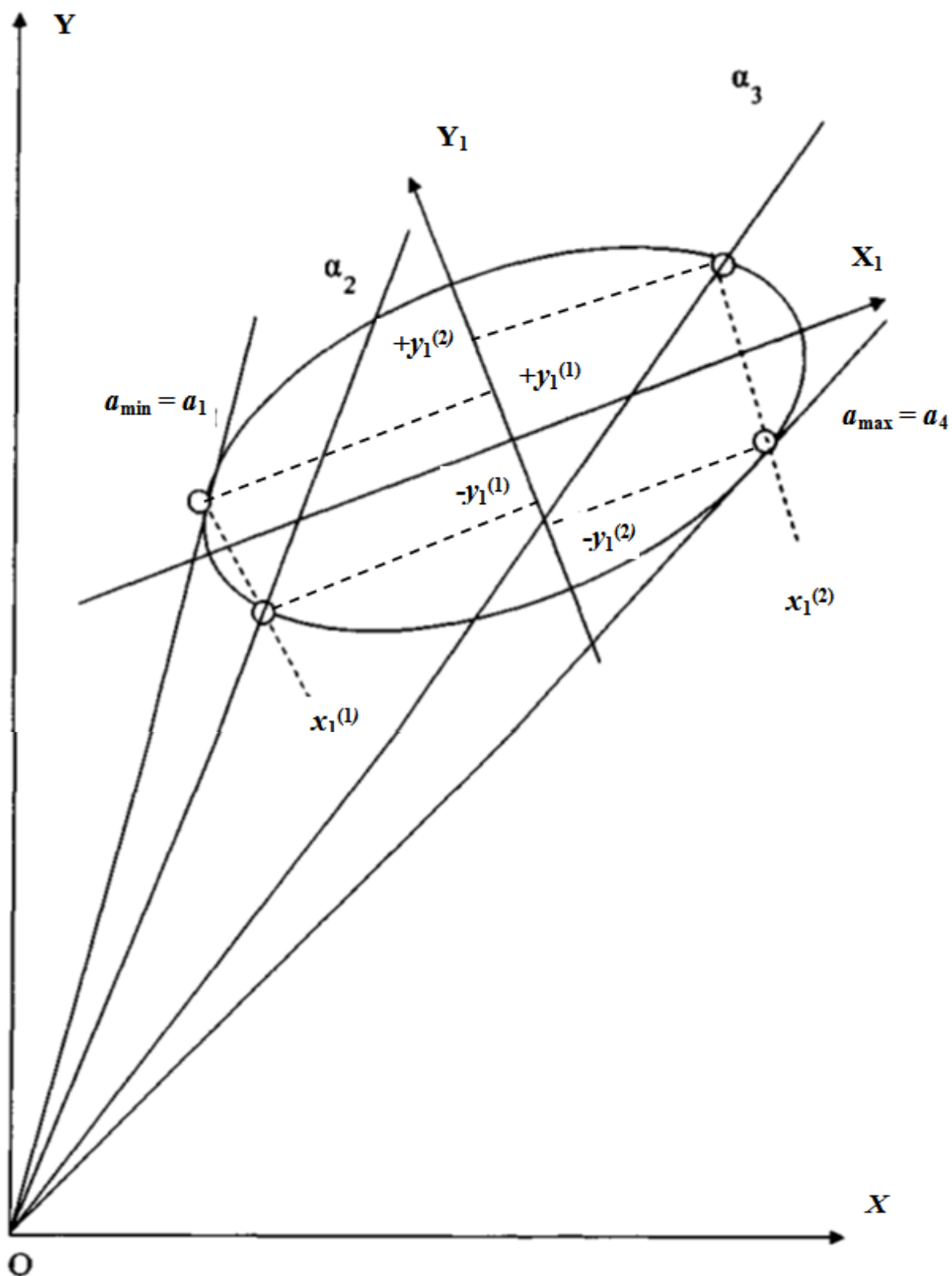


Рис. 2.19. Визначення граничних значень пеленгів  $\alpha_{\min}$  &  $\alpha_{\max}$

Таблиця 2.3

Значення знаків складових пеленгів  $a_n$  з отриманих коренів при  $x_1 > 0, y_1 > 0$

$n$	$\eta$	$\mu$	$det$
1	$X_0 + b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(1)})^2}{a^2}} \sin K + x_1^{(1)} \cos K$	$Y_0 + b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(1)})^2}{a^2}} \cos K + x_1^{(1)} \sin K$	$x_1^{(1)}$
2	$X_0 - b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(1)})^2}{a^2}} \sin K + x_1^{(1)} \cos K$	$Y_0 - b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(1)})^2}{a^2}} \cos K + x_1^{(1)} \sin K$	$x_1^{(1)}$
3	$X_0 + b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(2)})^2}{a^2}} \sin K + x_1^{(2)} \cos K$	$Y_0 + b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(2)})^2}{a^2}} \cos K + x_1^{(2)} \sin K$	$x_1^{(2)}$
4	$X_0 - b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(2)})^2}{a^2}} \sin K + x_1^{(2)} \cos K$	$Y_0 - b\sqrt{1 - \frac{(x_1^{(2)})^2}{a^2}} \cos K + x_1^{(2)} \sin K$	$x_1^{(2)}$

При  $x_1 > 0, y_1 = 0 \Rightarrow \alpha = 90^0$ ,

$x_1 < 0, y_1 = 0 \Rightarrow \alpha = 270^0$ ,

$x_1 < 0, y_1 > 0 \Rightarrow \alpha = 360^0 - \arctg x_1/y_1$ , (2.51)

$x_1 \neq 0, y_1 < 0 \Rightarrow \alpha = 180^0 + \arctg x_1/y_1$ .

## Висновки по РОЗДІЛУ 2

1. Обґрунтована модель і основні етапи оптимізації структури інструментального методу навігації. Сформульовані положення, які використані при обґрунтуванні цієї моделі.

2. Визначені навігаційні параметри для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи. Завдання стабілізації руху судна, процес вимірювання відхилення від еталонної програмної лінії розглянуті на програмних траєкторіях, що відображуються на ENC. Наведені математичні розрахунки визначення положення будь-якої точки на судні по двох точках з відомим

положеннями. Запропонована модель двоканального режиму стабілізації для відновлення витратних ресурсів.

3. Обґрунтований метод реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах.

4. Обґрунтований метод розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з Inland radar.

5. Визначений алгоритм автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна з застосуванням можливих варіантів положення лінії відносного руху на SENC і математичної моделі місцеположення руху точки по траєкторії у різних ортогональних системах координат.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА НОВИХ МЕТОДІВ ЕЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ІМН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВТЗ

#### 3.1. Контекстно-орієнтований керований підхід під час інтелектуальної обробки потоків даних в умовах підвищеного ризику руху ВТЗ

Постановка проблеми полягає в наступному. Для досягнення поставленої мети необхідно послідовно вирішити цілий ряд завдань, пов'язаних із впровадженням розподіленої інформаційно-телекомунікаційної системи. Найважливішим етапом вирішення завдань є контекстно-орієнтована інтелектуальна обробка потоків навігаційних даних [15].

Нехай маємо початкову вибірку завдання обробки потоків навігаційних даних в умовах діючого візуального (лоцманського) методу навігації (ЛМН):

$$A = \{a_k\}, Z = \{z_{kn}\}, P_{л} = \{p_k(a_k, z_{kn})\}, P^{(п)} = f(A, Z),$$

де  $A = \{a_k\}$  – множина елементів системи;  $Z = \{z_{kn}\}$  – стан елементів системи;  $P_{л}$  – потік навігаційних даних в умовах діючого ЛМН;  $P^{(п)}$  – оброблений потік навігаційних даних в умовах діючого ЛМН.

Це не відповідає закономірностям функціонування складного об'єкта при сучасному ІМН через існуючі локальні, галузеві завдання і принципи забезпечення його життєвого циклу. Вирішення завдання полягає у визначенні комплексних проблем системного об'єкта і процесів, що відрізняються від простої суми властивостей елементів з однотипними багаторівневими зв'язками. Початкова вибірка для завдання обробки потоків навігаційних даних в умовах ІМН має вигляд [128]:

$$\begin{aligned}
A &= \{a_i\}, Z = \{z_{ij}\}, Q = \{q_{ij}\}, D = \{A, Q\}, \\
Z(t_1) &\rightarrow Z(t_2) \rightarrow Z(t_3) \rightarrow \dots, Z(t) = Fc [X(t)], \\
P_{\text{IMH}} &= \{p_k(a_k, z_{kn}, k_k)\}, P^{(\text{IMH})} = f(A, Z, K),
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

де  $k \neq i, j \neq m$ ;  $Q = \{q_{ij}\}$  – множина зв'язків між елементами системи;  $D = \{A, Q\}$  – сукупність елементів системи і зв'язків між ними;  $P_{\text{IMH}}$  – потік навігаційних даних в умовах сучасного ІМН;  $P^{(\text{IMH})}$  – оброблений потік навігаційних даних в умовах сучасного ІМН;  $K, k$  – критерії оптимальності.

Необхідно вирішити задачу обробки потоку навігаційних даних та функціонування системи у безперервному режимі

$$f(x_0-0) = f(x_0+0) = f(x_0), \forall x \in R, x(t) = T_t x(t_0),$$

де  $x(t)$  – ознака динамічної системи в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища на неї;  $T_t$  – оператор еволюції.

Методом оцінки вирішення завдань контекстно-орієнтованої інтелектуальної обробки безперервного потоку навігаційних даних є критеріальний метод [8], де кожна окремо взята альтернатива оцінюється конкретним числом (критерієм, цільовою функцією). Порівняння альтернатив зводиться до порівняння відповідних чисел, тобто для всієї множини альтернатив  $X = \{x_n\}$  вводиться цільова функція  $Z = f(x)$ . Причому  $Z' = f(x) \Rightarrow \max$  або  $\min$ . Значення альтернатив  $Z_{\min} < Z < Z_{\max}$  виражаються через скалярні, векторні і множинні величини. Застосуємо шкали інтервалів

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{f(x_1) - f(x_2)}{f(x_3) - f(x_4)} = \text{const.}$$

де  $f(x) = ax + b$  – лінійні допустимі перетворення.

Основним типом шкал є шкала інтервалів, оскільки цей тип містить шкали, єдині з точністю до безлічі позитивних лінійних допустимих перетворень.

Запропонований контекстно-орієнтований підхід використовує не тільки особливості реальної ситуації, а й різні аспекти, що базуються на деякій сукупності проблемних областей.

Область автоматизованого рішення (АР) у даному випадку є багаторівневою структурою, яка включає область проблем, область моделей, область методу та область реалізацій [8]. Для використання цих особливостей використовуємо методологію розробки СППР, основою якої є контекст як засіб інтеграції методів системного та ситуаційного аналізу. Тобто мається на увазі інформація, яка може бути використана або характеризує процес розв'язання проблемної задачі. Тут застосування контексту визначається як конструкція, яка складається з понять у межах відповідних контекстних областей.

Запропоновану контекстну структуру, що складається з контекстних понять, які пов'язані між собою через контекстні відношення, будемо використовувати, щоб визначити сутності у межах контекстів. На підставі виявлених властивостей контексту і задач, що виникають при використанні контексту, сформулюємо наступні вимоги до управління контекстом:

- 1) контекст описаний стандартизованим способом;
- 2) під час представлення знань процесу прийняття АР дотримуватимемося операцій, що необхідні для представлення контексту та управління ним.

Це дозволить отримати релевантну, реальну та доступну інформацію для розв'язання конкретної задачі або для розуміння поточної ситуації.

Реалізація контекстно-орієнтованого підходу під час інтелектуальної обробки потоків даних в умовах ІМН полягає у наступному.

**По-перше.** Необхідною умовою безпечного проведення судна на ВВШ України є забезпечення вахтового помічника капітана достовірною навігаційною інформацією від Inland ECDIS. Така інформація складається з множини альтернатив, що обробляються. Інтегральна інформація представляється в Inland ECDIS у вигляді навігаційних параметрів (НП) для відображення навігаційної інформації на SENC (табл. 2.1).

Запропонована модель (рис. 2.8) відображує реальну ієрархію засобів управління, які взаємопов'язані та взаємозалежні у системі. Усі ці функції об'єднуються в єдину систему ІМН, яка перетворює наявні ресурси у цільові ефекти. Слід констатувати, що існуючі традиційні системи навігації не можуть реалізовувати властивості ІМН у задалегідь непередбачуваних екстремальних ситуаціях [8].

$$S(t) \rightarrow F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow F_1 \rightarrow E(t),$$

де  $F_1$  – безпечне плавання ВТЗ;  $F_2$  – точне навігаційне обслуговування у межах задач  $F_1$ ;  $F_3$  – гарантоване адаптивне управління ІМН, у тому числі рухом ВТЗ.

Використовуючи концепцію системної оптимізації структури ІМН, зафіксуємо рівень потенціалу якості НП для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи ІМН відповідно до виразу (2.17).

Слід зазначити, що вибір НП здійснювався із застосуванням штучного інтелекту з використанням елементів нечіткої логіки. На відміну від традиційного вживання нечіткої логіки можна використовувати гібридний підхід. При такому підході в різних частинах системи функціонують різні обчислювальні моделі, які активно взаємодіють [8].

**По-друге.** Залежно від повноти вихідної інформації Inland ECDIS AP приймаються як в умовах визначеності, так і невизначеності. Кількість альтернатив  $A(t) \neq \text{const}$ , тому вибір AP здійснюється за наявності двох або невеликої кількості і великої, але скінченної, кількості альтернатив [8].

Розглянемо елементи  $A$  &  $K$  (критерій оптимальності), розміщені у лінійній оболонці елементів лінійного простору

$$\langle A, K \rangle. \quad (3.2)$$

Рішенням виразу (3.2) є  $A^{\text{опт}} \in A: \Leftrightarrow K$ . Слід зазначити, що основним джерелом невизначеності є зовнішнє середовище  $Q = \{Q_j\}$ . Невизначеність середовища призводить до невідомих наслідків реалізації альтернатив. Таким чином створюються проблеми безпечної проводки судна.

Вихідну інформацію для прийняття АР в умовах невизначеності (*vag*) та ризику (*R*) представимо у вигляді моделі АР (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Модель АР в умовах ризику *R*

$A^R = \{A_i^R\}$	$Q^R = \{Q_j^R\}$			$K^R$
	$P_1(Q_1^R)$	$P_j(Q_j^R)$	$P_m(Q_m^R)$	
$A_1^R$	$Y_{11}^R$	$Y_{1j}^R$	$Y_{1m}^R$	$K_1^R$
...	...	...	...	...
$A_i^R$	$Y_{ij}^R$	$Y_{ij}^R$	$Y_{im}^R$	$K_i^R$
...	...	...	...	...
$A_n^R$	$Y_{n1}^R$	$Y_{nj}^R$	$Y_{nm}^R$	$K_n^R$

З табл. 3.1 випливає, що при різних варіантах розвитку зовнішнього середовища не існує однозначного підходу до вибору оптимального рішення.

У табл. 3.2 проаналізовані моделі вибору оптимальної альтернативи в умовах *vag*.

Таблиця 3.2

Моделі вибору оптимальної альтернативи в умовах *vag*

№ з/п	Модель	Критерії	Пояснення альтернатив
1	Модель 1	$A_B^{vag} = \arg \max_i K_i$ , $K_i = \sum_j Y_{ij} \cdot P_j$	Характеризується <i>max</i> значенням математичного очікування $P_{\text{оп}} > 95\%$ . <i>x</i> – єдине оптимальне рішення, Критерії Байєса
2	Модель 2	$A_B^{vag} = \arg \max_i K_i$ , $K_i = \min_j Y_{ij}$	Характеризується вибором <i>max</i> значень серед <i>min</i> результатів математичного очікування $P_{\text{оп}} > 95\%$ , Критерії Вальда
3	Модель 3	$A_O^{vag} = \arg \max_i K_i$ , $K_i = \max_j Y_{ij}$	Характеризується вибором <i>max</i> значень серед <i>max</i> результатів математичного очікування ймовірності безпечного руху. Критерії оптимізму

Вимірювані НП багаторазово повторюють ситуацію вибору з відомою ймовірністю безпечного руху  $P_{\text{бн}}$ . Це – глибини; рівень води за показаннями водомірних постів; пеленги; дистанції до небезпек; висоти мостів, ліній електропередач над рівнем води та інше.

$$P_{\text{бн}} = 1 - \exp(-D_{\text{min}}/M)^2, \quad (3.3)$$

де  $D_{\text{min}}$  – найкоротша відстань до найближчої небезпеки;  $M$  – СКП зчислюваного місця судна у точці найкоротшої відстані до найближчої небезпеки.

У зв'язку з великою кількістю реалізацій критеріїв моделі 1 (табл. 3.2) значення виразу (3.2) поступово стабілізується і ризик буде практично виключений. Інші моделі застосовуються тоді, коли потрібно проявити крайню обережність, вибрати таке рішення, яке дасть гарантований результат [8].

**По-третє.** У реальних ситуаціях кількість елементів виразу (3.2) та  $AP$ , що приймаються в умовах *vag*, жорстко обмежена. Нерідко ситуація при русі ВТЗ є унікальною [8]. Для моделювання прийняття рішень в умовах *var* &  $R$  пропонується метод ігор із зовнішнім середовищем.

Для реалізації контекстно-орієнтованого підходу побудуємо ігрову матрицю  $A$ . Методи прийняття рішень в іграх із зовнішнім середовищем залежать від характеру *vag* &  $R$ .

Так, вахтовий помічник капітана при використанні електронно-картографічної системи Inland ECDIS має  $m$  можливих стратегій:  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , а берегова інфраструктура (зовнішнє середовище) має  $n$  можливих станів:  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  і ризиків  $r_{ij}$

$$A = \|a_{ij}\|_{mn} \Rightarrow R = \|r_{ij}\|_{mn}, \quad r_{ij} = \beta_j - a_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} - a_{ij}. \quad (3.4)$$

Наприклад, для проходження ділянки р. Дніпро (0 км р. Рвач – Каховський шлюз, електроні карти (ENC)  $UA5N0000, UA7N0005, UA8N0017, UA8N0023, UA7N0036, UA7N0047, UA7N0059, UA7N007$ ) отримуємо матриці  $A$  і  $R$ .

$$A = \begin{pmatrix} & Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ A_1 & 3 & 5 & 4 & 5 \\ A_2 & 4 & 6 & 3 & 4 \\ A & 5 & 3 & 6 & 3 \end{pmatrix} \Rightarrow R = \begin{pmatrix} & Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ A_1 & 2 & 1 & 2 & 0 \\ A_2 & 1 & 0 & 3 & 1 \\ A_3 & 0 & 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Далі незалежно від виду матриці гри вибирається оптимальна стратегія.

У табл. 3.3 представлений перелік інформаційних ситуацій, пов'язаних з *vag* зовнішнього середовища

Таблиця 3.3

Перелік інформаційних ситуацій, пов'язаних з *vag*

Інформаційна ситуація	<i>Vag</i>	Критерії прийняття рішень (W, S) на прикладі матриць (3.4)
$IS_1$	Безумовна ймовірність на елементах множини Q	Модель 1 (табл. 3.2)
$IS_2$	Ймовірність з невідомими параметрами множини Q	Модель 2 (табл. 3.2)
$IS_3$	Невідомий розподіл ймовірностей на елементах множини Q	Критерії Джейнса, Лапласа
$IS_4$	Протилежні інтереси середовища у процесі прийняття рішень	$W = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} = 3,$ $S = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} = 2$
$IS_5$	Проміжна інформаційна ситуація між $IS_1$ та $IS_5$ при виборі середовищем своїх станів	$W = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ p \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1-p) \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \right\}$ $0 \leq p \leq 1, \quad p = 0 \Rightarrow W = 6,$ $p = 1 \Rightarrow W = 3.$ $S = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ p \min_{1 \leq j \leq n} r_{ij} + (1-p) \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} \right\}$ $p = 0 \Rightarrow S = 3,$ $p = 1 \Rightarrow S = 0.$

Оптимальна стратегія:

$$A = \|a_{ij}\|_{mn} \Rightarrow p_j(Q_j) \Rightarrow \max_{1 \leq i \leq m} \sum_j^n p_j a_{ij} \& \min_{1 \leq i \leq m} \sum_j^n p_j r_{ij}.$$

У разі відсутності інформації про вірогідність станів середовища однозначних і математично чітких рекомендацій щодо вибору критеріїв ухвалення рішень не існує.

**По-четверте.** При ІМН моделі прийняття рішень характеризуються умовами багатокритеріальності. Така вихідна інформація для прийняття рішень в умовах *vag* пов'язана з великою кількістю критеріїв [8].

Модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності подається у табличному вигляді (табл. 3.4). У таблиці використані такі додаткові позначення:  $N = \{N_a\}$  – множина критеріїв оцінки альтернатив;  $K_i$  – підсумкова оцінка  $A_i$ ;  $V_a$  – оцінка важливості  $a$ -го критерію ( $\sum_a V_a = 1$ ),  $F_{i a}$  – оцінка переваги  $A_i$  за  $a$ -м критерієм ( $\sum_a F_{i a} = 1$ ).

Таблиця 3.4

Модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності

$A = \{A_i\}$	$N = \{N_a\}$			$K_i$
	$N_1 (V_1)$	$N_a (V_a)$	$N_g (V_g)$	
$A_1$	$Y_{11}$	$Y_{1a}$	$Y_{1g}$	$K_1$
...	...	...	...	...
$A_i$	$Y_{i1}$	$Y_{ia}$	$Y_{ig}$	$K_i$
...	...	...	...	...
$A_p$	$Y_{p1}$	$Y_{pa}$	$Y_{pg}$	$K_p$

Далі отримаємо модель, яка заснована на критерії сумарної ефективності:

$$\begin{aligned}
 A_{CE} &= \arg \max_i K_i, \\
 K_i &= \sum_a F_{i a} \times V_a,
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

де  $A_{CE}$  – альтернатива, оптимальна за критерієм сумарної ефективності.

Вираз (3.6) означає, що оптимальним рішенням багатокритеріальної задачі є альтернатива, яка характеризується найбільшим значенням критерію сумарної ефективності.

Одним із найважливіших етапів вирішення багатокритеріальної задачі є формування множини критеріїв. При інструментальному методі навігації набір критеріїв (функціоналів оцінювання) повинен бути повним. Характеристикою функціонала оцінювання є інгредієнт (*Ing*): позитивний  $Ing = F = F^+$  (максимальне значення) і негативний  $Ing = F = F^-$  (мінімальне значення) [8].

Розглянемо етап побудови багатокритеріальної моделі з визначення оцінок варіантів AP та виявлення системи пріоритетів суб'єкта. Прийняття багатоцільового рішення визначимо у вигляді виразу  $\{X, F\}$ ,

де  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – множина рішень;  $F = \{F^1, \dots, F^Q\} = \{f_k^q\}_{q,k=1}^{Q,m}$  – вектори функціоналів оцінювання.

Для вирішення вказаної проблеми застосуємо метод нормалізації (табл. 3.5); вагомий метод (табл. 3.6) і метод згортки (табл. 3.7).

Застосування методу нормалізації пояснюється тим, що при ІМН функціонали оцінювання мають різні одиниці вимірювання або різні порядки величин, які вимірюють. У табл. 3.5 використані математичні вирази приведення до одного безрозмірного масштабу вимірювань.

Пріоритет локальних критеріїв задаємо за допомогою вектора пріоритету и вагового вектора (табл. 3.6). Пріоритет функціоналів оцінювання зводиться до коригування схеми компромісу і встановлення ступеня важливості об'єктів. Обираємо ряд бінарних відношень пріоритету ( $RV$ ) і вектор вагових коефіцієнтів пріоритету ( $U$ ). Застосовуємо принцип гнучкого врахування пріоритету. У результаті практична реалізація зводиться до трансформації простору однорідних об'єктів, які розглядаємо як координати у відповідному просторі. Під співвідношенням пріоритету ( $u$ ) матимемо вектор вагових коефіцієнтів ( $u_1, \dots, u_q$ ) на компонентах відповідних деталізованих показників.

Таблиця 3.5

## Методи нормалізації критеріїв в умовах ІМН

Метод нормалізації	Математичний вираз
<p>Зміна векторів функціоналів оцінювання на підставі змін <math>Ing</math> на протилежний</p> <p><math>F = F^- \&amp; F = F^+</math>,</p> <p><math>F = \{F^1, \dots, F^Q\} = \{f_k^q\}_{q,k=1}^{Q,m}</math></p>	$f_k^{q\pm} \rightarrow (-f_k^q)^{\mp}, f_k^{q\pm} \rightarrow (1/f_k^q)^{\mp}$
<p>Вибір ідеального вектора</p> <p>1) <math>F^{ideal} = \{f_q^{ideal}\}, q = \overline{1, k}</math>,</p> <p>2) <math>F^{ideal} = F_{max} = \{f_{1max}, f_{2max}, \dots, f_{kmax}\}</math>,</p> <p>3) <math>F_q^{ideal} = f_{qmax} - f_{qmin}, q = \overline{1, k}</math></p>	$f_k^{q\pm} \rightarrow \left( \frac{f_k^q}{f^{ideal}} \right)$
<p>Порівняння векторів функціоналів оцінювання.</p> <p>Нормалізація зовнішнього середовища</p>	$f_k^{q+} \rightarrow (f_k^q - \min_k f_k^q)^+, f_k^{q-} \rightarrow (\max_k f_k^q - f_k^q)^+;$ $f_k^{q-} \rightarrow \left( \frac{f_k^q}{\min_k f_k^q} \right)^-, f_k^{q+} \rightarrow \left( \frac{f_k^q}{\max_k f_k^q} \right)^+$ $f_k^{q\pm} \rightarrow \left( \frac{f_k^q - \min_k f_k^q}{\max_k f_k^q - \min_k f_k^q} \right)^{\pm}$
<p>Усереднення векторів функціоналів оцінювання</p>	$f_k^{q\pm} \rightarrow \left( \frac{f_k^q}{\text{середнє } f_k^q} \right)^{\pm}$
<p>Нормалізація векторів функціоналів оцінювання за Севіджем</p>	$f_k^{q\pm} \rightarrow \left( \frac{\max_k f_k^q - f_k^q}{\max_k f_k^q - \min_k f_k^q} \right)^{\mp}$

Таблиця 3.6

## Методи урахування пріоритету функціоналів оцінювання в умовах ІМН

Принцип гнучкого врахування пріоритету	Математичний вираз
Лінійний	$u_q \cdot f_k^q$
Степеневий	$(f_k^q)^{u_q}$
Скорочення розмірності задачі	$F = \{F^q\}, q \in Q^0, Q^0 = \{q = 1..Q / (F^q \succ F^{q_0})\}$

Для визначення рейтингу об'єкта серед вибірки застосуємо інтегрований показник у вигляді критерію згортки  $v$ . За цим показником здійснюється впорядкування множини елементів заданої вибірки. Для ІМН критерії згортки наведені у табл. 3.7.

Таблиця 3.7

## Критерії згортки в умовах ІМН під час інтелектуальної обробки потоків даних

$v$	Математичний вираз
$v_1$	$v^+ = \max_k \min_q f_k^{q^+}, v^- = \min_k \max_q f_k^{q^-}$ Критерії Вальда та Севіджа
$v_2$	$v = \max_k \max_q f_k^q$
$v_3$	$v = f_{k_0}^1 = f_{k_0}^2 = \dots = f_{k_0}^q$
$v_4$	$v = \max_k \sum_q f_k^q$
$v_5$	$v = \max_k \prod_q f_k^q$

**По-п'яте.** Заключний етап побудови багатокритеріальної моделі з визначенням оцінок варіантів АР та виявленням системи пріоритетів суб'єкта при ІМН із застосуванням штучних нейронних мереж (NN) розглянуто у підрозділі 3.2.

### 3.2. Побудова гібридних нейро-нечітких моделей складових елементів системи ІМН

Важливим компонентом ІМН на ВВШ України є використання берегових і суднових інформаційних систем (ІС). До типів ІС, які існують на ВВШ України і використовуються для руху ВТЗ, відносяться: системи обробки операцій, управлінські інформаційні системи, а також СППР (Inland ECDIS, PIC, AIS, GPS, Inland radar) [33]. Нове покоління ІС застосування на ВВШ України ще не знайшло. Це в першу чергу системи, побудовані на NN з процесорними елементами. Наявність в умовах ІМН складних завдань викликає потребу в інтелектуальних адаптивних системах керування. Ці системи спроможні пристосовуватися до дуже широкого діапазону зовнішніх умов, що є більш ефективним порівняно з традиційними методами. Ключовим аспектом NN є здатність навчатися в процесі розв'язання навігаційних задач [8, 56].

Розглянемо етап побудови багатокритеріальної моделі з визначення оцінок варіантів АР та виявлення системи пріоритетів суб'єкта при ІМН.

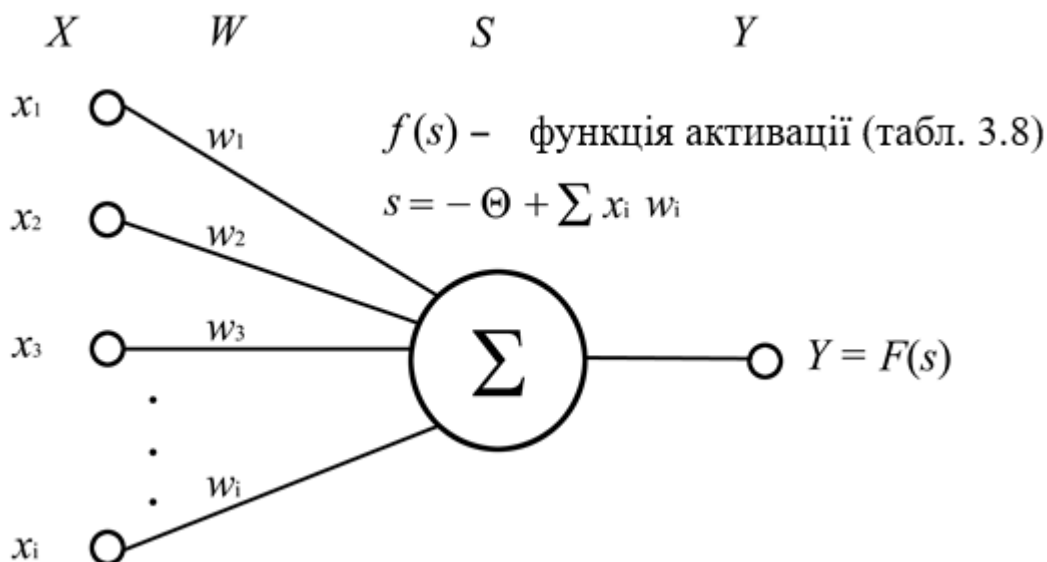
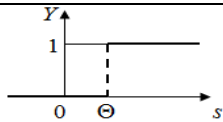
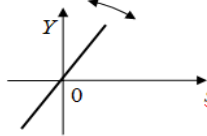
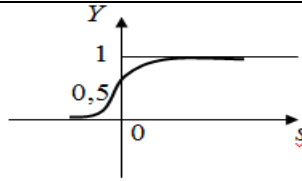
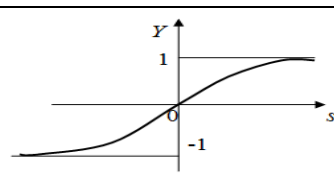
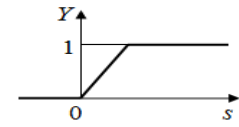


Рис. 3.1. Застосована модель штучного нейрона

Таблиця 3.8

## Застосовані функції активації нейронів (до рис. 3.1)

№	Назва функції	Математичний вираз	Область значень	Графічні пояснення
1	Порогова	$f(s) = \begin{cases} 0, s < \Theta; \\ 1, s \geq \Theta \end{cases}$	$\{0,1\}$	
2	Лінійна	$f(s) = ks$	$(-\infty; +\infty)$	
3	Логістична	$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}$	$(0,1)$	
4	<i>th</i>	$f(s) = \frac{e^{as} - e^{-as}}{e^{as} + e^{-as}}$	$(-1,1)$	
5	Лінійний поріг	$f(s) = \begin{cases} 0, s < \Theta; \\ ks, 0 \leq s < \Theta; \\ 1, s \geq \Theta \end{cases}$	$(0,1)$	

Один штучний нейрон виконує процедуру розпізнавання, в той же час нейронні обчислення здійснюються від з'єднання нейронів в мережі ІМН. Така мережа буде складатися з групи нейронів, що утворюють шари, і обчислення вихідного вектора  $Y$  (компоненти: виходи нейронів  $y_i$ ) можна звести до матричного множення

$$Y = F(XW). \quad (3.7)$$

Багатошарова мережа ІМН утворюється каскадами шарів. Причому, вихід одного шару є входом іншого, і таку багатошарову мережу можна замінити еквівалентною одношаровою мережею. Обчислення виразу (3.7) полягає в наступному. Вхідний вектор множиться на першу вагову матрицю. Далі

результуючий вектор множиться на другу вагову матрицю з урахуванням функції активації  $F$  (табл. 3.8).

Навчання буде здійснюватися шляхом послідовного пред'явлення вхідних векторів з підстроюванням ваг. При такому процесі навчання ваги мережі стають такими, що кожен вхідний вектор вироблятиме вихідний вектор [8, 56]. У мережі ІМН доцільно використовувати алгоритми навчання з вчителем і без вчителя.

Для побудови архітектури штучної нейронної мережі ІМН (рис. 3.2) використовуємо модель, що відображує реальну ієрархію засобів управління (рис. 2.8) і НП для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості ІМН (табл. 2.1).



Рис. 3.2. Архітектура штучної нейронної мережі ІМН

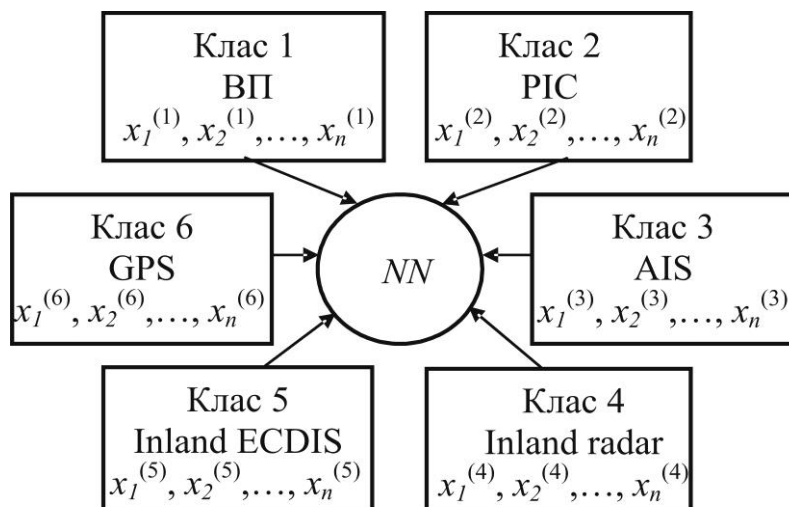


Рис. 3.3. Класи вхідних сигналів в  $NN$  ІМН

На рис. 3. 3 показані класи вхідних сигналів в NN ІМН.

Двошарова NN для вхідних сигналів класу 1.

На рис. 3.4 представлена двошарова NN, яка отримана з одношарової [8, 56].

На вхід надходять сигнали від ВП по синапсах, що утворюють один шар, який видає три вихідних сигнали

$$y_1 = f \left[ \sum_{i=1}^n x_i w_{i1} \right], \quad y_2 = f \left[ \sum_{i=1}^n x_i w_{i2} \right], \quad y_3 = f \left[ \sum_{i=1}^n x_i w_{i3} \right]. \quad (3.8)$$

Вагові коефіцієнти  $W^{(i)}$  одного шару нейронів зводимо в матрицю по виразу (3.7) шляхом додавання другого шару, що складається з одного нейрона.

Далі отримуємо:

$$\bar{Y} = F \left( \overline{XW}^{(\Sigma)} \right) = F(\bar{V}) = \sum_{i=1}^m v_i \sigma \left( \sum_{j=0}^n x_j \cdot w_{ji} \right), \quad (3.9)$$

де  $\sigma(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}$  – логістична функція активації нейронів (табл. 3.8).

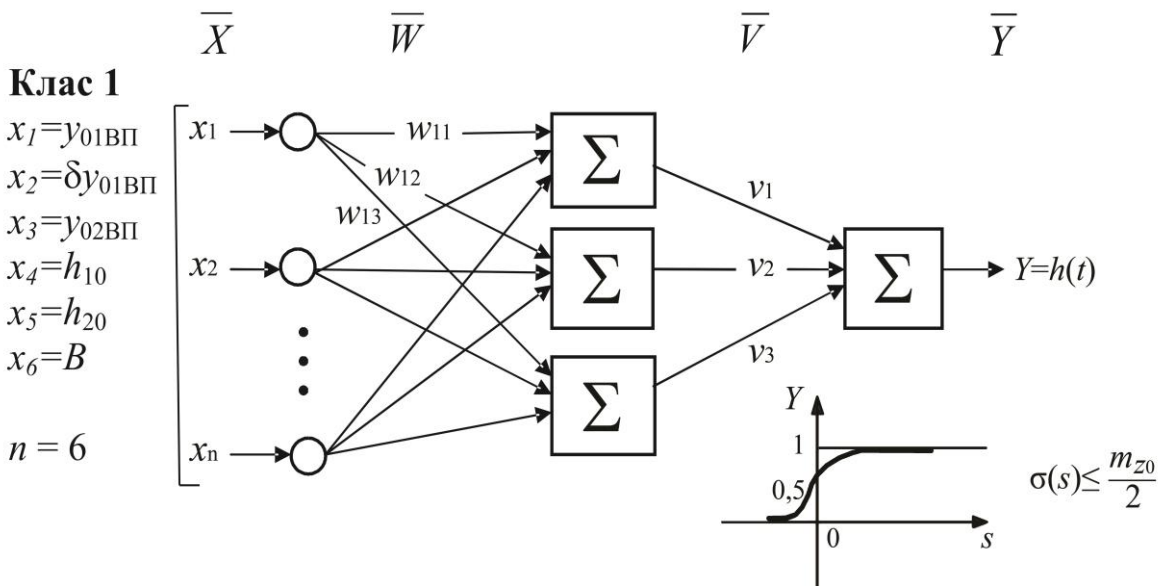


Рис. 3.4. Двошарова NN для вхідних сигналів класу 1

Одержуємо повний вираз для отримання диференціальних поправок  $h(t)$  до вимірних глибин, які позначені на SENC [9, 56, 128].

$$h(t) = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01ВП} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|.$$

$$y_{1ВП} = f(h_{01ВП}, \delta y_{01ВП}), \quad y_{2ВП} = f(h_{02ВП}, \delta y_{02ВП}),$$

де  $S(p)$  –  $adj$  (союзна матриця) для  $(pE - A)$ ;  $(pE - A)$  – характеристична матриця для матриці стану  $A$ ;  $\det(pE - A)$  – визначає степеневий поліном змінної Лапласа  $p$  порядку  $n$ ;  $(C)_{i,j}$  – матриця зі значенням змін миттєвого рівня води відносно 2ВП;  $B$  – матриця  $n \times m$  місця знаходження судна  $B$  за даними, що зняті з ENC;  $h_{01ВП}$  – постійна складова, що дорівнює нулю глибин  $h_{01ВП} = h_{02ВП}$ ;  $h_{10}$  – постійна складова, що дорівнює можливим змінам нуля глибин відносно абсолютної системи координат  $h_{10} = h_{20}$ ;  $y_{01ВП}$  – нуль глибин 1ВП,  $y_{01ВП} = y_{02ВП}$ ;  $\delta y_{01ВП}$  – миттєвий рівень води відносно  $y_{01ВП}$ ;  $\|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|$  – матриця-стовпець змін  $\delta y_{01ВП}$  миттєвого рівня води відносно 1ВП.

Матрична передавальна функція  $C_{ij}$  являє собою прямокутну матрицю розмірності  $m \times n$ . Кожен елемент цієї матриці є скалярна передавальна функція від входу до виходу. Усі скалярні передавальні функції мають один і той же характеристичний поліном. Тому аналіз потоку даних від ВП зводиться до аналізу коренів цього полінома. Для автоматизованого показу фактичних глибин в Inland ECDIS відстань між ВП розбивається на умовні зони. Різниця висот миттєвого рівня в двох крайніх точках умовної зони  $\sigma(s)$  не повинна перевищувати половини точності вимірювання глибин  $m_{z0}$ .

*Одношарова NN для вхідних сигналів класу 2.*

Структурна схема NN для вхідних сигналів класу 2 (мережа Хопфілда) приведена на рис. 3.5.

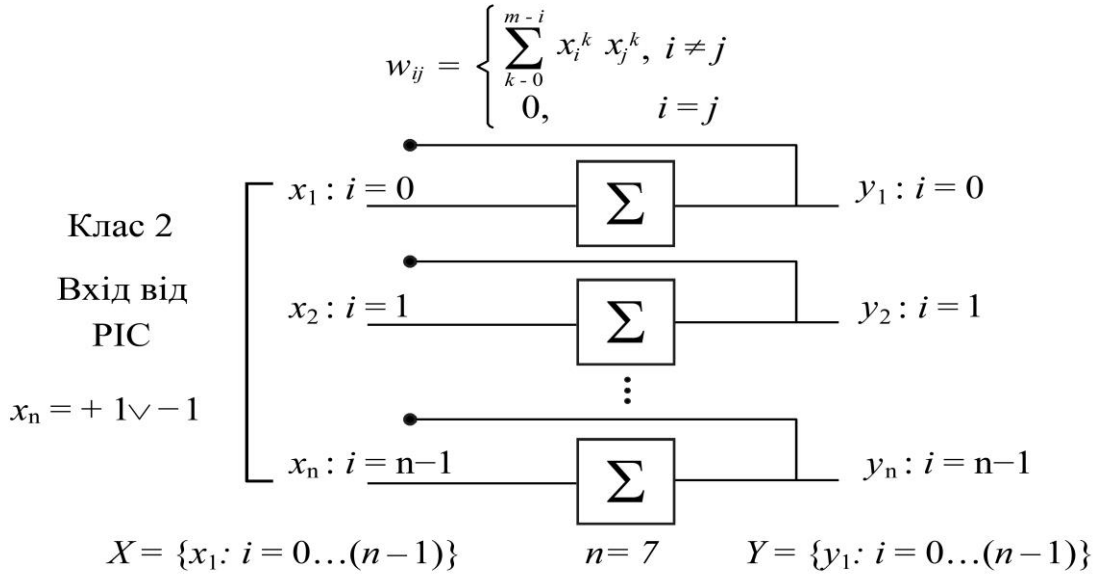


Рис. 3.5. Структурна схема NN для вхідних сигналів класу 2

Функціонування NN [8, 56]:

- 1)  $y_i(0) = x_i, i = 0, \dots, (n-1);$
- 2)  $s_j(p+1) = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} y_i(p), j = 0, \dots, (n-1);$
- 3)  $y_j(p+1) = f[s_j(p+1)], f \rightarrow \text{табл. 9}_{1,5}.$

Двошарова NN зворотного розповсюдження (вхідні сигнали класів 3–6).

Аналогічно будемо NN для вхідних сигналів класів 3–6. Особливості побудови показані на рис.3.6 і в табл. 3.9.

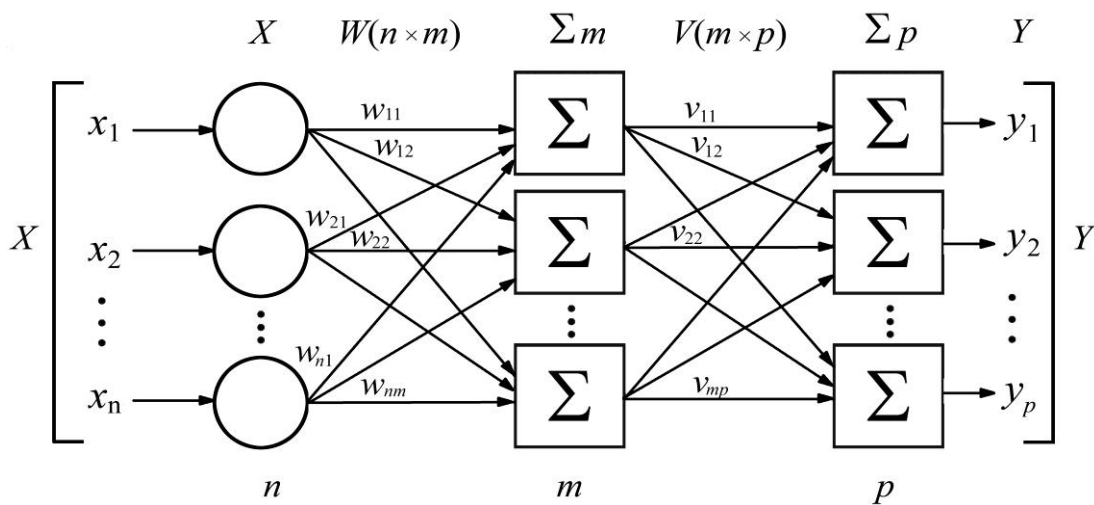


Рис. 3.6. NN зворотного розповсюдження (вхідні сигнали класів 3–6)

Таблиця 3.9

Елементи побудови  $NN$  для вхідних сигналів класів 3–6 в умовах ІМН

Класі вхідних сигналів	Кількість шарів $NN$	$W(n \times m)$	$V(m \times p)$	Пропускна здатність
Клас 3 $x_1^{(3)}, x_2^{(3)}, \dots, x_n^{(3)}$ Inland AIS	2 Прихований, вихідний	$42 \times 20$	$20 \times 10$	до 2000 повідомлень за хвилину
Клас 4 $x_1^{(3)}, x_2^{(3)}, \dots, x_n^{(3)}$ Inland radar	2 Прихований, вихідний	$15 \times 12$	$12 \times 8$	3000 імпл/сек
Клас 5 $x_1^{(3)}, x_2^{(3)}, \dots, x_n^{(3)}$ Inland ECDIS	2 Прихований, вихідний	$72 \times 60$	$60 \times 9$	одне повідомлення за секунду
Клас 6 $x_1^{(3)}, x_2^{(3)}, \dots, x_n^{(3)}$ GPS	2 Прихований, вихідний	$12 \times 8$	$8 \times 6$	одне повідомлення за секунду

$W$  – матриця вагових коефіцієнтів  $w_{ij}$  від входів до прихованого шару;

$V$  – матриця вагових коефіцієнтів  $v_{jk}$  від прихованого шару до виходів;

Навчання  $NN$  [8, 56]

Вибірка:  $(X^t, D^t)$ ,  $t = \overline{1, T}$ .

$$E(W, V) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p (y_k - d_k)^2, \quad w_{ij}^{N+1} = w_{ij}^N - \alpha \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad v_{jk}^{N+1} = v_{jk}^N - \alpha \frac{\partial E}{\partial v_{jk}},$$

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}}, \quad f'(s) = \frac{e^{-s}}{(1 + e^{-s})^2} = f(s)(1 - f(s)),$$

де  $y_k$  – значення  $k$ -виходу;

$d_k$  – необхідне значення  $k$ -виходу;

$\alpha$  – параметр швидкості навчання;

$s$  – зважена сума входів нейронів.

Обчислюємо  $\frac{\partial E}{\partial v_{jk}}$  &  $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$ .

$$\frac{\partial E}{\partial v_{jk}} = \frac{\partial E}{\partial v_k} \frac{\partial y_k}{\partial s_k} \frac{\partial s_k}{\partial v_{jk}} \Rightarrow s_k = \sum_{j=1}^m v_{jk} y_j^c \text{ \& } \frac{\partial s_k}{\partial v_{jk}} = y_j^c.$$

$$y_k = f(s_k) \Rightarrow \frac{\partial y_k}{\partial s_k} = f(s_k)(1 - f(s_k)) = y_k(1 - y_k).$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_k} = y_k - d_k \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial v_{jk}} = (y_k - d_k) y_k (1 - y_k) y_j^c.$$

Аналогічно:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j^c} \frac{\partial y_j^c}{\partial s_j} \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}.$$

$$s_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i, \quad \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}} = x_i, \quad \frac{\partial y_j^c}{\partial s_j} = y_j^c (1 - y_j^c),$$

де  $y_j^c$  – значення виходу  $j$ -го нейрона прихованого шару;  $x_i$  –  $i$ -та компонента навчальної вибірки.

Розроблений контекстно-орієнтований підхід до інтелектуальної обробки потоків даних в умовах ІМН дозволяє розглядати запропоновану систему як шість функціонально взаємопов'язаних складових підсистеми  $F_1, F_2, \dots, F_6$  (рис. 3.3) з певними класами вхідних сигналів в NN. Підсумок взаємодії шести підсистем  $F_1, F_2, \dots, F_6$  – це виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання  $P_{\text{он}} \geq 95\%$  за виразом (3.3) для конкретних умов руху водного транспорту.

Предмет, тема, задача впровадження пропонованого методу будуть більш зрозумілими при фіксуванні на єдиній мові повної характеристики цілісного об'єкта у вигляді виразу (3.1).

### 3.3. Використання нейро-нечіткої експертної системи у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS

Застосування нейро-нечіткої експертної системи, що заснована на прецедентах (ESNN<sup>P</sup>), у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS є найбільш перспективним напрямом обробки потоку навігаційних даних в умовах ІМН [56, 125]. Пояснимо суть проблеми.

При автоматизованій передачі навігаційних даних в системі ІМН виникають невизначеності, що впливають на достовірність отримання інформації електронно-картографічною системою Inland ECDIS. Причому канал передачі даних є основною лінією передачі навігаційної інформації. Таким чином, завдання аналізу та діагностики мереж зведені до пошуку відхилень від нормального режиму функціонування – мережевих аномалій. Існуючі методи діагностики мережевих аномалій представлені у табл. 3.10 [56, 86, 125].

Таблиця 3.10

Порівняльний аналіз моделей діагностики мережевих аномалій

Моделі	Переваги	Недоліки
<u>Сигнатурний метод</u> базується на збігу з еталонним зразком	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Продуктивність.</li> <li>2. Наявність досвіду у використанні систем.</li> <li>3. Мале число помилкових тривоги.</li> <li>4. Обґрунтованість рішень</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ускладнено оновлення бази даних сигнатур.</li> <li>2. Не виявляються нові сигнатури.</li> <li>3. Період оновлення БД сигнатур повинен бути не великий.</li> </ol>
<u>Статистичний метод</u> базується на окремих мережевих пристроях, характеристики яких є випадковими величинами, що змінюються в часі	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Не потрібно точних даних про мережеві аномалії.</li> <li>2. Можливість виявлення нових мережевих аномалій.</li> <li>3. Простота в експлуатації.</li> <li>4. Висока ефективність і обґрунтованість рішень</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Довга вибірка навчання.</li> <li>2. Складно задати порогові обмеження мережевих аномалій.</li> <li>3. Необхідний шаблон</li> </ol>

<u>ES</u> акумулюють знання експертів у конкретній предметній області	1. Відсутність помилкових тривог. 2. Використання досвіду експертів	1. Постійне оновлення БД. 2. Не виявляються невідомі мережеві аномалії
<u>NN</u> представляють систему, яка на основі функції активації зіставляє вхідну і вихідну інформацію	1. Адаптація до різних середовищ. 2. Аналіз всіх мережевих аномалій. 3. Прогнозування мережевих аномалій	1. Не видно логіки прийняття рішення. 2. Великий час навчання. 3. Високий рівень помилкових тривог. 4. Потрібні серйозні знання в області параметрів мережі

З аналізу табл. 3.10 слідує, що ES і NN є найбільш ефективними моделями діагностики мережевих аномалій при передачі потоку навігаційних даних.

На рис. 3.7 запропонована узагальнена структура ES [43, 56, 125].

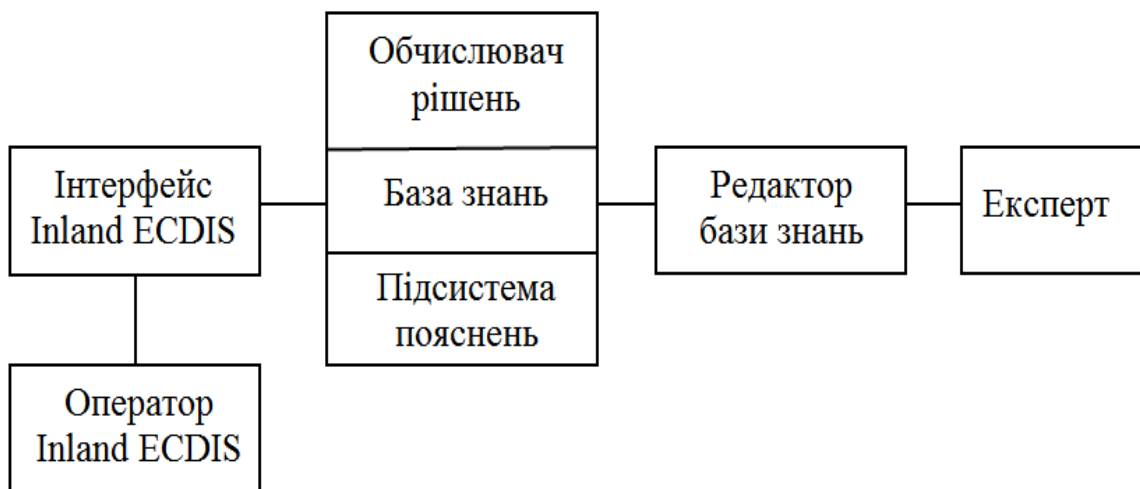


Рис. 3.7. Узагальнена структура ES

*Функціонування ES:*

- 1) оператор через інтерфейс Inland ECDIS надсилає запит до ES;
- 2) обчислювач рішень, користуючись базою знань, генерує і видає користувачеві відповідну рекомендацію за допомогою підсистеми пояснень. При цьому фіксується множина рішень. Далі з наборів множини рішень формується алгоритм, який складається з послідовності кроків до отримання рішення.

Використання NN в ES являє собою порівняння вхідної і вихідної інформації з застосуванням певної функції. Ця функція визначається на етапі навчання нейромережі. Мережа паралельно обробляє інформацію іншими ланками NN. Таким чином, використання NN для діагностики передачі даних це навчання NN для розпізнавання усіх аномальних станів.

Особливості використанні NN в ES [56, 125]:

1) на відміну від звичайних ES нейромережею NN вирішуються задачі при невідомих закономірностях між вхідними та вихідними даними. Таким чином, NN визначає неінформативні сигнали;

2) NN можуть бути легко навчені роботі в умовах коливань параметрів середовища [56, 125].

Необхідно відзначити, що сукупне використання методів ES і NN (ESNN) є найбільш ефективним і дає можливість формування *гібридної інтелектуальної системи*. В ESNN навчена NN замінює базу знань. Якщо результати навчання NN не достовірні ( $N^{(-)}$ ), то буде використовувється база знань NN ( $N^{(B3)}$ ). Таким чином діє правило « $N^{(-)} \rightarrow N^{(B3)}$ ». Штучні NN при застосуванні:

- не використовують логіку;
- не використовують досвід і вміння експерта;
- наслідують процес навчання мозку людини для знаходження залежності

між вхідними та вихідними даними. Причому, це не задається розробником.

Головний елемент NN є математична модель штучного нейрона (рис. 3.1). Штучні нейрони групуються в структури і навчаються з використанням набору даних. ESNN дозволяє *мінімізувати* недоліки моделей діагностики мережевих аномалій, в чому і полягає їх перевага перед іншими моделями діагностики.

Початкова вибірка для обчислень ESNN полягає у наступному [56, 125]:

$$ES = \langle K^B, F^B, R^B, I^e, R^e \rangle, I^e = \langle I^{e1}, I^{e2}, I^{e3}, I^{e4} \rangle;$$

$$NN = \langle Ar, X, Y, M^n, Ed, I^{n1}, I^{n2} \rangle;$$

$$ESNN = \langle K^B, X, Y, Ed, R', I^{n1}, I^{n2} \rangle, \quad (3.10)$$

де  $K^B$  – база знань у формі правил;  $F^B$  – база фактів про систему  $Z$ ;  $R^B$  – база виводів;  $R^e$  – системоутворюючі відносини;  $I^e$  – інтерпретатор;  $I^{e1}$  – процес вибору з бази знань підмножини активних правил;  $I^{e2}$  – процес зіставлення з образом для активних правил;  $I^{e3}$  – процес розв'язання конфліктів правил;  $I^{e4}$  – процес виконання правил;  $Ar$  – архітектура NN;  $X, Y$  – множина входів і виходів NN;  $M^n$  – множина штучних нейронів;  $Ed$  – навчальна і тестуюча послідовність;  $I^{n1}, I^{n2}$  – інтерпретатори навчання і обчислення.

У такій ESNN зберігається правило ES

$$N^{(-)} \rightarrow N^{(B3)}.$$

Далі ESNN отримує новий набір даних  $R^e$ . Тоді правило  $(N^{(-)} \rightarrow N^{(B3)})$  починає діяти після здійснення опитування системи і виконання обчислень. Вираз (3.10) дозволяє зберігати досвід системи в цілому в *неявному вигляді*. Для зберігання досвіду системи в *явному вигляді* застосуємо модель ESNN, засновану на прецедентах  $(Pr)$  – ESNN<sup>P</sup> [56, 125].

$$\begin{aligned} ES^P &= \langle K^{B1}, K^{B2}, A(p), I^P \rangle, \quad I^P = \langle I^{P1}, I^{P2}, I^{P3}, I^{P4} \rangle; \\ ESNN^P &= \langle K^B, K^{Bp}, A(p), R'', I^{mp}, I^{m2}, I^P \rangle, \end{aligned} \quad (3.11)$$

де  $K^{B1}, K^{B2}$  – бази одиниць  $Pr$  і одиниць загальних знань про предметну область;  $A(p)$  – алгоритм визначення схожих  $Pr$ ;  $I^P$  – інтерпретатор;  $I^{P1}$  – виявлення;  $I^{P2}$  – адаптація;  $I^{P3}$  – перегляд;  $I^{P4}$  – збереження;  $K^B, K^{Bp}$  – вихідні дані і  $Pr$  в системі бази даних;  $R''$  – системоутворюючі відносини нової гібридної ІС;  $I^{mp}$  – навчання NN шляхом пред'явлення  $Pr$  в якості тестових прикладів;  $I^{m2}$  – нейромережевий пошук рішень в новій системі.

Побудова ESNN<sup>P</sup>.

Складаються тести (умова: «Так» → id 1 або «Ні» → id 0). Відповіді (рис. 3.8) застосовуються у вигляді трьох векторів. Наприклад:  $\{\dots, 1, 0, 1, \dots\}$ ,  $\{\dots, 1, 0, 1, \dots\}$  і  $\{\dots, 1, \dots\}$ .

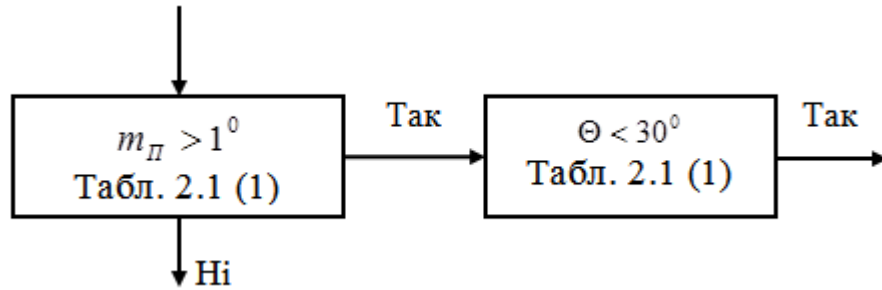
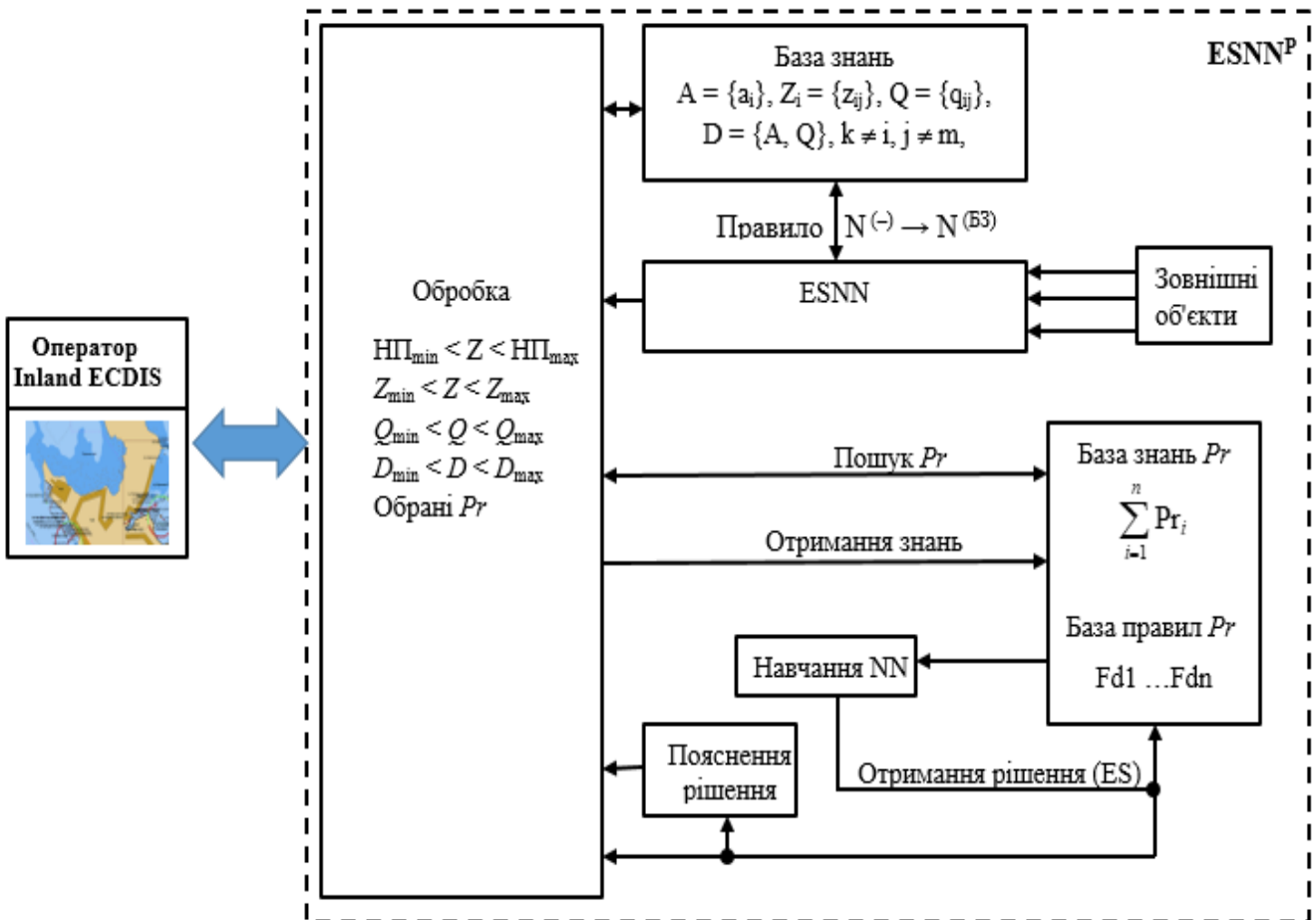


Рис. 3.8. Частина вирішального дерева

Аналогічно будується вектор вихідних значень. Якщо на виході NN, при діагностуванні, отримуємо 1, то на дане діагностування слід звернути увагу, так як воно може бути причиною помилки.

Рис. 3.9. Структура  $ESNN^P$ , що заснована на  $Pr$ 

Розроблена інтелектуальна  $ESNN^P$  для обробки потоків даних при ІМН складається з наступних функціональних модулів (рис. 3.9):

- обробки потоку даних, що надходять до Inland ECDIS;
- база знань елементів, що визначені при системному аналізі;
- ESNN для обробки даних від зовнішніх об'єктів і навігаційних датчиків;
- база знань  $Pr$  з базою правил  $Pr$
- пояснення рішення.

Пояснимо функціональну взаємодію елементів, що показана на рис. 3.9: пошук  $Pr$ , отримання знань нейромережею фактів і правил, навчання NN.

1) Пошук  $Pr$  (рис. 3.10) здійснюється за ступенем близькості прецедентів  $\Delta S$  і визначається за виразом [56, 72, 125]:

$$\Delta S = \frac{\sum_{i=1}^n [w_i F_{CX}(a_i^B, a_i^D)]}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad F_{CX}(a_i^B, a_i^D) = \frac{n_{BD}}{N}, \quad (3.12)$$

де  $w$  - вага ознаки;  $F_{CX}$  – функція схожості;  $a_i^B, a_i^D$  – значення  $i$ -ї ознаки  $Pr$  в різні моменти часу;  $F_{CX}(a_i^B, a_i^D)$  – метрика Хеммінга;  $n_{BD}$  – число співпадаючих ознак у  $a^B, a^D$ ;  $N$  – загальне число ознак.

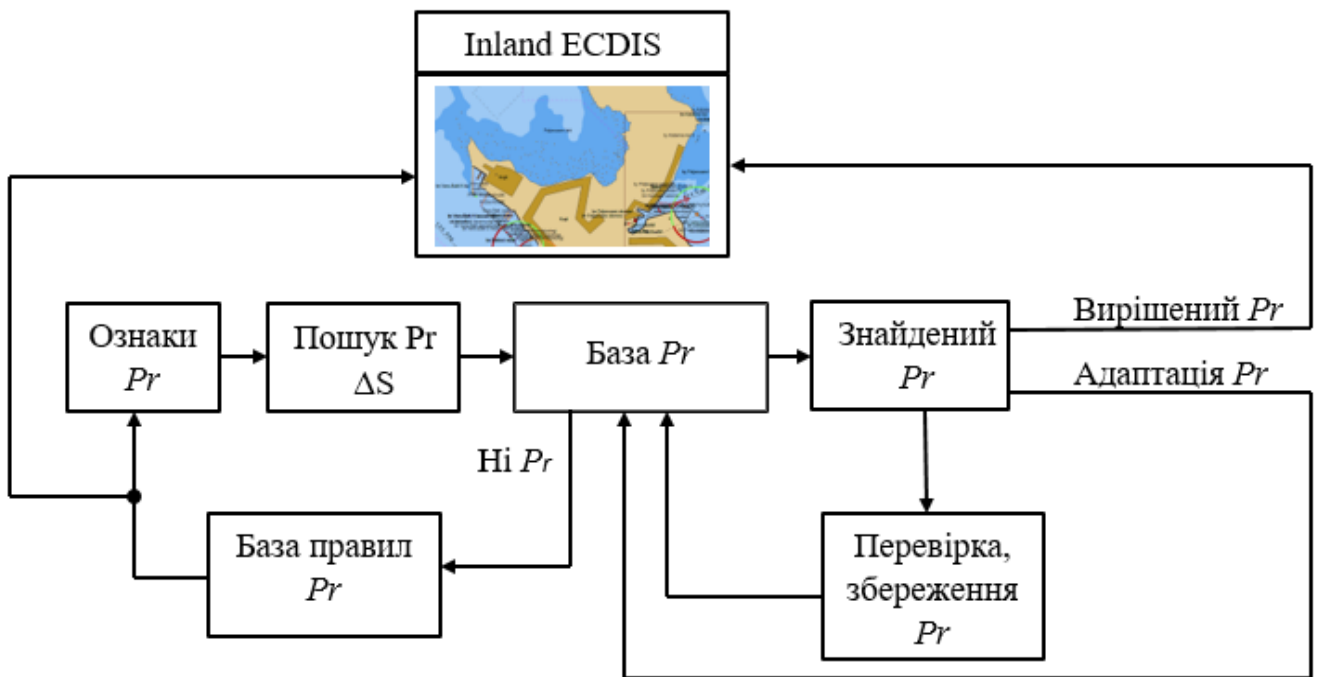


Рис. 3.10. Лінійний алгоритм пошуку  $Pr$

2) Якщо  $Pr$  відсутній в базі знань, то завдання передається на вхід Базу правил, яка представляє собою нейромережу фактів і правил [56, 125]. Вузлами мережі є нейрони, що витягаються із  $Pr$ . Зв'язки між вузлами мережі реалізують правила (рис. 3.11).

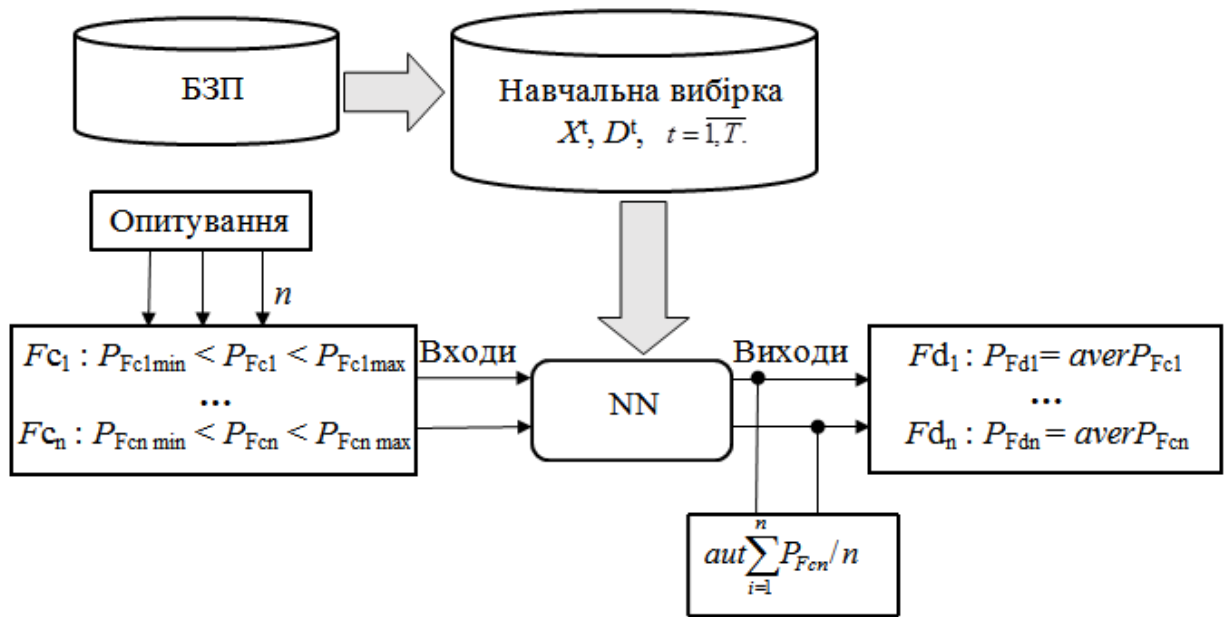


Рис. 3.11. Нейро-експертна мережа правил на базі  $Pr$

де  $Fc_1, Fc_2 \dots Fc_n$  – вхідний вектор NN, факт-причина (fact-cause);  $P_{Fc1}, P_{Fc2} \dots P_{Fcn}$  – ймовірності факту для виконання умов;  $Fd_1, Fd_2 \dots Fd_n$  – вихідний вектор NN, факт-рішення (fact-decision);  $P_{Fdl}, P_{Fd2} \dots P_{Fdn}$  – ймовірності факту-рішення;  $averP_{Fc1}$  – усереднене значення  $P_{Fc1}, P_{Fc2} \dots P_{Fcn}$  [56, 125].

3) Навчання NN проводиться за методом зворотного поширення помилки з урахуванням Базу знань  $Pr$ . Використовуємо NN, що складається з трьох шарів і має два входи і один вихід для сигналів класу 1 (рис. 3.12). У процесі навчання відбувається підстроювання ваг зв'язків між нейронами. Активність нейронів з проміжних шарів обчислюється шляхом підсумовування вагових коефіцієнтів усіх зв'язків нейрона [56, 72, 125].

Нейрон складається з двох елементів. Перший елемент – дендрити – додають вагові коефіцієнти до вхідних сигналів  $Fc_n$ . Другий елемент – тіло – реалізує нелінійну функцію активації нейрона (табл. 3.8).

$$y = f(e), \tag{3.13}$$

де  $e$  – зважена сума вхідних сигналів.  $e = x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_n w_n$ .

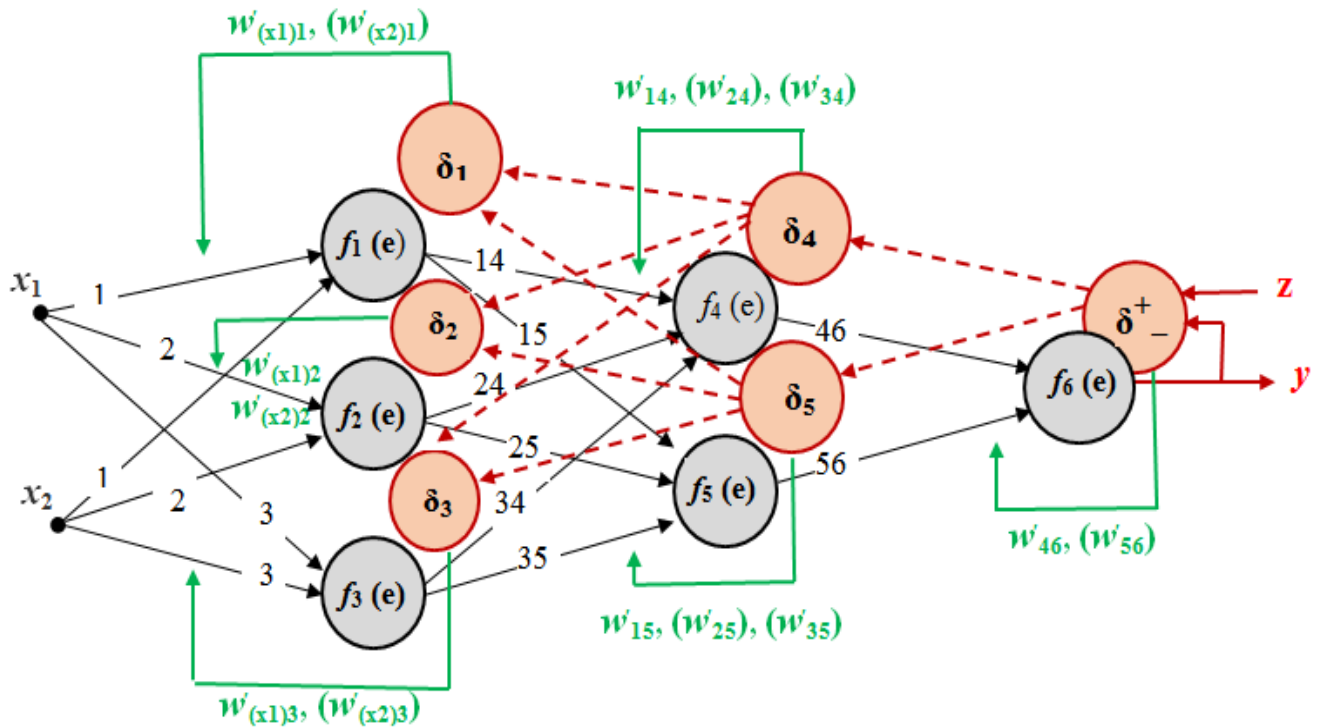


Рис. 3.12. Навчання NN за методом зворотного поширення помилки [56, 125]

Таблиця 3.11

Поширення прямих сигналів через шари NN

Вхідний шар	Прихований шар	Прихований шар	Вихідний шар
1– $idw_{(x1)1} \vee idw_{(x2)1} : \Leftrightarrow x_1 \vee x_2$ .	14– $idw_{14}$ .	15– $idw_{15}$ .	46– $idw_{46}$ .
2– $idw_{(x1)2} \vee idw_{(x2)2} : \Leftrightarrow x_1 \vee x_2$ .	24– $idw_{24}$ .	25– $idw_{25}$ .	56– $idw_{56}$ .
3– $idw_{(x1)3} \vee idw_{(x2)3} : \Leftrightarrow x_1 \vee x_2$ .	34– $idw_{34}$ .	35– $idw_{35}$ .	

Використовуючи рис. 3.12 і дані таблиці 3.11, визначимо вихідні сигнали нейронів відповідно до виразу 3.13 [56, 125].

$$\begin{aligned}
y_1 &= f_1(w_{(x1)1}x_1) + w_{(x2)1}x_2, & y_4 &= f_4(w_{14}y_1 + w_{24}y_2 + w_{34}y_3), \\
y_2 &= f_2(w_{(x1)2}x_1) + w_{(x2)2}x_2, & y_5 &= f_5(w_{15}y_1 + w_{25}y_2 + w_{35}y_3), \\
y_3 &= f_3(w_{(x1)3}x_1) + w_{(x2)3}x_2, & y_6 &= f_6(w_{46}y_4 + w_{56}y_5).
\end{aligned} \tag{3.14}$$

Обчислення сигналу помилки [56, 125].

$$\begin{aligned}
\delta &= z - y \rightarrow \delta_4 = w_{46}\delta \rightarrow \delta_5 = w_{56}\delta \rightarrow \delta_1 = w_{14}\delta_4 + w_{15}\delta_5 \rightarrow \\
&\rightarrow \delta_2 = w_{24}\delta_4 + w_{25}\delta_5 \rightarrow \delta_3 = w_{34}\delta_4 + w_{35}\delta_5.
\end{aligned} \tag{3.15}$$

У зв'язку з використанням методу градієнтного спуску в алгоритмі зворотного поширення помилки обчислюємо похідну  $df(e)/de$  через активаційну функцію (табл. 3.8(3)) [56, 125]

$$\begin{aligned}
w'_{(x1)1} &= w_{(x1)1} + \mu\delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_1, & w'_{(x2)1} &= w_{(x2)1} + \mu\delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_2, \\
w'_{(x1)2} &= w_{(x1)2} + \mu\delta_2 \frac{df_2(e)}{de} x_1, & w'_{(x2)2} &= w_{(x2)2} + \mu\delta_2 \frac{df_2(e)}{de} x_2, \\
w'_{(x1)3} &= w_{(x1)3} + \mu\delta_3 \frac{df_3(e)}{de} x_1, & w'_{(x2)3} &= w_{(x2)3} + \mu\delta_3 \frac{df_3(e)}{de} x_2, \\
w'_{14} &= w_{14} + \mu\delta_4 \frac{df_4(e)}{de} y_1, & w'_{24} &= w_{24} + \mu\delta_4 \frac{df_4(e)}{de} y_2, & w'_{34} &= w_{34} + \mu\delta_4 \frac{df_4(e)}{de} y_3 \\
w'_{15} &= w_{15} + \mu\delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_1, & w'_{25} &= w_{25} + \mu\delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_2, & w'_{35} &= w_{35} + \mu\delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_3 \\
w'_{46} &= w_{46} + \mu\delta \frac{df_6(e)}{de} y_4, & w'_{56} &= w_{56} + \mu\delta \frac{df_6(e)}{de} y_5.
\end{aligned}$$

Коефіцієнт  $\mu$  впливає на швидкість навчання NN. Способи вибору  $\mu$ :

- 1)  $\mu_{\max} \rightarrow \mu_{\min}$ .
- 2)  $\mu_{\min} \rightarrow \mu_{\max} \rightarrow \mu_{\min}$ .

### 3.4. Розв'язування задачі розміщення об'єктів зовнішнього середовища для отримання оптимального потоку навігаційних даних

Розміщення об'єктів зовнішнього середовища (*obj*) для отримання оптимального потоку навігаційних даних при ІМН на ВВШ пов'язане з виконанням вимог до щільності і якості розміщення *obj*. Вирішення завдання зводиться до визначення у двомірному просторі сумарних довжин зв'язків кожного нерозміщеного *obj* з уже розміщеними. Довжину зв'язку між *obj* визначимо величиною, рівною площі прямокутника, яка є функцією зони їх дії, та технічних обмежень. При цьому можна однозначно визначити одну із задалегідь призначених позицій *obj*. Множину взаємопов'язаних *obj* визначимо множиною  $M\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ . Кожному *obj*  $m_j$  відповідає вектор опису  $\bar{X}_j$ , а множині  $M$  – множина векторів опису  $X\{\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n\}$ . Завдання полягає в розбитті  $M$  по множині  $X$  на  $m$  груп. Число груп  $m$  визначається в процесі вирішення оптимізаційної задачі при встановленні класів вхідних сигналів в NN ІМН (рис. 3. 3) [1].

$$\bar{X}_j = x : A = \|a_{ij}\|_{m \times n} \Rightarrow \delta_i = \left( \frac{n_j}{\sum_{j=1}^{n_j} a_{ij}} \right)^T, \quad \delta_i < \varepsilon_j \Rightarrow obj \in J, \quad (3.16)$$

де  $\bar{X}_j$  – вектор опису;  $x$  – одна вимірювана характеристика;  $A$  – матриця, яка визначає зв'язність елементів;  $\delta_i$  – коефіцієнт віддаленості *obj*  $m_i$  в  $J$  групі;  $n_j$  – число елементів в групі;  $\sum_{j=1}^{n_j} a_{ij}$  – сума зв'язків  $m_i$  елементів з *obj*  $n_j$  в групі,  $T$  – евристична *const*;  $\varepsilon_j$  – порогове значення для  $\delta_i$ .

$$Opt m = \left( K = \sum_{j=1}^m \frac{S_j^1}{S_j^{11}} \right) \rightarrow K_{\min}, \quad a_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{S_{ij}}, \quad (3.17)$$

де  $S_j^1$  – число міжгрупових зв'язків  $J$  групи;  $S_j^{11}$  – число внутрішньогрупових зв'язків при розбитті множини *obj* на  $m$  груп;  $a_{ij}$  – міра віддаленості між  $I$  і  $J$  групами;  $n_I$  і  $n_J$  – число елементів у  $I$  і  $J$  групах;  $S_{IJ}$  – міжгрупові зв'язки.

Для розміщення *obj* на початку розмістимо групи *obj*, а потім *obj* у межах груп. Практично можуть виникнути два варіанти розміщення *obj* в акваторії руху суден на ВВШ. Місця розміщення *obj* будуть залежати від коефіцієнта заповнення  $\eta$  [1]:

$$1) \quad \eta < 0.6, \quad l \lll D_{obj} \Rightarrow f(x_0 - 0) = f(x_0 + 0) = f(x_0), \quad \forall x \in R, \quad x(t) = T_t \cdot x(t_0),$$

де  $l$  – інтервал розбиття;  $D_{obj}$  – дальність дії *obj*;  $f(x_0)$  – функція вирішення безперервного завдання;  $x(t)$  – ознака динамічної системи в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища на неї.

$$2) \quad \eta > 0.6, \quad l := D_{obj} \Rightarrow M \left\{ \overset{obj\ 1}{\varphi_1, \lambda_1}, \overset{obj\ 2}{\varphi_2, \lambda_2}, \dots, \overset{obj\ n}{\varphi_n, \lambda_n} \right\}, \quad \overset{obj_i}{\varphi_i, \lambda_i} = id(x_i, y_i), \quad \overset{obj_j}{\varphi_j, \lambda_j} = id(x_j, y_j).$$

Для проєкцій зон дії *obj* на SENC застосуємо геометричні фігури для простого аналітичного опису їх оболонок. Оболонку *obj* можна розглядати в якості її геометричної моделі, що дає можливість враховувати параметри *obj*, які не пов'язані з його конфігурацією. Таким чином, для двомірного випадку зоною впливу є основа паралелепіпеда, яка наноситься на SENC [1].

$$L = \sum_{ij=1}^{k_j} a_{ij} \left[ |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \right] \quad (3.18)$$

де  $L$  – сумарна довжина зв'язків, оцінює якість розміщення об'єктів у межах групи з обмеженням по довжині найбільшого зв'язку;  $a_{ij}$  – число зв'язків  $i$  та  $j$  об'єктів з  $k_j$  в групі.

Знаходження екстремуму функції.

Екстремум функції якості знаходимо в  $2K_i$ -мірному паралелепіпеді:

$$A_i^{(1)} \leq \bar{x}_i \leq B_i^{(1)}, \quad A_i^{(2)} \leq y_i \leq B_i^{(2)}, \quad i = 1, 2, \dots, k_i.$$

Наносимо  $x_i, y_i; x_j, y_j$  – послідовні випадкові точки, в яких обчислюється значення критерію якості з рівномірним розподілом в  $2K_i$ -мірному паралелепіпеді, і  $R$  – радіус кулі з центром в точці з *min* значенням критерію якості для кожної пари точок.

$$R = \frac{|F(\bar{x}_1) - F(\bar{x}_2)|}{C},$$

де  $C$  – const критерій якості Ліпшиця [38]. Оцінюється методом довірчих інтервалів за попередньо обчисленими значеннями критерію якості в деякому числі випадкових точок. Умова критерію Ліпшиця для функції  $R$  в обмеженій області:

$$|F(\bar{x}_1) - F(\bar{x}_2)| \leq C \|x_1 - x_2\| : \forall (x_1, x_2) \in \Omega \|x\|$$

$$|F(\bar{x}_1) - F(\bar{x}_2)| : \Leftrightarrow f(x_0 - 0) = f(x_0 + 0) = f(x_0) \Rightarrow C \leq \sup \|f'(x)\|.$$

У процесі знаходження екстремуму паралелепіпед покривається кульовими областями поки  $2K_f$ -мірний об'єм доповнення не виявиться менше заданого числа (число  $\delta$  – задана точність по аргументу). Міра доповнення оцінюється за методом Монте-Карло [1, 61]. Суть методу полягає в процесі моделювання за допомогою багаторазового нанесення точок. Середня відстань між двома нанесеними точками в колі знаходиться осередненням відстаней в множині пар точок. На підставі отриманих даних обчислюються імовірнісні характеристики розв'язуваної задачі. Точність залежить від кількості точок  $N$ .

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{N} \sum_{i=1}^N f(u_i).$$

Якщо міра доповнення до кульових областей стане менше заданого числа, то вихідна область замінюється перетином вихідного паралелепіпеда з новим, у якого сторони в  $Q$  раз менше ( $Q$  – евристична const) і центр якого знаходиться в оптимальній точці попереднього етапу пошуку. Далі пошук в новій області ведеться так само, як і в попередній, і вся викладена вище процедура повторюється до тих пір, поки значення критерію якості на двох послідовних етапах не стануть відрізнятися на величину меншу, ніж  $\varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$  є точністю обчислення екстремуму) [1].

Для формування точки в просторі пошуку визначаються орієнтація  $\beta$  кожного  $obj$  з обраної групи і його положення на площині. При визначенні орієнтації використовуються точки з рівномірним розподілом на відрізку  $(0,1) \rightarrow id(A_i, B_i)$  [1].

$$Or[(2\rho)+1]=1 \Leftrightarrow \max(a_i, b_i) \parallel X : I, \quad Or[(2\rho)+1]=2 \Leftrightarrow \max(a_i, b_i) \parallel Y : I;$$

$$A_i = A - \max(a_i, b_i) : I, \quad B_i = B - \max(a_i, b_i) : I, \quad x_i = A_{i0} + A_i \rho_1, \quad y_i = B_{i0} + B_i \rho_2, \quad (3.19)$$

де  $\rho$  – випадкова величина відрізка  $(0,1)$ ;  $A_{i0}, B_{i0}$  – координати нижньої лівої вершини робочої зони для  $i$ -го елемента;  $x_i, y_i$  – координати центру  $i$ -го елемента;  $I$  – ознака орієнтації ( $Or$ );  $A_i, B_i$  – допустима зона координат.

Аналогічно виконуються операції для  $(i+1)$ -го елемента з подальшим перетином з  $i$  елементами. Перетин двох прямокутників з паралельними сторонами є прямокутник (рис. 3.13).

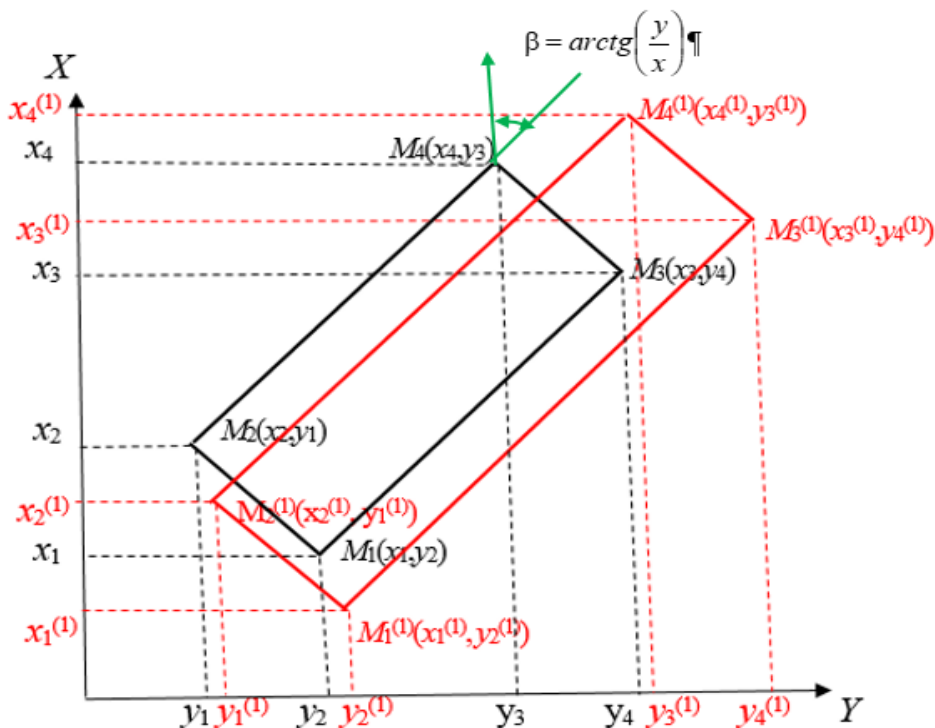


Рис. 3.13. Перетин двох прямокутників з паралельними сторонами

$$\begin{cases} Cr_1 = \{ M_1(x_1, y_2), M_2(x_2, y_1), M_3(x_3, y_4), M_4(x_4, y_3) \}, \\ Cr_1^{(1)} = \{ M_1^{(1)}(x_1^{(1)}, y_2^{(1)}), M_2^{(1)}(x_2^{(1)}, y_1^{(1)}), M_3^{(1)}(x_3^{(1)}, y_4^{(1)}), M_4^{(1)}(x_4^{(1)}, y_3^{(1)}) \}. \end{cases} \xrightarrow{dec} \Delta_1 > 0 \ \& \ \Delta_2 > 0, \\ \Delta_1 = (x_2^{(1)} - x_1)(x_2 - x_1^{(1)}), \ \Delta_2 = (y_2^{(1)} - y_1)(y_2 - y_1^{(1)}), \end{cases} \xrightarrow{Cr_1 wr Cr_2}$$

де  $Cr_1, Cr_1^{(1)}$  – координати вершин прямокутників (Coordinates rectangle).

Якщо рішення (decision) не виконується, то визначаються орієнтація і координати наступного елемента і процедура повторюється. Фіксоване розміщення є  $2K_i$ -мірна точка для обчислення функції якості. Таким чином, при дискретному розміщенні *obj* число вузлів сітки, в які поміщаються центри елементів, можна порівняти з кількістю елементів. Виходячи з рис. 3.3 в таблиці 3.12 показані групи *obj* (розміщені і нерозміщені) для забезпечення ІМН на ВВШ України [1].

Таблиця 3.12

Розміщені і нерозміщені групи *obj* для вхідних сигналів класів 1 - 6

Клайстери	<i>Opt m</i>	<i>Opt n</i>	$K_{\min}$	$\eta$	Дообладнання, %
WS	6	27	0,89	0,70	40
RIS		7	0,96	0,85	50
AIS		24	0,97	0,95	70
Inland radar (ІКВ)		15	0,65	0,70	100
Inland ECDIS		98	0,85	0,70	50
GPS(DGPS→AIS)		24	0,95	0,65	70

Покрокова побудова осередків (cell) в розміщених групах *obj* [1]:

RIS → WS → AIS → GPS → Inland radar → Inland ECDIS.

$$\Omega_1 \|\overline{RIS}\| = \Omega_2 \|\overline{WS}\| = \Omega_3 \|\overline{AIS}\| = \Omega_4 \|\overline{GPS}\| = \Omega_5 \|\overline{IR}\| = \Omega_6 \|\overline{IE}\| : \Omega_1 \|\overline{RIS}\| = L. \quad (3.20)$$

$$\Omega_1 \|\overline{RIS}\| = \sum_{i=1}^{h+1} (\Omega_i^{(WS)} + \Omega_{\Delta_i}^{(WS)}) = \sum_{j=1}^{24} \Omega_j^{(AIS)} : \Omega_1 \|\overline{RIS}\| - \sum_{j=1}^{24} \Omega_j^{(AIS)} = 0 \Leftrightarrow \{ \}. \quad (3.21)$$

$$n_{\text{cell}} = a_{\text{cell}} b_{\text{cell}}. \ I = Or[(n-I+1)p]+1, \ i=1, 2, \dots, n. \ I_1 = Mod(I, a_{\text{cell}}),$$

$$I_2 = (I-I_1)/a_{\text{cell}} + 1. \ x = a_{\text{cell}}0 + (L_1 - 1)d_{\text{hor}}, \ y = b_{\text{cell}}0 + (L_2 - 1)d_{\text{vert}}.$$

$$I_1 = 0 \ id \ I_1 \Rightarrow I_1 = a_{\text{cell}}.$$

де  $\Omega_1 \|\overline{RIS}\|$ ,  $\Omega_2 \|\overline{WS}\|$ ,  $\Omega_3 \|\overline{AIS}\|$ ,  $\Omega_4 \|\overline{GPS}\|$ ,  $\Omega_5 \|\overline{IR}\|$ ,  $\Omega_6 \|\overline{IE}\|$  – обмежені області дії *obj*;  $h$  – кількість шлюзів;  $\Omega_i^{(WS)}$ ,  $\Omega_j^{(AIS)}$  – обмежені області дії одиночних *obj WS* і *AIS*;  $\Omega_{\Delta_i}^{(WS)}$  – обмежена область дії додаткових *WS*;  $a_{cell}$  – рядність осередків по вертикалі;  $b_{cell}$  – рядність осередків по горизонталі;  $I$  – номер осередків;  $I_1$  – номер ряду по вертикалі;  $I_2$  – номер ряду по горизонталі;  $a_{cell 0}$ ,  $b_{cell 0}$  – координати першого осередку;  $d_{hor}$ ,  $d_{vert}$  – крок по горизонталі і крок по вертикалі.

Експертний аналіз виразів (3.20, 3.21) і таблиці 3.12 щодо *obj* показує [1]:

1) RIS.

$\Omega_1 \|\overline{RIS}\|$  охоплює всю область суднового ходу на річці Дніпро.

$$M^{(RIS)} = M\{x_1^{(RIS)}, x_2^{(RIS)}, \dots, x_5^{(RIS)}\}, \quad (3.22)$$

де  $x_1^{(RIS)}$ ,  $x_2^{(RIS)}$ ,  $\dots$ ,  $x_5^{(RIS)}$  – служби RIS (інформація про фарватер, сповіщення, гідроспороди, рух, інша інформація).

$$x_1^{(RIS)} = M\{x_{11}^{(RIS)}, x_{12}^{(RIS)}, \dots, x_{17}^{(RIS)}\},$$

де  $x_{11}^{(RIS)}$ ,  $x_{12}^{(RIS)}$ ,  $\dots$ ,  $x_{17}^{(RIS)}$  – тактична інформація (рівні води, габарити суднового ходу, шляхова інформація, дані про ЗНО, стан фарватеру на ділянках, метеоумови, інша інформація).

Елементи  $x_2^{(RIS)}$ ,  $x_3^{(RIS)}$ ,  $x_{12}^{(RIS)}$ ,  $x_{13}^{(RIS)}$ ,  $x_{14}^{(RIS)}$ ,  $x_{15}^{(RIS)}$  – відносяться до автоматизованої коректури (АК) ENC  $\rightarrow$  SENC з використанням мережі Internet і E-mail. Таким чином

$$\Omega(АК) = \Omega\{x_2^{(RIS)}, x_3^{(RIS)}, x_{12}^{(RIS)}, x_{13}^{(RIS)}, x_{14}^{(RIS)}, x_{15}^{(RIS)}\} \in \Omega_1 \|\overline{RIS}\|.$$

Реалізація АК Inland ENC здійснюється ДП «Держгідрографія». До теперішнього часу проблема  $\overline{AK}_{ENC} \rightarrow \overline{AK}_{SENC}$  не вирішена.

2) WS.

$$D_1 < \Omega_i^{(WS)} < D_2, \Omega_j^{(AIS)} \in \Omega_i^{(WS)}, \int_{D_1}^{D_2} f(x) dx, x = K_1 \Omega_j^{(AIS)} = K_2 \Omega_i^{(WS)}, \quad (3.23)$$

де  $D_1, D_2$  – відстань від гирла річки до шлюзів (вгору за течією).

Для елемента  $x_{11}^{(RIS)}$  крім обчислення поправок до глибин вручну пропонується автоматизоване отримання диференціальних поправок до вимірних глибин  $h(t)$ , які позначені на SENC, відповідно до повного виразу (2.22).

$$h(t) = \frac{1}{\underbrace{\det(pE - A)}_{(C)_{i,j}}} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01BII} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01BII})_{i,1}\|. \quad (3.24)$$

Технічна реалізація методу викладена в [9].

### 3) GPS.

$$M_{\text{визн}} = m_p \sec h_{\text{ссе}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} = m_p \cdot G, \quad G = \sec h_{\text{сеп}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}},$$

де  $G$  – геометричний фактор. Для р. Дніпро:  $1,5 < G < 5$ .

$M_{\text{GPS}} = 5-30$  м,  $M_{\text{DGPS}} = 1 \div 5$  м,  $M_{\text{ГЛОНАСС}} = 20 \div 35$  м при  $P = 95\%$ .

Точність визначення місцезнаходження при русі суден  $M_{\text{визн}} < 10$  м. Таку точність можна отримати при  $M_{\text{GPS}} = 1-5$  м.

### 4) AIS → DGPS.

Використання режиму диференціальної корекції (DGPS).

Режим диференціальної корекції (DGPS) пропонується здійснювати через AIS автоматизованих постів RIS. Математична модель полягає у наступному.

*Перший спосіб.* Спосіб, аналогічний математичній моделі, відображеній за допомогою виразу (2.7) і рис. 2.6 [55].

Так, при використанні двох антен GPS (AIS) (GPS входять до складу кожної AIS), отримуємо інформацію про їх місцезнаходження по сигналах GPS. Антени GPS (AIS) розташовані на відомій відстані одна від одної. У цьому випадку виникає необхідність оцінки достовірності інформації про координати судна з метою їх подальшого використання при побудові траєкторії руху або зони його



*Другий спосіб.* Спосіб полягає в обчисленні поправок  $\delta D_1$  безпосередньо в береговій AIS при використанні ENC в системі координат WGS-84.

$$\delta D_1 = \bar{M}_{GPS} - \bar{M}_{GEOD} = \sqrt{(\varphi_{GPS} - \varphi_{GEOD})^2 + \left[ (\lambda_{GPS} - \lambda_{GEOD}) \cdot \cos \frac{\varphi_{GPS} + \varphi_{GEOD}}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{GPS} - \varphi_{GEOD}}{\cos K}, \quad (3.26)$$

де  $K$  – локсодромічне направлення.

Спосіб передбачає доопрацювання ПЗ кожної берегової AIS.

Разом з тим слід зазначити, що вищевикладені способи диференціальної корекції інформації відносяться до методу корекції координат, коли на станції і судні спостереження здійснюються за допомогою одних і тих же штучних супутників Землі (ШСЗ). Потім в якості диференціальних поправок з базової станції поправки передаються до виміряних у визначеному пункті координат. Недоліком цього методу є те, що приймачі сигналів GPS повинні працювати по одному робочому сузір'ю ШСЗ, що призводить до зниження точності.

У методі корекції НП визначаються поправки до вимірюваних НП (наприклад, псевдодальностей) для всіх ШСЗ, які потенційно можуть бути використані споживачами. Поправки передаються на пункти, які визначаються, де безпосередньо в GPS-приймачі обчислюються поправки до координат. У багатьох країнах світу вже діє розвинена мережа DGPS-станцій, які постійно транслюють поправки на визначену територію. Наприклад, у прибережній зоні Північної Америки це WAAS (Wide area augmentation system), Європи – EGNOS (European geostationary navigation over lay service), Японії – MSAS (Multi-functional satellite augmentation system) [48]. Система EGNOS поки не має наземних станцій в Україні, що означає неможливість її застосування на річці Дніпро. Ще однією проблемою є низький кут перевищення супутників EGNOS над горизонтом.

##### 5) Inland radar.

Існуючі проблеми для використання Inland radar в річковій *e*-навігації.

а) Inland radar повинен бути обов'язковим датчиком інформації Inland ECDIS (навігаційний режим) [44];

b) відповідати основним експлуатаційним і технічним характеристикам для використання на ВВШ ( $P \geq 0.8$ ,  $D_{\min} \leq 15$  м,  $D_{\max} > 1200$  м,  $\delta D \leq 15$  м,  $a \leq 0.8^0$ ,  $b_{\text{ант}} < 15^0$ ,  $M_D \leq 10$  м,  $M_A \leq |\pm 1^0|$ );

c) у районах з великим впливом рівня води  $h(t)$  на конфігурацію берегової смуги встановлюються пасивні кутові відбивачі (ПКВ);

d) для збільшення точності вимірювання НП в Inland radar у підрозділі 2.4 наведено розроблені алгоритм і схему розпізнавання зображень (SO, S1) змінної Map, змінної Radar по  $\alpha$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \alpha_i$ ),  $\mu$  ( $\overline{\alpha_\Omega, \beta_\Omega} = \mu_i$ ) і кореляційної функції (2.30)

$$D_{S,e} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L (SO_{k,i} \cdot S1_{k,i})}{K_{S,t}}, \quad : K_{S,t} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L SO_{k,l} \quad - \text{нормувальний коефіцієнт}$$

у вигляді послідовних кроків накладення і відображення на дисплеї трьох елементів [4].

Для оцінки ЕПВ радіолокаційного об'єкта під будь-яким кутом вираз (2.23) доповнюється коефіцієнтами радіолокаційного відображення  $\delta\Delta$ . Величина  $\delta\Delta$  вимірюється Inland radar або оцінюється на основі апріорно відомої інформації про поверхню. На SENC автоматично виділяються опорні сегменти поверхні з підвищеною ЕПВ і радіолокаційною контрастністю (мости, берегові орієнтири, дамби, установлені кутові відбивачі), автоматично здійснюється прив'язка об'єктів і точки позиціонування судна.

#### б) Inland ECDIS.

Існуючі проблеми для використання Inland ECDIS в річковій e-навігації.

А. Навігаційна інформація про всі картографічні об'єкти, включаючи *obj*, повинна достовірно відображатися на SENC. Це в першу чергу досягається збільшенням кількості перевидань і коректури Inland ENC. Так, наявні Inland ENC на р. Дніпро 10 – 12 річної давності. Довіряти значенням глибин, особливо за кромкою суднового ходу, означає наражатися на небезпеку або вдаватися до небезпечного самообману. Зазначені глибини, як правило, не достовірні. У таблиці 3.13 наведені дані про кількість перевидань Inland ENC і тривалість їх дії на основних ВВШ Західної Європи і США. Звертає на себе увагу факт частих

перевидань Inland ENC у США. Середній вік карт складає близько одного року. На ВВШ США плавуча система навігаційного обладнання застосовується лише в деяких місцях, а берегові ЗНО майже відсутні. Такий підхід можна пояснити використанням ІМН і практично повною відмовою від лоцманського принципу судноводіння (р. Міссісіпі) [73].

Таблиця 3.13

Відомості про кількість перевидань Inland ENC у різних країнах [73]

Країна, водний шлях	Кількість видань	Використання останнього видання
Німеччина, Дунай	6	1,6
Німеччина, Рейн	3-9	0,5-4,6
Болгарія, Дунай	1	1,3
Австрія, Дунай	5	2,5
Румунія, Дунай	1	0,3
Швейцарія, Рейн	2	5,5
Словаччина, Дунай	1	3,5
Хорватія, Дунай	1	3,3
США, Міссісіпі	19-52	0,8-1,3
США, Міссурі	5-8	0,8-1,3
США, Огайо	8-26	1-1,2

В. У зв'язку з тим, що відомості про масиви глибин швидко втрачають актуальність, ефективним є використання Inland ENC із заданим фарватером ( $F$ ) з гарантованими габаритами ширини, глибини і радіусом заокруглення, що реалізовано в Європі і США (табл. 3.14, рис. 3.15, 3.16) [73].

Таблиця 3.14

Відомості про стан водних шляхів на IENC різних країн [73]

Країна	Inland ECDIS	$h \in$ IENC	$Consth \in$ IENC	$F$	$h \in F$	$\Omega(h)$
Нідерланди	+	-	-	+	-	1
Німеччина	+	-	-	+	+	1-2
Швейцарія	+	-	-	+	+	1-2
Словаччина	+	-	-	+	+	1-2
Австрія	+	-	+	+	-	> 2
Хорватія	+	-	-	+	+	2
Болгарія	+	-	-	+	+	2
Румунія	+	-	-	+	+	2
США	-	-	+	-	-	2
Росія	-	+	+	-	-	2

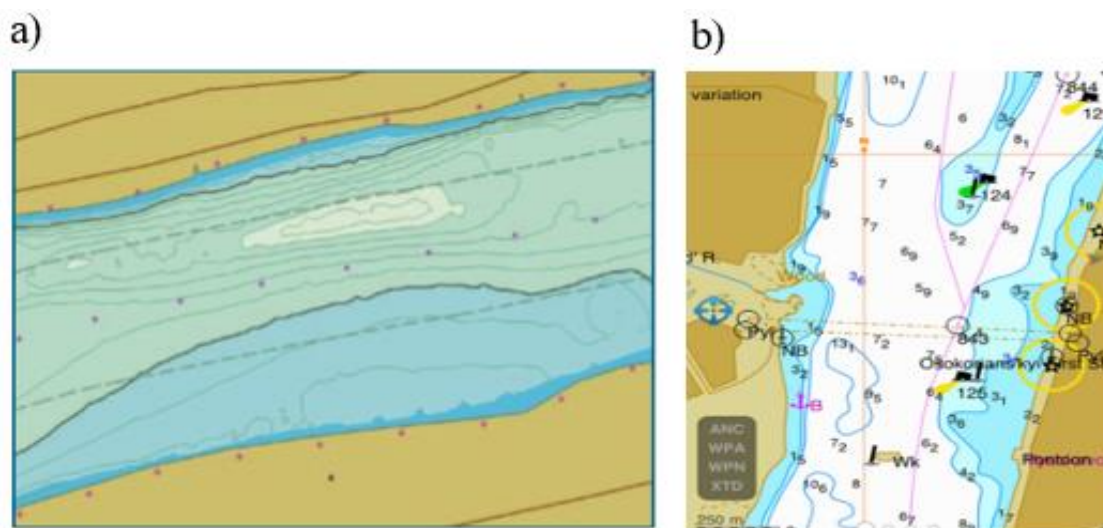


Рис. 3.15. Відображення Inland ENC [73]

a) ENC Австрії (р. Дунай) без відміток глибин;

b) ENC України з деталізованим масивом глибин

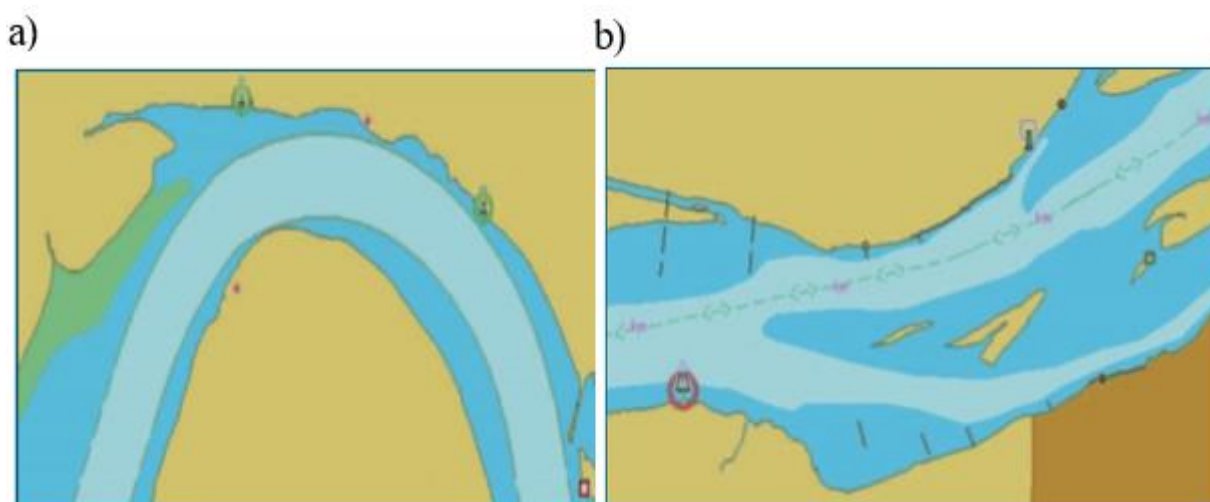


Рис. 3.16. Фрагменти осередків Inland ENC [73].

a) ENC 5C7D1379 (р. Дунай) з гарантованими габаритами  $F$ ;

b) ENC U35UM359 (р. Міссісіпі). Мілини не огорожені.

С. Не зважаючи на значні досягнення в галузі електронної картографії, обов'язковими для використання на ВВШ залишаються тільки паперові річкові навігаційні карти.

Д. При ІМН з метою забезпечення безпеки судноплавства найбільш небезпечні ділянки огорожуються окремими плавучими ЗНО (рис. 3.16-b).

Окремі ЗНО повинні охоплюватися автоматизованою системою моніторингу із застосуванням AIS.

На рис. 3.17 показані пронумеровані осередки для ділянки Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до с. Львове (ENC UA7N0071) [155].

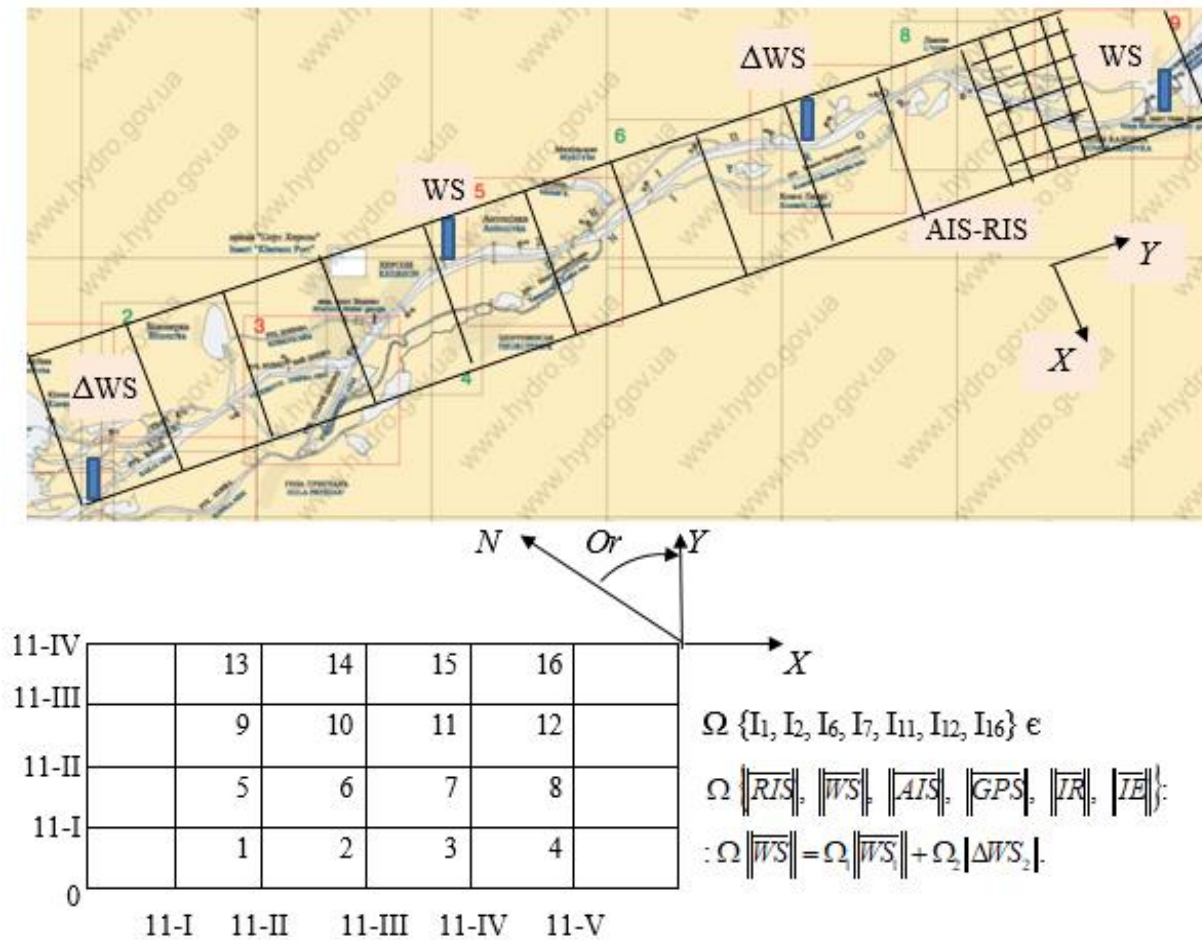


Рис. 3.17. Пронумеровані осередки для ділянки від Каховської ГЕС до с. Львове (ENC UA7N0071) [155]

Ця ділянка є найскладнішою для судноплавства і характеризується перекатами з можливими лімітованими глибинами  $h < 3.65$  м [64]. Ділянка знаходиться в зоні дії WS «Каховська ГЕС – н/б». Для отримання  $h(t)$  за виразом (3.24) наносимо додатковий *obj*  $\Delta WS$ . Відповідно до прийнятого допущення про прямокутні конфігурації оболонок *obj* фіксуємо об'єкти WS у вузлових точках прямокутників в оболонці AIS-RIS. Розміщення фіксується з мінімальним значенням критерію якості  $K_{\min}$  за виразом (3.17). З огляду на низьку ЕПВ берегової смуги при проході

даної ділянки у вузлі осередку № 6 встановлюємо ПКВ на о. Львівський. Висновок: при річковій *e*-навігації по судновому ходу від 0 км р. Рвач до Каховської ГЕС, крім додаткової установки *obj* ΔWS і ПКВ, установка берегових і плавучих ЗНО не буде потрібна. Обов'язкова умова: повинен бути проведений комплекс заходів по радіолокаційному опису узбережжя.

### **Висновки по РОЗДІЛУ 3**

1. Викладений контекстно-орієнтований керований підхід під час інтелектуальної обробки потоків даних в умовах річкової *e*-навігації. Визначені комплексні проблеми системного об'єкта і процесів, що відрізняються від простої суми властивостей елементів з однотипними багаторівневими зв'язками. Для оцінки вирішення завдань контекстно-орієнтованої інтелектуальної обробки безперервного потоку навігаційних даних обґрунтований критеріальний метод, де кожна окремо взята альтернатива оцінюється конкретним числом (критерієм, цільовою функцією). Сформульовані вимоги до управління контекстом.

2. Запропонована модель, що відображує реальну ієрархію засобів управління, які взаємопов'язані та взаємозалежні у системі ІМН. Зафіксований рівень потенціалу якості навігаційних параметрів для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості системи ІМН. На відміну від традиційного вживання нечіткої логіки використаний гібридний підхід, при якому в різних частинах системи функціонують різні обчислювальні моделі, які активно взаємодіють. Вихідна інформація для прийняття автоматизованого рішення (АР) в умовах невизначеності та ризику представлена у вигляді моделі АР. Проаналізовані моделі вибору оптимальної альтернативи в умовах невизначеності.

3. Для реалізації контекстно-орієнтованого підходу побудована ігрова матриця для вибору оптимальної стратегії на основі розробленого переліку інформаційних ситуацій, пов'язаних з невизначеністю зовнішнього

середовища. Запропонована модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності, заснована на критеріях сумарної ефективності. Для вирішення вказаної проблеми застосовані метод нормалізації; вагомий метод і метод згортки.

4. Визначені етапи побудови гібридної нейро-нечіткої моделі з виявленням системи пріоритетів суб'єкта. Застосовані функції активації нейронів. Побудована архітектура штучної нейронної мережі ІМН.

5. Запропонована модель нейро-нечіткої експертної системи (ESNN) у структурі логічних висновків оператора Inland ECDIS. Завдання аналізу та діагностики мереж зведені до пошуку відхилень від нормального режиму функціонування – мережевих аномалій. Проаналізовані методи діагностики мережевих аномалій. На відміну від звичайних експертних систем (ES), які засновані на знаннях, система такого типу може оперувати недостовірними і неповними даними. Знання проблемної області можуть бути використані при навчанні нейронної мережі (NN), а після навчання NN буде відігравати роль набору правил ЯКЩО-ТО – БАЗА ЗНАНЬ. Розроблена математична модель обчислень в ESNN, яка заснована на прецедентах. Запропонована нейро-експертна мережа правил на базі прецедентів.

6. Вирішена задача розміщення об'єктів зовнішнього середовища (*obj*) для отримання оптимального потоку навігаційних даних при ІМН. Вирішення завдання полягало у визначенні у двомірному просторі сумарних довжин зв'язків кожного нерозміщеного *obj* з уже розміщеними. Розглянуті варіанти розміщення *obj* в акваторії руху суден на ВВШ. Запропонований алгоритм покрокової побудови осередків у розміщених групах *obj*. Проведений експертний аналіз математичних виразів, що визначають взаємодію *obj* в системі передачі навігаційних даних в електронно-картографічну систему. Побудовані осередки розміщення *obj* для ділянки Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до с. Львова.

## РОЗДІЛ 4

# ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ І ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 4.1. Програма досліджень показників ефективності інтелектуалізації інтегрованої системи ІМН

Програма експериментальних досліджень базується на запропонованих методах ефективної обробки потоку навігаційних даних від зовнішнього середовища до електронно-картографічної системи при експлуатації водного транспорту в умовах ІМН (річкової е-навігації). Програма характеризується надмірністю взаємозв'язків між багатьма складовими.

*Місце проведення досліджень:*

- Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра технічних систем і процесів управління в судноводінні;
- Центр підготовки фахівців морського та річкового транспорту «Укрводшлях – Training»;
- судно «Vectis Isle», Southern river shipping company.

*Задача проведення досліджень*

Шляхом імітаційного моделювання на УТЦ та вибіркової перевірки на судні виконувалися 2 види робіт:

- розв'язання експлуатаційних завдань за допомогою Inland ECDIS (система відтворення річкових електронних карт SeeMyENC);
- фіксування відповідних показників потоку навігаційних даних від засобів зовнішнього середовища при використанні електронно-картографічних систем.

Таблиця 4.1

Схема нарізки карт, обраних для експериментальних досліджень [155]

Аркуш альбому паперових карт	Inland ENC	Найменування	Масштаб
3528-1	UA5N0000	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 0-5 км	25 000
3528-2	UA7N0005	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 5-17 км	25 000
3528-3	UA8N0017	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 17-29 км	25 000
3528-4	UA8N0023	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 23-37 км	25 000
3528-4А	UA8N0028	Порт Херсон. Центральна частина	10 000
3528-5	UA7N0036	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 36-47 км	25 000
3528-6	UA7N0047	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 47-59 км	25 000
3528-7	UA7N0059	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 59-71 км	25 000
3528-8	UA7N0071	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 71-82 км	25 000
3528-9	UA8N0082	р. Дніпро від Каховської ГЕС до гирла 82-93 км	25 000
3528-10	UA5N0001	Дніпровський лиман. Рукав Конка 0-10 км	25 000
3528-11	UA7N0006	Рукав Конка 10-22 км	25 000

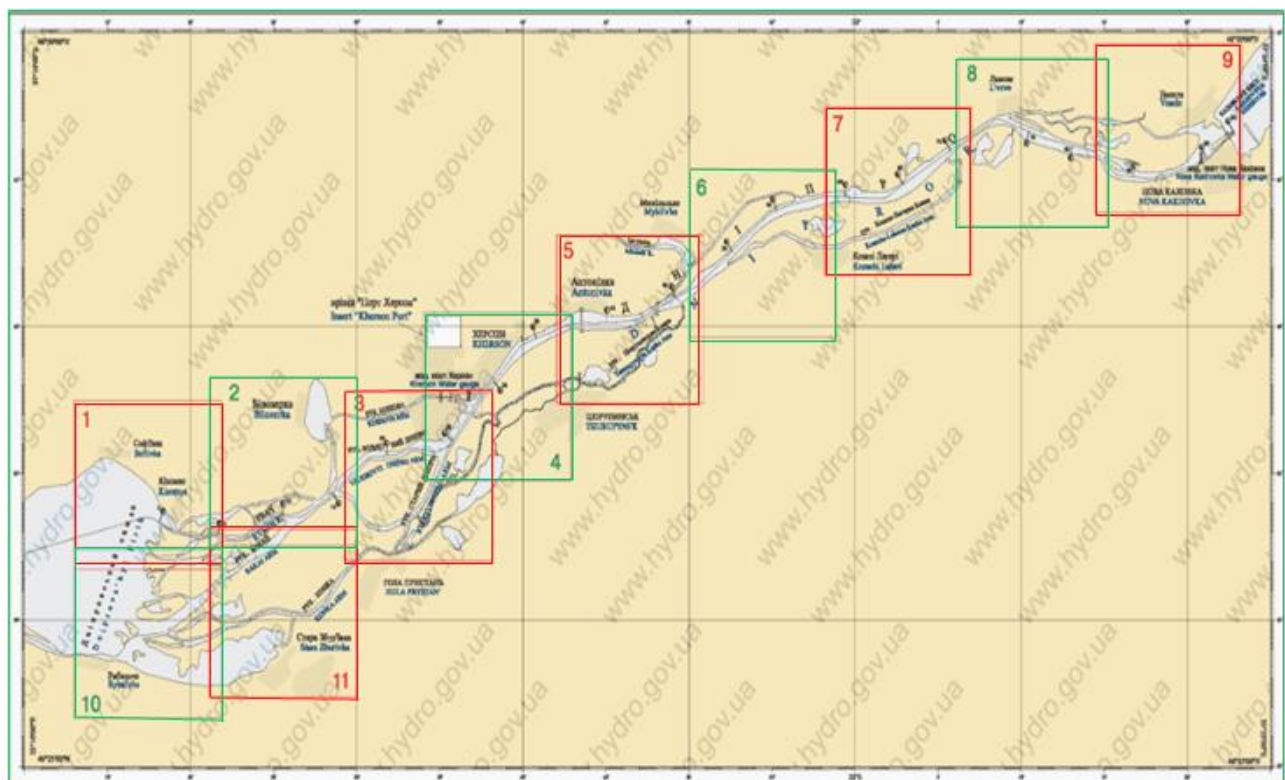


Рис. 4.1. Нарізка Inland ENC (№ 3528, Навігаційна річкова карта Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до гирла) [155]

На підставі аналізу навігаційно-гідрографічної інформації та картографічного забезпечення безпеки судноплавства на р. Дніпро розроблений модульний принцип формування типових ділянок на обраний район Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до гирла, де в якості модулів обрані реальні складні ділянки судноплавства, відповідні зоні зображення Inland ENC. Обрані акваторії, включаючи протяжність і складність ділянок, сформовані з урахуванням діючих нормативів по навігаційно-гідрографічній і гідрологічній забезпеченості (рис. 4.1).

#### *Технічні засоби вимірювання імітаційного модулювання*

Для проведення робіт з імітаційного модулювання запропонованих методів при проведенні дисертаційних випробувань використовувалися:

- тренажери кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні;
- тренажер Inland ECDIS (SeeMyENC) Центру підготовки фахівців морського та річкового транспорту «Укрводшлях – Training»;
- електрона картографічна система судна «Vectis Isle»;
- судноводії, що проходять тренажерну підготовку з експлуатації електронної картографічної навігаційно-інформаційної системи.

Визначені критерії для інтелектуальної обробки потоків даних від навігаційних датчиків.

Таблиця 4.2.

#### Критерії для інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних

№	Критерії	Позначення
1	2	3
1	Довжина ділянки	$IENC \xrightarrow{D_{cx}} SENC$
2	Ширина ділянки	$IENC \xrightarrow{B_{cx}} SENC$
3	Критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо габаритів суднового ходу	$v < k_1 \cdot V_1$ (пр. 1.3)
4	Гарантована глибина	$IENC \xrightarrow{H_{cx}=3.65} SENC$
5	Критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу	$v_3^- < V_3 - \Delta_3$ (пр. 1.3)
6	Відстань до найближчої навігаційної небезпеки	(1.6), де $Z = D_{\min} \sqrt{2/M}$ $v_8^+ \geq V_8 - v \cdot \Delta_t - S_t - m_D - m_s$ ,

		$v_8^+ \geq V_8 - v_{8-1}^- - v \cdot \Delta_{t-1} - S_t - m_R - m_D$ , (пр. 1.3)
7	Висота моста над фактичним рівнем води	$H_{MC} = H_{SENC}^M \pm h(t)$ $h(t) < 0 \rightarrow H_{MC} > H_{SENC}^M$ $h(t) > 0 \rightarrow H_{MC} < H_{SENC}^M$
8	Критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів мостів	$v_6^- < V_6 - 2 \cdot \Delta_6$ , (пр. 1.3) $v_{6-1}^- < V_{6-1} - \Delta_{6-1}$ ,
9	Найменша відстань проводів повітряних ліній від фактичного рівня води	$H_{EП} = H_{SENC}^{EП} \pm h(t)$ $h(t) < 0 \rightarrow H_{EП} > H_{SENC}^{EП}$ $h(t) > 0 \rightarrow H_{EП} < H_{SENC}^{EП}$
10	Критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо висоти проводів повітряних ліній електропередачі	$v_7^- < V_7 - \Delta_7$ (пр. 1.3)
11	Довжина/ширина/осадка/висота надводного габариту судна	$L_M / B_M / H_M / H_{HG}$
12	СКП визначення місця судна в точці найкоротшої відстані до найближчої навігаційної небезпеки	$m_D = \sqrt{\left(\frac{m_\alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2} \Big _{\substack{30 < \alpha < 150 \\ m_\alpha \leq 1^0 \\ m_h = 0,5m}}$  $m_D < 10 \text{ м}$
13	Ймовірність безпечного плавання	$P_{\delta n} = 1 - \exp(-D_{min}/M)^2$ $\geq 0,95$
14	Визначення доцільності використання потрібних змін та обмежень елементів ІМН	$\text{var} E_h \in R_h \vee \text{var} E_{x,y} \in A_{x,y}$ $\text{sup} E_h \vee \text{inf} E_h$ , (пр. 2.1) $E_{x,y} \vee \text{inf} E_{x,y}$
15	Точність вимірювання і нанесення глибин на карту	$m_{Z0} = \sqrt{m_{H3M}^2 + m_{ZM}^2}$
16	Диференціальні поправки під час обробки потоку даних від WS	$h(t)$ (2.22)
20	Моделі оптимальної альтернативи в умовах <i>vag</i>	Модель 1 (табл. 3.2). Модель 2 (табл. 3.2). Модель 3 (табл. 3.2)
21	Перелік інформаційних ситуацій, пов'язаних з <i>vag</i>	IS <sub>n</sub> (табл. 3.3). $n = 1, 2, \dots, 5$
22	Нижній і верхній судноплавний рівень	НСР, ВСР
23	Функції активації нейронів	$f(x)$ (табл. 3.8)
24	Кількість шарів NN	$N$
25	Помилка (розбіжність між очікуваними і отриманими відповідями)	$\delta$ (3.15).
26	Осередки (cell) в розміщених групах <i>obj</i>	Вирази (3.20, 3.21)

Методика експериментальних досліджень.

**Test 1.** Розрахунок критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ на обраній ділянці в умовах річкової е-навігації здійснюється за формулами і з позначеннями, що визначені у підрозділі 1.3 дисертації. Розрахунок

представляється у вигляді таблиці з реалізацією можливості їх використання на обраній ділянці.

**Test 2.** Здійснення порівняльного аналізу інформаційних оцінок ступеня цілісності  $\alpha$  і коефіцієнта використання компонентів системи  $\beta$  на обраній ділянці. Ці оцінки інтерпретуються як оцінки стійкості при наданні свободи елементів структури і отримуються за співвідношеннями, що визначають взаємозв'язок системної  $C_c$ , власної  $C_o$  і взаємної  $C_v$  складності системи СЗІМН (підрозділ 1.4 дисертації) [156].

$$\begin{cases} C_c = C_o + C_v, \\ \alpha = -\frac{C_v}{C_o}, \\ \beta = \frac{C_c}{C_o}, \\ \beta = 1 - \alpha. \end{cases}$$

Для отримання сумарної складності (змісту) елементів системи  $C_o$  поза зв'язком їх між собою зазначаються наявні елементи (підсистеми) ІМН. Системна складність  $C_c$  характеризує зміст системи як цілого. Взаємна складність  $C_v$  характеризує ступінь взаємозв'язку елементів у системі. Це визначено складністю її пристрою, схеми, структури. Слід врахувати: коефіцієнти  $\alpha$ ,  $\beta$  – дві важливі спряжені оцінки. Оцінка  $\alpha$  характеризує ступінь цілісності, зв'язності, взаємозалежності елементів системи. Для системи ІМН  $\alpha$  інтерпретується як характеристика стійкості, керованості, ступеня централізації управління. Знак мінус у виразі  $\alpha$  введений для того, щоб  $\alpha$  було позитивним, оскільки  $C_v$  у даній системі формально має негативний знак і  $C_o > C_c$ . Оцінка  $\beta$  показує самостійність, автономність частин у цілому, ступінь використання можливостей елементів. Тобто,  $\beta$  – коефіцієнт використання елементів у системі ІМН [156]. Результати досліджень оформляються у вигляді таблиці.

**Test 3.** Подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначених конценцією системної оптимізації структури ІМН на обраній ділянці (підрозділ 2.1 дисертації).

Проводиться оптимізація елементів підсистем ІМН у рамках зазначеної на рис. 1.11 біфакторної  $(R_{x,y}, R_h)$  постановки завдань оптимізації при застосуванні встановлених обмежень та виразів (1.9–1.12), при чому різні рівні застосованих обмежень представляються в області можливого їх варіювання.

Вирішуються завдання:

$$\text{extr } A_h \forall A_{x,y} = A_{x,y \text{обр}},$$

$$\text{min } A_{x,y} \forall A_h = A_h \text{обр}$$

Проводиться оцінка функціонування елементів ІМН  $A_{\phi,\lambda}, A_h$  по показниках у широкому діапазоні можливих змін їх параметрів.

Отримуємо впорядковану (домінуючу) послідовність просторових координат  $X, Y, H$ :

$$\begin{aligned} X(t_o), X(t_1) \dots X(t_n) &\Rightarrow \alpha(T), \beta(T), \dots, \chi(T), \\ Y(t_o), Y(t_1) \dots Y(t_n) &\Rightarrow \alpha(T), \beta(T), \dots, \chi(T), \\ H(t_o), H(t_1) \dots H(t_n) &\Rightarrow \alpha(T), \beta(T), \dots, \chi(T), \end{aligned}$$

де  $\alpha, \beta, \chi$  – нечіткі терми, що характеризують локальні тренди зміни просторових координат  $\Delta X, \Delta Y, \Delta H$ .

Далі визначається рівень функціональної ефективності системи ІМН. Процес стабілізації характеризується виходом з області заданої трубки  $W(t)$  (рис. 2.1). Елементи ІМН  $\text{var} E_h \in R_h \vee \text{var} E_{x,y} \in A_{x,y}$  зіставляються з обмеженнями  $\text{sup } E_h \vee \text{inf } E_h, E_{x,y} \vee \text{inf } E_{x,y}$ . Результати досліджень оформляються у вигляді таблиці і графічно на електронній карті.

**Test 4.** Розрахунок навігаційних параметрів для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості ІМН на обраній ділянці (підрозділ 2.2 дисертації).

Визначаються точки на обраній ENC (3 точки), наносяться на електронну карту и визначаються їх координати. Фіксується рівень потенціалу якості навігаційних параметрів (НП)

$$НП_{\min} < НП(t) < НП_{\max},$$

де  $НП_{\min}$  та  $НП_{\max}$  – значення НП, які обґрунтовані та гарантовано забезпечують відповідну якість параметрів управління  $U(t)$  у межах  $F_3$ .

НП обираються з таблиці 2.1, здійснюється розрахунок точності і визначення символічних властивостей по кожній точці відповідно до виразів таблиці. Результати досліджень оформляються у вигляді таблиці і графічно на електронній карті.

**Test 5.** Експериментальні випробування отримання диференційних поправок до глибин, позначених на SENC (підрозділ 2.3 дисертації).

Згідно з виразом (2.22)  $h(t) = \underbrace{\frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B}_{(C)_{i,j}} + \underbrace{y_{01WS} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$  процес

автоматизації WS зводиться до перевірки двох складових функції  $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$ :

– матричної передавальної функції  $y_k(t) = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B$ ,  $B = x$ ,  $y_k(t)$  –

оригінал функції  $f_1(t)$ . Усі скалярні передавальні функції мають один і той же характеристичний поліном. Тому експериментальні дослідження потоку даних від WS зводяться до обробки коренів цього полінома;

– функції  $f_2(t) = \underbrace{y_{01WS} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ , що містить постійні складові: нуль

глибин  $h_{01WS} = h_{02WS}$ , можливі зміни нуля глибин відносно абсолютної системи висот  $h_{10} = h_{20}$  і матрицю-стовпець миттєвого рівня води відносно 1WS  $\|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ .

Задаються різні матричні значення функцій  $f_1(t)$  &  $f_2(t)$  і постійних складових з урахуванням критеріїв обробки потоків навігаційних даних (табл. 4.2) для отримання автоматизованого значення глибин. Результати досліджень оформляються у вигляді таблиці.

**Test 6.** Випробування розширених функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування в режимах контролю і діагностування (підрозділ 2.4 дисертації).

Для випробувань застосований метод імітаційного модулювання. Перевіряється розроблений алгоритм візуалізації навігаційної обстановки, в якому поточне радіолокаційне зображення поєднується з апроксимованою електронною навігаційною картою. Відомі способи візуалізації навігаційної обстановки з результатами можливості застосування при судноводінні на р. Дніпро зводяться в окрему таблицю.

Для випробувань обирається ENC UA4N0121 (Каховське водосховище) М = 1: 50 000 з нанесеною частиною ділянки для судноплавства. Випробування алгоритму проводиться за двома напрямками:

- 1) перевірка достовірності даних, отримуваних від системи GPS судна;
- 2) визначення величини зсуву електронної карти щодо накладеного радарного відображення в районі суднового ходу.

Для вирішення навігаційних завдань:

- a) обираються на карті еталонні значення характерних і шляхових точок (координати: екранні  $X, Y$  і географічні  $\varphi, \lambda$ ), які відомі;
- b) визначається правильність суміщення точок;
- c) обираються і позначаються точкові, розподілені і групові радіолокаційні об'єкти;
- d) здійснюється накладання радарного зображення на електронну карту;
- e) визначається залежність ймовірності правильного розпізнавання від кута повороту зображення, масштабу і просторового зсуву;
- f) визначається величина зсуву електронної карти щодо накладеного радарного відображення в районі суднового ходу.

Результати досліджень оформляються у вигляді таблиць і графічно на електронній карті.

**Test 7.** Експериментальні випробування варіантів положення ЛВР на SENC при русі судна (підрозділ 2.5 дисертації).

Випробування здійснюються у режимі відносного руху – основному режимі роботи Inland ECDIS. Відображаються зони виникнення аварійних ситуацій, коли ЛВР перетинає центр екрану або  $D_{\min} < D_{\text{кр}}$ . Граничне значення  $D_{\min}$  отримуємо, коли ЛВР торкається межі домена небезпеки (ДН). Відзначимо, що межа ДН змінюється тільки при підвищенні/зниженні рівня води, в інших випадках вона = *const*. Таким чином, множина точок межі ДН розглядається як чесний випадок розходження з цілями при

$$\forall \text{ КО} \exists! V_{\text{ДН}} = 0.$$

Межа зони ДН відображається на електронній карті. Можливі варіанти положення ЛВР, які охоплюють початкові ситуації при русі судна, беруться з таблиці 2.2. Результати досліджень оформляються графічно на електронній карті.

**Test 8.** Моделювання прийняття рішень в умовах *vag* & *R* методом ігор із зовнішнім середовищем (підрозділ 3.1 дисертації).

Для реалізації контекстно-орієнтованого підходу будується ігрова матриця *A*. Методи прийняття рішень в іграх із зовнішнім середовищем залежать від характеру *vag* & *R*. При побудові ігрової матриці враховується, що вахтовий помічник капітана при використанні електронно-картографічної системи Inland ECDIS має *m* можливих стратегій:  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , а берегова інфраструктура (зовнішнє середовище) має *n* можливих станів:  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  і ризиків  $r_{ij}$

$$A = \|a_{ij}\|_{mn} \Rightarrow R = \|r_{ij}\|_{mn}, \quad r_{ij} = \beta_j - a_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} - a_{ij}.$$

Результатом досліджень є побудована матриця *A*.

**Test 9.** Перевірка прийняття AP в умовах багатокритеріальності (multicriteria) (підрозділ 3.1 дисертації). Вибір альтернативи  $A_{CE}$  в умовах багатокритеріальності здійснюється за виразом (3.6), що заснований на критерії сумарної ефективності

$$A_{CE} = \arg \max_i K_i ,$$

$$K_i = \sum_a F_{ia} \cdot x \cdot V_a ,$$

Для вирішення вказаної проблеми застосовуються метод нормалізації (табл. 3.5); вагомий метод (табл. 3.6) і метод згортки (табл. 3.7).

**Test 10.** Для перевірки застосованих функцій активації нейронів вхідних сигналів при використанні NN будується графік отриманих залежностей  $\Omega$  від  $S$  за виразами таблиці 3.8. Вказуються назва функції, математичний вираз, область значень, графічні пояснення. Запропонована система розглядається як шість функціонально взаємопов'язаних складових підсистем  $F_1, F_2, \dots, F_6$  з певними класами вхідних сигналів в NN. Підсумок взаємодії шести підсистем – це виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання  $P_{\text{он}} \geq 95\%$  для конкретних умов руху водного транспорту.

При моделюванні ситуації окремим елементам системи задаються неоптимальні значення. При цьому визначається оптимальність системи у цілому. Можлива параметрична варіація контролюється у заданих межах критеріїв оптимальності. Розрахунок критеріїв навігаційних параметрів з можливістю перебудовуватися відповідно до зовнішніх умов для оптимального досягнення загальної мети здійснюється за формулами вищенаведених таблиць. Область стійкості у векторному просторі обчислюється за інформацією з ENC. Принциповим моментом моделювання є те, що усунення наслідків позаштатних ситуацій здійснюється шляхом перерозподілу уже існуючих ресурсів, включаючи зміни режиму роботи її підсистем.

**Test 11.** Обчислення сигналу помилки в NN (підрозділ 3.3 дисертації). Враховується, що помилка формується кожному епоху і повинна йти на спад. Розрахунок помилки здійснюється згідно з методом MSE – Mean Squared Error.

$$\delta = \frac{[f_1(e) - \delta_1]^2 + [f_2(e) - \delta_2]^2 + \dots + [f_n(e) - \delta_n]^2}{n}$$

$$\begin{aligned} \delta = z - y \rightarrow \delta_4 = w_{46}\delta \rightarrow \delta_5 = w_{56}\delta \rightarrow \delta_1 = w_{14}\delta_4 + w_{15}\delta_5 \rightarrow \\ \rightarrow \delta_2 = w_{24}\delta_4 + w_{25}\delta_5 \rightarrow \delta_3 = w_{34}\delta_4 + w_{35}\delta_5. \end{aligned}$$

У зв'язку з використанням методу градієнтного спуску в алгоритмі зворотного поширення помилки обчислюється похідна  $df(e)/de$  через активаційну функцію (табл. 3.8).

**Test 12.** Для розрахунку СКП виходу нечіткої NN здійснюємо кодування параметрів від  $WS$  під час навчання нечіткої NN. Задаємо параметричну функцію трикутної форми

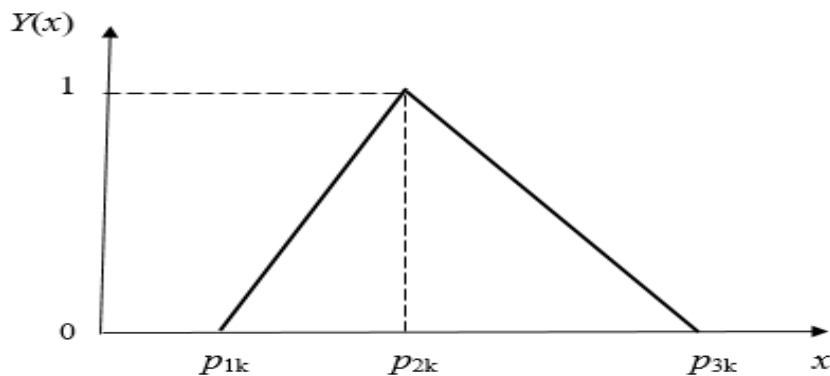


Рис. 4.2. Параметрична функція трикутної форми

Налаштування складових  $p_{ik}$  вектора  $\bar{p}_k = (p_{1k}, p_{2k}, p_{3k})$  здійснюємо в інтервалі  $\Delta = [p_{ikmin}, p_{ikmax}]$ :  $p_{ikmin}$  *id* НСР,  $p_{ikmax}$  *id* ВСР. Далі  $\Delta$  розбиваємо на  $N$  підінтервалів за виразом

$$N = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow p_{ikmin} \text{ id } cod \ 0, \ p_{ikmax} \text{ id } cod \ 1,$$

СКП виходу нечіткої NN отримуємо за виразом  $M = \frac{1}{2}(\Delta y)^2$ .

## 4.2. Результати і порівняльний аналіз експериментальних досліджень аналітичних результатів моделювання існуючого і запропонованого методів навігації

Результати експериментальних досліджень та їх математична обробка згідно із запропонованим методом навігації наведені у таблицях 4.3 – 4.13 і рис. 4.3 – 4.13. Спрощені моделі, які застосовувалися протягом останнього десятиліття при використанні традиційних паперових річкових навігаційних карт, досить частково охоплюють аспекти загальної проблематики. Порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючим та запропонованим методом навігації наведений у таблиці 4.14.

**Test 1.** Розрахунок критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ на обраній ділянці в умовах річкової е-навігації, наведений у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Критичні фактори, що визначають обмеження руху ВТЗ

№ з/п	Критичні фактори	Математичний вираз	Значення	Використання	Додаткові заходи
1	$v_1^-$	$v_1^- < k_1 \cdot V_1$	$k_1^{(1)} = 0,67$ $k_1^{(2)} = 0,38$ $k_1^{(3)} = 0,35$ $v_1^- = \begin{cases} k_1^{(1)} \Rightarrow 5,36 \text{ вузл} \\ k_1^{(2)} \Rightarrow 3,04 \text{ вузл} \\ k_1^{(3)} \Rightarrow 2,8 \text{ вузл} \end{cases}$ $v_1^+ = 8 \text{ вузл [124]}$	+	Вказується у лоційному описі. ALARM
2	$v_2^-$	$v_2^- < k_2 \cdot V_2,$	$v_2^- = 4 \text{ вузл}$ $v_2^+ = 8 \text{ вузл}$	+	Пережат с. Львове. ALARM
3	$v_3^-$	$v_3^- < V_3 - \Delta_3,$	$v_3^- = 3,65 \text{ м}$	+	ALARM
4	$v_4^-$ $v_{4-2}^-$	$v_4^- < V_4, v_{4-1}^- < V_{4-1} - \Delta_{4-1}$ $v_{4-2}^- < \begin{cases} 0,8 \text{ м/сек} \\ 1,0 \text{ м/сек} \end{cases}$	Каховський шлюз [114] $V_4 = 260 \text{ м},$ $V_{4-1} = 18 \text{ м}$ $v_4^+ > 260 \text{ м}$ $v_{4-1}^+ > 18 - 0,8 = 17,2 \text{ м}$ $v_{4-2}^+ > \begin{cases} 0,4 \text{ вузл} \\ 0,5 \text{ вузл} \end{cases}$	+	ALARM
5	$v_5^-$ , $v_{5-1}^-$	$v_5^- < 0,26 \cdot V_5, v_{5-1}^- < 3 \cdot V_5,$ $\varepsilon(\min) = \frac{V_5}{V_{5-2}} = 7,9$	Каховський шлюз [114] $V_5 = 1936,7 \text{ м}, V_{5-2} = 73,5 \text{ м}$ $\varepsilon > \varepsilon(\min)$ $v_5^- = 503,5 \text{ м} \quad v_{5-1}^- = 581,0 \text{ м}$	+	ALARM

1	2	3	4	5	6
6	$v_6^-$ , $v_{6-1}^-$	$v_6^- < V_6 - 2 \cdot \Delta_6$ , $v_{6-1}^- < V_{6-1} - \Delta_{6-1}$	Херсонський автодорожній міст[114] $V_6 = 80$ м, $V_{6-1} = 17,2$ м $\Delta_6 = 10$ м, $\Delta_{6-1} = 0,5$ м $v_6^- = 60$ м, $v_{6-1}^- = 16,7$ м	+	ALARM
			Антонівський залізничний міст[114] $V_6 = 100$ м, $V_{6-1} = 18,7$ м $\Delta_6 = 10$ м, $\Delta_{6-1} = 0,5$ м $v_6^- = 80$ м, $v_{6-1}^- = 18,2$ м		
7	$v_7^-$	$v_7^- < V_7 - \Delta_7$ ,	ЛЕП (88,1 км) [54] $V_7 = 23,3$ м, $\Delta_7 = 3,0$ м $v_7^- = 20,3$ м	+	ALARM
			ЛЕП (92,2 км) [54] $V_7 = 22,8$ м, $\Delta_7 = 2,5$ м $v_7^- = 20,3$ м		
8	$\Delta D_{KP}$	$\Delta D_{KP} = -\frac{D^2}{V} \sigma_q$ ,	При використанні Inland radar $\sigma_q = 50 \times 10^{-6}$ рад/с $\Delta D_{KP} = 10$ м	+	Inland AIS
9	$\sigma_K$	$\sigma_K = 0,2$ мм	$\sigma_K = 0,2$ мм	+	Накладення зображення Inland radar на SENC
10	$e_1^-$	$e_1^- \leq 10$ м ( $P = 0,95$ )	$e_1^- = 10$ м	+	За умови DGPS

**Test 2.** Здійснення порівняльного аналізу інформаційних оцінок ступеня цілісності  $\alpha$  і коефіцієнта використання компонентів системи  $\beta$  на обраній ділянці.

Табл. 4.4

## Інформаційні оцінки ІМН

ENC	Складність ділянці			Спряжені оцінки ІМН	
	$C_0$	$C_B$	$C_C$	$\alpha$	$\beta$
UA7N0005	$C_0^{(повн)} - (C_{30} + C_{40} + C_{50} + C_{80}) = 0,6$	- 0,1	0,5	0,17	0,83
UA8N0017	$C_0^{(повн)} - (C_{30} + C_{40} + C_{50} + C_{80}) = 0,6$	- 0,1	0,5	0,17	0,83
UA7N0036	$C_0^{(повн)} - (C_{40} + C_{50}) = 0,8$	- 0,2	0,6	0,25	0,75
UA7N0047	$C_0^{(повн)} - (C_{40} + C_{50} + C_{80}) = 0,7$	- 0,2	0,5	0,29	0,71
<b>UA8N0082</b>	<b><math>C_0^{(повн)} - C_{30} = 0,9</math></b>	<b>- 0,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,22</b>	<b>0,78</b>

Пояснення:

$$C_0^{(\text{повн})} = 1,0 = \sum_{i=1}^{n=10} C_{i0} = C_{10} + C_{20} + C_{30} + C_{40} + C_{50} + C_{60} + C_{70} + C_{80} + C_{90} + C_{100}.$$

де  $C_{i0}$  – наявні  $i$ -елементи  $C_0^{(\text{повн})}$ :

$$\begin{aligned} C_{10} &= 0,1 \text{ id } \overline{AIS}, & C_{40} &= 0,1 \text{ id } \overline{ЛЕП}, & C_{70} &= 0,1 \text{ id } \overline{PIC}, \\ C_{20} &= 0,1 \text{ id } \overline{DGPS}, & C_{50} &= 0,1 \text{ id } \overline{Шлюз}, & C_{80} &= 0,1 \text{ id } \overline{WS}, \\ C_{30} &= 0,1 \text{ id } \overline{Мост}, & C_{60} &= 0,1 \text{ id } \overline{IECDIS}, & C_{90} &= 0,1 \text{ id } \overline{Пережат}, \\ C_{100} &= 0,1 \text{ id } \overline{IENC}. \end{aligned}$$

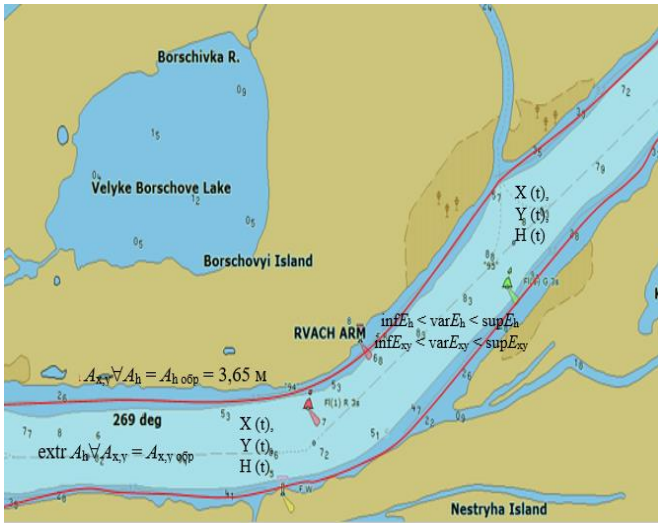
**Test 3.** Подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначених концепцією системної оптимізації структури ІМН на обраній ділянці.

Таблиця 4.5

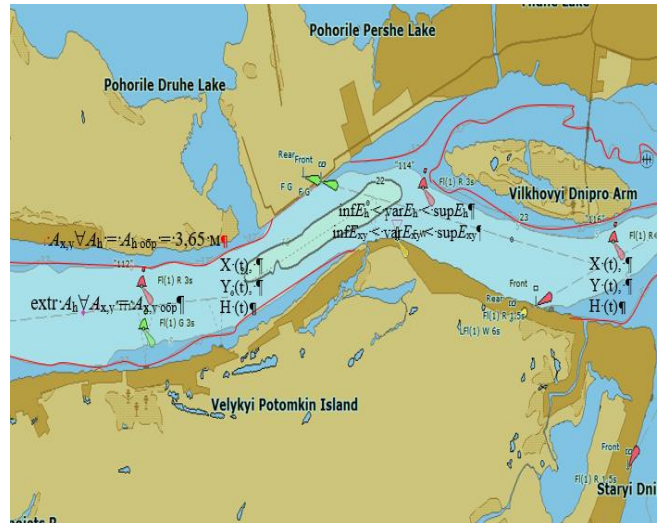
Оптимізація елементів ІМН

IENC [155]	Отримані обмеження		Просторові координати			Елементи ІМН обмеження	
			$\Omega$			$\frac{\text{var}E_h}{\text{sup}E_h \vee \text{inf}E_h}$	$\frac{\text{var}E_{xy}}{\text{sup}E_{xy} \vee \text{inf}E_{xy}}$
	extr $A_{h, m}$	min $A_{x,y}$	$X(t_0) \dots X(t_n)$	$Y(t_0) \dots Y(t_n)$	$H(t_0) \dots H(t_n)$		
UA7N0005	3,65	$A_{x,y}=f(A_h)$	$\{X(t)\} \in \{X^{(\Omega)}\}$	$\{Y(t)\} \in \{Y^{(\Omega)}\}$	$\{H(t)\} \in \{H^{(\Omega)}\}$	$\frac{\text{var}E_h}{\{H^{(\Omega)}\}} \in$	$\frac{\text{var}E_{xy}}{\{X,Y\}^\Omega} \in$
UA8N0017	3,65	$A_{x,y}=f(A_h)$	$\{X(t)\} \in \{X^{(\Omega)}\}$	$\{Y(t)\} \in \{Y^{(\Omega)}\}$	$\{H(t)\} \in \{H^{(\Omega)}\}$	$\frac{\text{var}E_h}{\{H^{(\Omega)}\}} \in$	$\frac{\text{var}E_{xy}}{\{X,Y\}^\Omega} \in$
UA7N0036	3,65	$A_{x,y}=f(A_h)$	$\{X(t)\} \in \{X^{(\Omega)}\}$	$\{Y(t)\} \in \{Y^{(\Omega)}\}$	$\{H(t)\} \in \{H^{(\Omega)}\}$	$\frac{\text{var}E_h}{\{H^{(\Omega)}\}} \in$	$\frac{\text{var}E_{xy}}{\{X,Y\}^\Omega} \in$
UA7N0047	3,65	$A_{x,y}=f(A_h)$	$\{X(t)\} \in \{X^{(\Omega)}\}$	$\{Y(t)\} \in \{Y^{(\Omega)}\}$	$\{H(t)\} \in \{H^{(\Omega)}\}$	$\frac{\text{var}E_h}{\{H^{(\Omega)}\}} \in$	$\frac{\text{var}E_{xy}}{\{X,Y\}^\Omega} \in$
UA8N0082	3,65	$A_{x,y}=f(A_h)$	$\{X(t)\} \in \{X^{(\Omega)}\}$	$\{Y(t)\} \in \{Y^{(\Omega)}\}$	$\{H(t)\} \in \{H^{(\Omega)}\}$	$\frac{\text{var}E_h}{\{H^{(\Omega)}\}} \in$	$\frac{\text{var}E_{xy}}{\{X,Y\}^\Omega} \in$

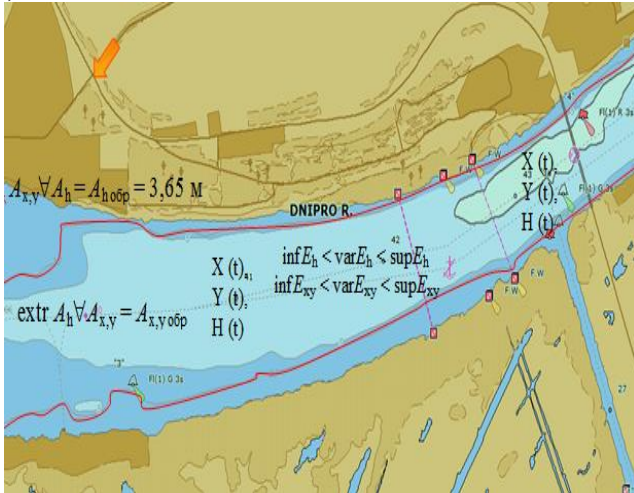
a)



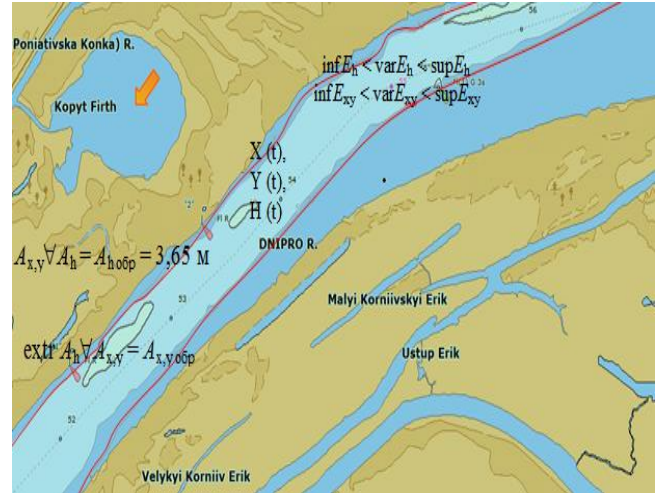
b)



c)



d)



e)

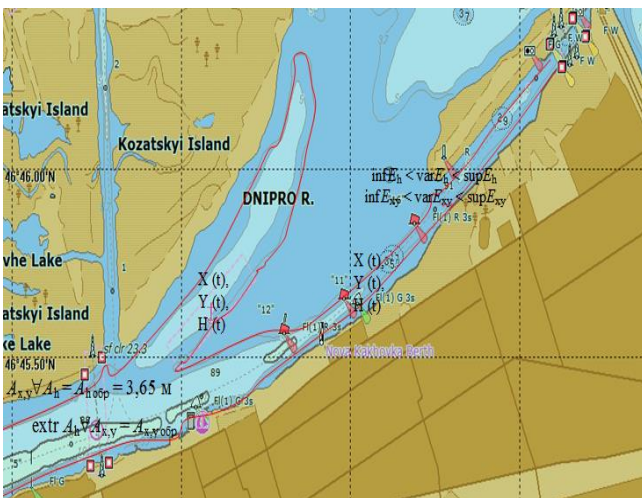


Рис. 4.3. Оптимізація елементів ІМН

- a) ІЕНС UA7N0005 [155];
- b) ІЕНС UA8N0017 [155];
- c) ІЕНС UA7N0036 [155];
- d) ІЕНС UA7N0047 [155];
- e) ІЕНС UA8N0082 [155].

**Test 4.** Розрахунок навігаційних параметрів для задач стабілізації руху судна та функціональної стійкості ІМН на обраній ENC.

Таблиця 4.6

## Розрахунок навігаційних параметрів

№ точці	ENC [155]	Навігаційні параметри								Дата
		$\Pi^{(\pi/\delta)}$ (град)		$D^{(\pi/\delta)}$ (м)		$Z = \pm  \Delta Z _{\min}^{\max}$ (м)		$\beta$ (град)		
		min	max	min	max	min	max	min	max	
1	UA7N0005	359,0	1,0	38,5	48,5	8,1	8,3	1,0	3,0	14.08.2018
2		355,0	357,0	38,0	48,0	7,1	7,3	2,4	4,4	
3		310,0	312,0	42,1	52,1	8,3	8,5	1,5	3,5	

Символьні властивості:  $D \vee \Pi: f(x_0-0) = f(x_0+0) = f(x_0)$ ;

$$\beta = f[U'(x, y) \& V'(x, y)];$$

$$\Delta z = \Delta z_f + \Delta z_{ИЗМ} + \Delta z_\alpha + \Delta z_M.$$

При розрахунках прийнято наступні обмеження:  $m_\Pi \leq 1,0^0$ ,  $30^0 \leq \Theta \leq 150^0$ ,  $m_D < 10\text{ м}$ ,  $\delta_K \leq 0,5\text{ мм}$ ,  $\delta_\Pi \leq 0,2\text{ мм}$ ,  $m_{Z0} \leq 0,1\text{ м}$ ,  $M_{ГЛОНАСС} = 20 \div 35\text{ м}$ ,  $M_{GPS} = 36\text{ м}$ ,  $M_{DGPS} = 3 \div 5\text{ м}$ ,  $M_{рух} = M_0 < 10\text{ м}$ ,  $m_\beta \leq 1^0$ .

Координати точок ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ): 1 –  $\varphi = 46\ 32,7847\text{ N}$ ,  $\lambda = 032\ 22,4561\text{ E}$ ;

2 –  $\varphi = 46\ 32,8006\text{ N}$ ,  $\lambda = 032\ 23,1979\text{ E}$ ;

3 –  $\varphi = 46\ 33,1037\text{ N}$ ,  $\lambda = 032\ 23,8586\text{ E}$ .

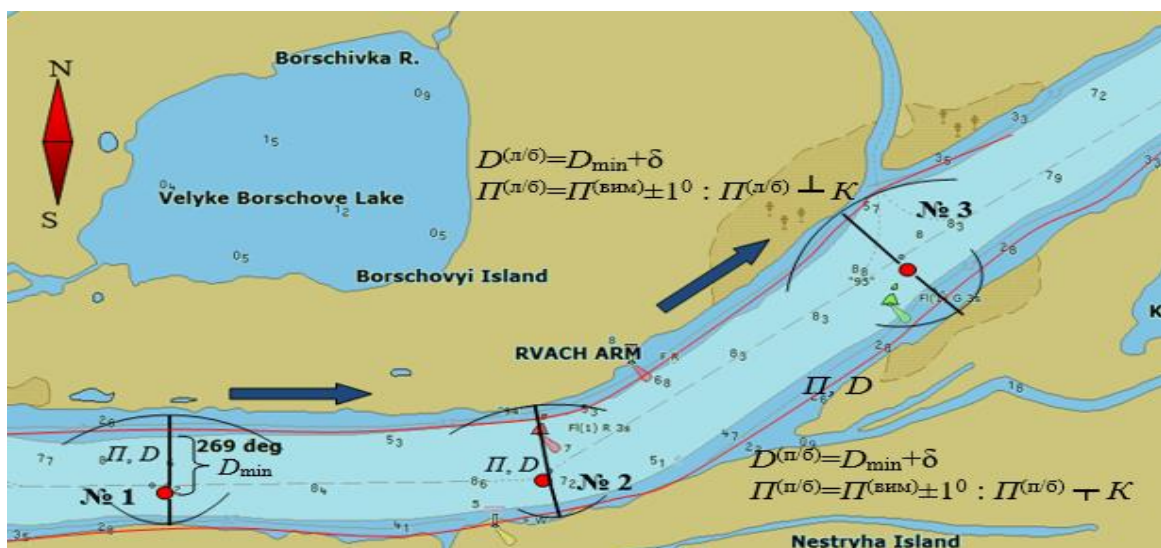


Рис. 4.4. Навігаційні параметри для задач стабілізації руху судна [155].

**Test 5.** Експериментальні випробування отримання диференційних поправок до глибин, позначених на SENC.

Таблиця 4.7

Перевірка двох складових функції  $f(t)$  для отримання поправок до глибин  $h(t)$

№ з/п	$y_1(t), м$			$f_2(t), м$				$h(t) =$ $y_1(t) + f_2(t)$ (м)	$t$
	$A_{1n} * A_{2n}$	$A_{3n}$	$\prod_{i=1}^{n=3} A_{in}$	$B_{1m}$	$B_{2m}$	$B_{3m}$	$\sum_{j=1}^{m=3} B_{jm}$		
SENC UA8N0082.000, UA8N0023.000 (3528), WS: Каховська ГЕС (н/б) – Херсон [155]									
1	+ 0,20	- 0,515	- 0,10	0.00	0.00	+ 0,50	+ 0,50	+ 0,40	10.04.18 10 <sup>00</sup>
2	+ 0,65	0.00	0,00	0.00	0.00	+ 0,65	+ 0,65	+ 0,65	12.04.18 12 <sup>00</sup>
SENC UA8N0093.000, UA8N0212.000 (3529), WS: Каховська ГЕС (в/б) – Нікополь [155]									
3	+ 0,40	- 0,630	- 0,25	0.00	0.00	+ 0,70	0,70	+ 0,45	16.04.18 12 <sup>00</sup>
4	+ 0,60	+ 0,255	+ 0,15	0.00	0.00	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,55	19.04.18 16 <sup>00</sup>
SENC UA8N0212.000, UA8N0295.000 (3529), WS: Нікополь – Дніпровська ГЕС (н/б) [155]									
5	- 0,40	- 0,445	+ 0,178	0.00	0.00	- 0,70	- 0,70	- 0,52	24.04.18 10 <sup>00</sup>
6	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00	0,00	0,00	27.04.18 12 <sup>00</sup>
SENC UA8N0305.000, UA8N0393.000 (3530), WS: Дніпровська ГЕС (в/б) – Дніпро [155]									
7	- 0,50	+ 0,725	- 0,36	0.00	0.00	+ 0,30	+ 0,30	- 0,06	05.06.18 12 <sup>00</sup>
8	+ 0,10	- 0,625	- 0,06	0.00	0.00	+ 0,35	+ 0,35	+ 0,29	08.06.18 16 <sup>00</sup>
SENC UA8N0393.000, UA8N0434.000 (3530), WS: Дніпро – Среднеднепровская ГЭС (н/б.) [155]									
9	- 0,20	+ 1,000	- 0,20	0.00	0.00	+ 0,20	+ 0,20	0,00	18.06.18 10 <sup>00</sup>
10	+ 0,20	- 0,415	- 0,08	0.00	0.00	+ 0,50	+ 0,50	+ 0,42	20.06.18 12 <sup>00</sup>

У таблиці використані наступні позначення для перевірки двох складових функції  $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$  та отримання поправок до глибин:  $y_k(t)$  – матрична передавальна функція являє собою прямокутну матрицю розмірності  $n \times m$  ( $y_k(t)$  – оригінал функції  $f_1(t)$ ). Кожен елемент цієї матриці є скалярна передавальна функція від входу до виходу;  $A_{in} = [\det(pE - A)]^{-1}$  – визначник у ступені  $(-1)$  характеристичної матриці  $(pE - A)$  – визначає степеневий поліном змінної Лапласа  $p$  порядку  $n$ ;  $A_{2n} = S(p) - adj$  для матриці  $(pE - A)$  з урахуванням заданого вектора за виразом (2.26);  $A_{3n} = B$  – матриця  $n \times m$  коефіцієнтів місця знаходження судна;

$\prod_{i=1}^{n=3} A_{in}$  – добуток складових  $y_k(t)$ ;  $B_{1m} = h_{01WS} = h_{02WS}$  – постійна складова, що дорівнює нулю глибин;  $B_{2m} = h_{10}$  – можливі зміни  $y_{01WS}$  відносно абсолютної системи висот. Для тестування прийнята умова  $h_{10} = h_{20} = \text{const}$ ;  $B_{3m} = \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$  – матриця-стовпець змін миттєвого рівня води відносно нуля глибин 1WS ( $y_{01WS}$ ). Для тестування прийнята умова  $y_{01WS} = y_{02WS}$ ;  $\sum_{j=1}^{m=3} B_{jm}$  – сума складових функції  $f_2(t)$ .

Вибірка даних проводилася на визначений час і дату ( $t$ ). Обрані акваторії (рис. 4.1) прив'язувалися до визначеної Inland ENC.

**Test 6.** Випробування розширених функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування в режимах контролю і діагностування.

Таблиця 4.8

## Відомі способи візуалізації навігаційної обстановки при судноводінні

№	Відомі способи візуалізації навігаційної обстановки	Прийняте технічне рішення	Обґрунтування технічного рішення
1	Порівняння поточного радіолокаційного зображення з радіолокаційною картою	Застосування на р. Дніпро недоцільне	Низька точність. Більша частина обробки здійснюється вручну, потрібен великий особистий досвід судноводія, бо відсутня точна прив'язка до координат
2	Поточне радіолокаційне зображення накладається на традиційну навігаційну карту, зображення якої знімається за допомогою телевізійної камери	Застосування на р. Дніпро недоцільне	Низька точність. Спосіб трудомісткий, більша частина обробки здійснюється вручну, вимагає виконання умов по юстировці телевізійної камери, не забезпечує введення коректури
3	Поточне радіолокаційне зображення накладається на традиційну навігаційну карту, зображення якої знімається за допомогою телевізійної камери. [Моринтех]	Застосування обмежене морськими акваторіями. Застосування на р. Дніпро недоцільне	Низька точність. Потрібен великий особистий досвід судноводія
4	Створення при контрольному проході судна по заданій траєкторії електронної радіолокаційної карти у вигляді послідовності радіолокаційних зображень	Застосування на р. Дніпро недоцільне	При плаванні на річках ймовірність отримання достовірної радіолокаційної інформації низька

Таблиця 4.9

Результати випробувань розширених функціональних можливостей Inland ECDIS  
і РЛС за рахунок взаємного функціонування в режимах контролю і  
діагностування

Опорні сегменти з підвищеною ЕПВ	Екранні координати			Прив'язка об'єктів $\varphi, \lambda$	
	Змінна <i>Map</i>		Змінна <i>Radar</i>		Змінна <i>Targets</i>
	$X+\delta\Delta$ мм	$Y+\delta\Delta$ мм	$W(c_x, c_y) =$ $= P_{\Psi}(c_x, c_y / \alpha_{\Omega}, \beta_{\Omega}) +$ $+ P_{\Delta}(c_x, c_y)$		$D_{s,e} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L (S0_{k,i} \cdot S1_{k,i})}{K_{S,t}}$
1	2	3	4	5	6
$A = \{a_x, a_y\}, i = \overline{1, n_a}$ Світний розпізна- вальний знак дамби аванпорту Київської ГЕС. Карта 3534 - 12 $D=3000$ м	300,0+0,9 =300,9	61,0+0,5 = 61,5	300,9+0,2=301,1 61,5+0,3=61,8	301,1+0,4=301,5 61,8+0,3=62,1	49°36'12" 30°30'17"
$B = \{b_x, b_y\}, i = \overline{1, n_b}$ Передній знак Переяславського створу. Карта 3533 - 11 $D=3000$ м	342,0+0,7 =342,7	195,0+0,5 =195,5	342,7+0,3=343,0 195,5+0,4=195,9	343,0+0,4=343,4 195,9+0,5=196,4	49°59'53" 31°26'11"
$C = \{c_x, c_y\}, i = \overline{1, n_c}$ Черкаський залізничний міст. Карта 3532 – 5 $D=3000$ м	238,0+0,3 = 238,3	94,0+0,4 =94,4	238,3+0,4=238,7 94,4+0,3=94,7	238,7+0,4=239,1 94,7+0,4=95,1	48°28'39" 32°02'12"
$D = \{d_x, d_y\}, i = \overline{1, n_d}$ Звонецька Скеля (с. Звонецьке). Карта 3530 - 13 $D=3000$ м	216,0+0,5 =216,5	41,0+0,7 =41,7	216,5+0,7=217,2 41,7+0,5+42,2	217,2+0,5=217,7 42,2+0,4=42,6	47°15'25" 35°11'11"

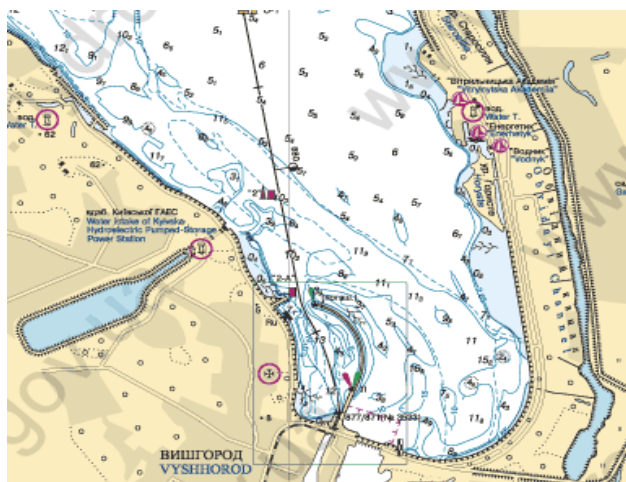


Рис. 4.5. Світний розпізнавальний  
знак дамби аванпорту  
Київської ГЕС.

Карта 3534 – 12 [155].  $D=3000$  м.

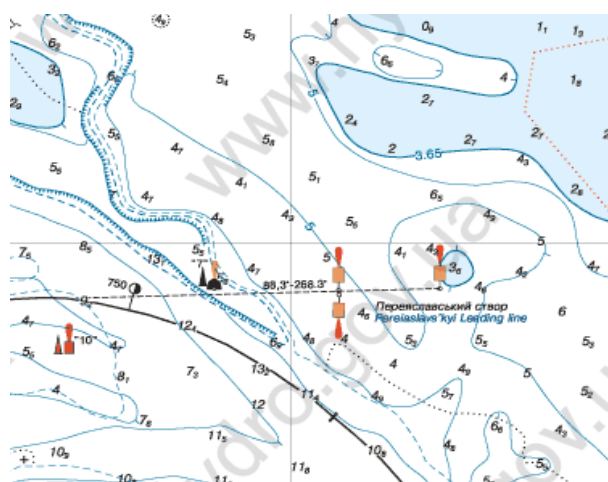


Рис. 4.6. Передній знак  
Перейславського створу.

Карта 3533 – 11 [155].  $D=3000$  м.

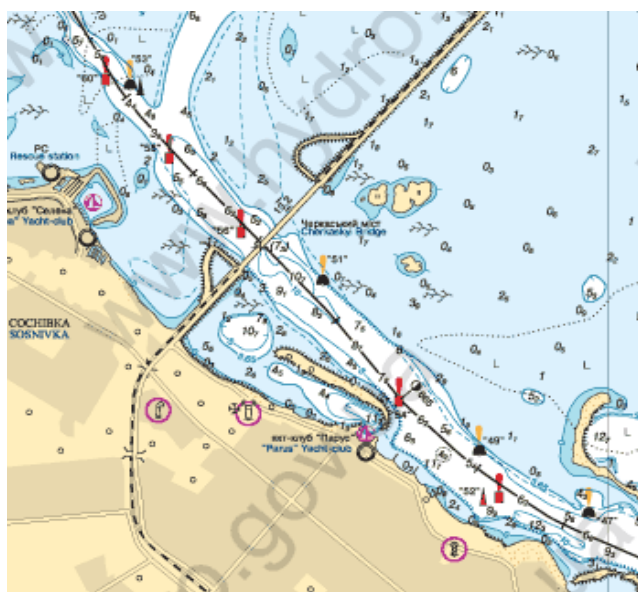


Рис. 4.7. Черкаський залізничний міст.  
Карта 3532 – 5 [155].  $D=3000$  м.

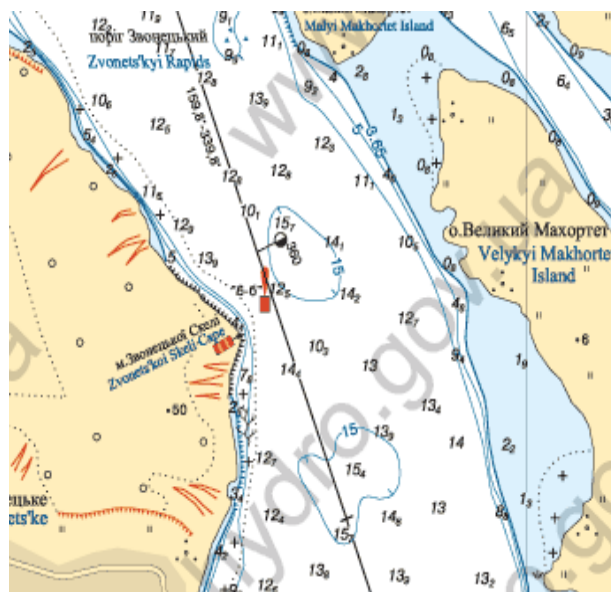


Рис. 4.8. Звонецька Скеля.  
Карта 3530 – 13 [155].  $D=3000$  м.

Отримані показники за випробувань розширених функціональних  
можливостей Inland ECDIS

Опорні сегменти з підвищеною ЕПВ	$\varphi,$ $\lambda$	$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$	$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$	$P_{0bn}$ (%)	$P_{0n} = 1 - \exp(-D/M)^2$ (%)
Світний розпізнавальний знак дамби аванпорту Київської ГЕС. Карта 3534 (12).	9°36'12" 30°30'17"	1,5 м	2,7 м	97,5	98,4
Передній знак Переяславського створу. Карта 3533 (11).	49°59'53" 31°26'11"	2,6 м	4,1 м	97,0	98,1
Черкаський залізничний міст. Карта 3532 (5).	8°28'39" 32°02'12"	2,2 м	3,2 м	96,2	97,0
Звонецька Скеля (с. Звонецьке). Карта 3530 (13).	7°15'25" 35°11'11"	3,2 м	4,7 м	96,9	97,9

$$\sigma_c < \sigma_o,$$

$$P_{0n} > P_{0bn}$$

**Test 7.** Експериментальні випробування варіантів положення ЛВР на SENC при русі судна.

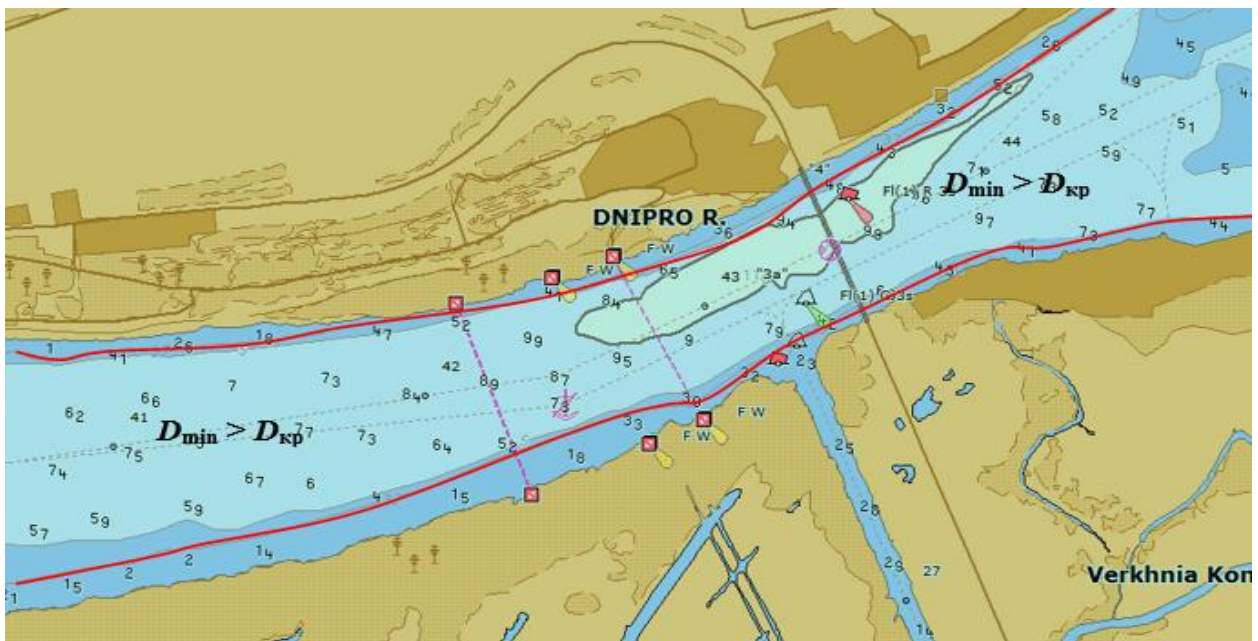


Рис. 4.9. Зона положень ЛВР на SENC при русі судна за умови  $D_{\min} > D_{кр}$ . [155]

**Test 8.** Моделювання прийняття рішень в умовах *vag* & *R* методом ігор із зовнішнім середовищем (підрозділ 3.1).

Побудовані матриці *A* & *R* до обраної ділянки.

$$A = \begin{pmatrix} & Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ A_1 & 3 & 5 & 4 & 5 \\ A_2 & 4 & 6 & 3 & 4 \\ A & 5 & 3 & 6 & 3 \end{pmatrix} \Rightarrow R = \begin{pmatrix} & Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ A_1 & 2 & 1 & 2 & 0 \\ A_2 & 1 & 0 & 3 & 1 \\ A_3 & 0 & 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}.$$

де  $Q_1, Q_2, \dots, Q_4$  – можливі стани берегової інфраструктури (зовнішнього середовища);  $A_1, A_2, A_3$  – можливі стратегії при використанні Inland ECDIS.

$$A = \|a_{ij}\|_{mm} \Rightarrow R = \|r_{ij}\|_{mm}, \quad r_{ij} = \beta_j - a_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} - a_{ij}.$$

**Test 9.** Перевірка прийняття AP в умовах багатокритеріальності (multicriteria). Результати перевірки прийняття AP в умовах багатокритеріальності (multicriteria – Mc) показані у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11

Прийняття AP в умовах багатокритеріальності

№ з/П	$N^{Mc} = \{N^{Mc}_a\}$							
	$N^{Mc}_1$	$V_{a1}$	$F_{i1}$	$A^{Mc}_{1, m}$	$N^{Mc}_2$	$V_{a2}$	$F_{i2}$	$A^{Mc}_{2, m}$
SENC UA8N0082.000, (3528), WS Каховська ГЕС (н/б) [155]								
1	КБ	0,25	0,35	0,30	КБ	0,27	0,30	0,35
2	КБ	0,23	0,40	0,25	КБ	0,25	0,40	0,30
3	КБ	0,20	0,45	<b>0,20</b>	КБ	0,23	0,50	0,25
$A_{CE} = \arg \max K = 0,20 \text{ м}$								

У таблиці використані такі позначення:  $N^{Mc} = \{N^{Mc}_a\}$  – множина критеріїв оцінки альтернатив;  $K_i$  – підсумкова оцінка  $A_i$ ;  $V_a$  – оцінка важливості  $a$ -го критерію  $\left(\sum_a V_a = 1\right)$ ;  $F_{i a}$  – оцінка переваги  $A_i$  за  $a$ -м критерієм  $\left(\sum_a F_{ia} = 1\right)$ ; КБ – критерії Байєса (характеризуються *max* значенням математичного очікування).

**Test 10.** Перевірка застосованих функцій активації нейронів вхідних сигналів при використанні NN.

На рис. 4.10 – 4.13 представлені графіки отриманих залежностей [56].

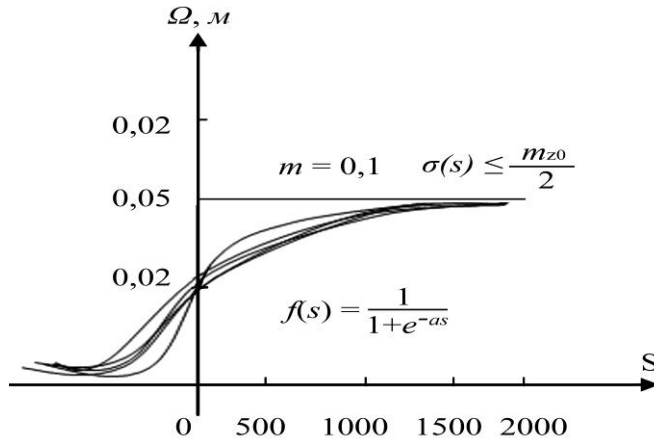


Рис. 4.10. Графік залежностей  $\Omega$  від  $S$  при вхідних сигналах класу 1 [56].

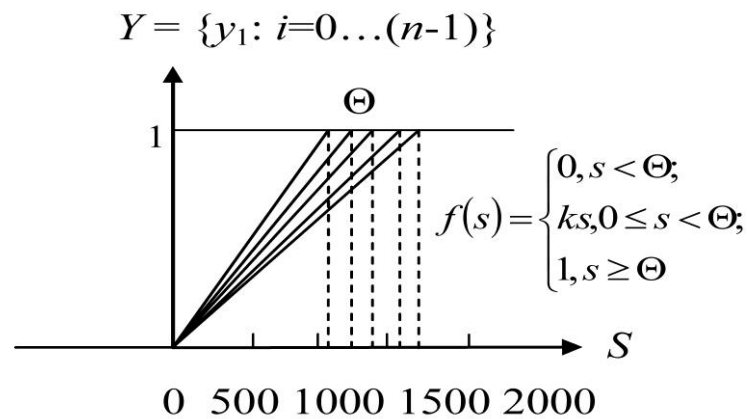


Рис. 4.11. Графік залежностей  $Y$  від  $S$  при вхідних сигналах класу 2 [56].

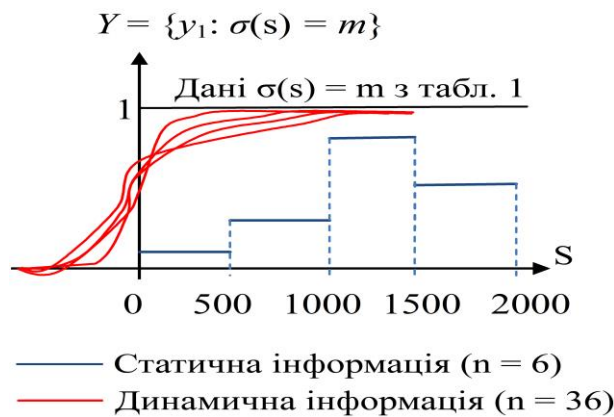
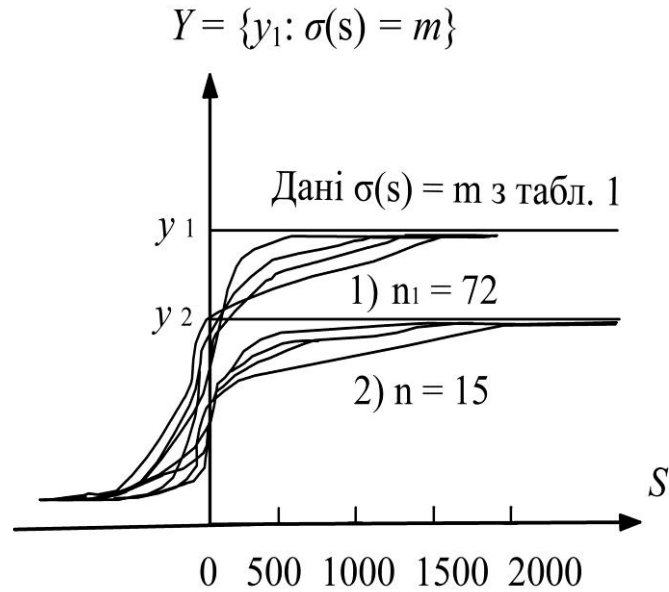


Рис. 4.12. Графік залежностей  $Y$  від  $S$  при вхідних сигналах класу 3 [56]



1) Inland ECDIS, GPS, 2) Inland radar

Рис. 4.13. Графік залежностей  $Y$  від  $S$  при вхідних сигналах класів 4, 5 [56]

**Test 11.** Обчислення сигналу помилки  $\delta$  показано у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12

Обчислення сигналу помилки  $\delta$  [56].

№ з/п	$y = f(e), м$	$\mu$	$z, м$	$\delta = z - y, м$	WS
SENC UA8N0023,000 (3528) [155]					
1	+ 0,45	0,5	+ 0,40	- 0,05	Херсон (14.08.2018)
2	+ 0,43	0,5	+ 0,40	- 0,03	
3	+ 0,42	0,5	+ 0,40	- 0,02	
4	+ 0,41	0,5	+ 0,40	- <b>0,01</b>	

У таблиці використані такі позначення:  $e$  – зважена сума вхідних сигналів.  $e = x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_n w_n$  (рис. 3.5);  $z$  – визначена величина;  $\mu$  – коефіцієнт швидкості навчання NN. Швидкість навчання  $\mu$  беремо у межах 0.3 – 0.7.

**Test 12.** Розрахунок СКП виходу нечіткої NN показані у таблиці 4.13.

Таблиця 4.13

## Розрахунок СКП виходу нечіткої NN [56]

№ з/п	$\Delta_1$		$\bar{p}_{1k}$ , <i>M</i>	Cod	$\Delta_2$		$\bar{p}_{2k}$ , <i>M</i>	Cod	<i>N</i>	$M = \frac{1}{2}(\Delta y)^2$ <i>M</i>	WS
	min/cod, <i>M</i>	max/cod, <i>M</i>			min/cod, <i>M</i>	max/cod, <i>M</i>					
SENC UA8N0023.000 UA8N0093.000 (3528) [155]											
1	- 1,50/0	+ 3,00/1	+ 0,50	0.44	- 1,50/0	+ 3,00/1	+0,70	0.49	4	0.02	Херсон – Каховська ГЕС (в/б)
2	- 1,60/0	+ 3,10/1	+ 0,60	0.47	- 1,60/0	+ 3,10/1	+ 0,75	0.50	3	0.02	
3	- 1,70/0	+ 3,20/1	+ 0,70	0.49	- 1,70/0	+ 3,20/1	+ 0,80	0.51	2	0.01	

У таблиці використані наступні позначення:

$\Delta = [p_{ikmin}, p_{ikmax}]$  :  $p_{ikmin}$  id НСР,  $p_{ikmax}$  id ВСР – інтервал налаштування складових  $p_{ik}$  вектора  $\bar{p}_k = (p_{1k}, p_{2k}, p_{3k})$  ;  $N$  – підінтервали поділу  $\Delta$ ,  
 $N = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow p_{ikmin}$  id cod 0,  $p_{ikmax}$  id cod 1 ;  $h_2 - h_1$  – різниця перевищень миттєвого рівня між  $WS$ ;  $m_{z0}$  – загальна погрішність глибини, показаної на карті;  
 $M = \frac{1}{2}(\Delta y)^2$  – СКП виходу нечіткої NN;  $\Delta y = y - y_0$  – абсолютна помилка вихідного нейрона;  $y_0$  – потрібне значення виходу.

Операція декодування є інверсною по відношенню до операції кодування.

Таблиця 4.14

Порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючим та запропонованим методом навігації

Test	Пропонований метод навігації	Існуючий метод навігації
1	2	3
1	а) Забезпечення безаварійного руху ВТЗ (розрахунки у підрозділі 4.3).  Підвищення ймовірності безпечного плавання до 97%. Відмова від лоцманського принципу судноводіння. Відмова від установки берегових і	а) Не забезпечує безаварійний рух ВТЗ.  Не забезпечує підвищення ймовірності безпечного плавання. Відмова від лоцманського принципу судноводіння не можлива. Відмова від установки берегових і

1	2	3
	<p>плавучих ЗНО. Адаптивний режим попереджувального відображення безпечної області руху суден до позицій з лімітуючими обмеженнями експлуатації ВТЗ. Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій;</p> <p>б) підвищення ефективності несення навігаційної вахти (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Дозволить виключити помилки в системі підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів. Дозволить зменшити час на прийняття рішення при змінах умов функціонування до 30%, або, при незмінному часі, підвищити ймовірність прийняття правильних рішень на 10–15 %.</p> <p>Автоматизація взаємодії засобів електронно-картографічної інтелектуалізації з внутрішніми і зовнішніми датчиками при змінах умов експлуатації;</p> <p>с) використання інформаційних методів для оцінки вхідної і вихідної інформації Inland ECDIS (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Підвищення точності навігаційних параметрів, що визначають обмеження для судноплавства на 10 % по відношенню до звичайного режиму;</p> <p>д) врахування якісних характеристик навігаційної інформації, що сприймається й переробляється (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Врахування часової невизначеності реальних потоків інформації (безперервність потоку даних). Можливість показу ізобат для дійсного рівня води на судновому ході в залежності від обраної осадки судна;</p>	<p>плавучих ЗНО не можлива. Режим попереджувального відображення безпечної області руху суден до позицій з лімітуючими обмеженнями експлуатації ВТЗ відсутній. Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій не існує;</p> <p>б) ефективність несення навігаційної вахти залежить тільки від людського фактору.</p> <p>Не виключені помилки в системі підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів. У зв'язку з дотриманням обов'язкового алгоритму роботи з паперовими навігаційними картами і РІС зменшити час на прийняття рішення при змінах умов функціонування або підвищити ймовірність прийняття правильних рішень не є можливим. Автоматизація взаємодії Inland ECDIS із зовнішніми датчиками (WS) відсутня;</p> <p>с) інформаційні методи для оцінки вхідної і вихідної інформації в Inland ECDIS відсутні.</p> <p>Підвищення точності критичних факторів, що визначають обмеження для судноплавства, неможливе у зв'язку з їх відсутністю;</p> <p>д) безперервність реального потоку даних не забезпечується.</p> <p>Показ ізобат для дійсного рівня води на судновому ході в залежності від обраної осадки судна відсутній;</p>

1	2	3
	<p>е) досягнення значної економії палива (розрахунки у підрозділі 4.3). Можливість передачі даних за запитом. (економія ресурсу);</p> <p>ф) не потрібна додаткова підготовка судноводіїв</p>	<p>е) існуюча технологія не забезпечує значну економію палива і економію ресурсу об'єктів зовнішнього середовища;</p> <p>ф) потрібна додаткова підготовка судноводіїв</p>
2	Цілеспрямована автоматизація процесів підтримки прийняття рішень при змінах умов експлуатації ВТЗ, своєчасного передбачення розвитку подій з впливом на стаціонарні фактори навколишнього середовища	Автоматизація процесів підтримки прийняття рішень при змінах умов експлуатації ВТЗ у частині використання деталізованого банку глибин відсутня
3	<p><i>Aut depth SENC &amp; Aut nav SENC</i>. Візуальне спостереження захоплення на SENC Inland ECDIS потоку даних від WS. Візуальне спостереження автоматизованого введення поправок і змін глибин на SENC</p>	Автоматизоване введення поправок і змін глибин на SENC відсутнє
4	Спрацьовування сигналізації за умови $h(t) = НСР \Delta ВСР \& D(z_i) \rightarrow \max \vee \min$ показані у таблиці	Сигналізація за умови $h(t) = НСР \Delta ВСР$ та виході з БОН відсутня
5,7	Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій у частині застосування NN. Розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування в режимах контролю і діагностування	Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій у частині застосування NN відсутня. Функціональні можливості Inland radar не розширені
6,8	Висока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$ . Зменшення помилки $\delta$ при реалізації функції навчання NN. Автоматизований розрахунок СКП виходу нечіткої NN	Невисока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$ . Зменшення помилки $\delta$ не передбачено. Автоматизований розрахунок СКП вихідних даних від WS відсутній
9	Розв'язана задача розміщення WS для отримання оптимального потоку навігаційних даних	WS розміщені без урахування критеріїв точності судноплавства

### 4.3. Розрахунок показників та оцінка ефективності впровадження запропонованого методу навігації

Ефективність впровадження запропонованого методу навігації – це здатність створюваної мережі досягати поставленої мети в заданих умовах застосування ІМН з визначеною якістю. Тобто, у даному випадку – це характеристика, що відображає ступінь відповідності створюваної мережі своєму призначенню, її технічна досконалість і економічна доцільність. Корисним результатом є ефект від її використання, який досягається за допомогою певних витратних ресурсів. Ефективність розглянемо у вигляді співвідношення між ефектом і витратами.

Ефективність мережі ІМН оцінимо шляхом виконання апріорної оцінки з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації запропонованого методу до етапу експлуатації. Для здійснення апріорної оцінки застосуємо методи математичного моделювання. Обрана аналітична математична модель характеризується:

- роботою системи в діалоговому режимі і враховує характеристики людини (користувача, оператора Inland ECDIS), відображає її роль і місце в запропонованій системі;
- охопленням основного і допоміжного процесу функціонування автоматизованої системи;
- відображенням процесів, що відбуваються паралельно;
- поєднанням властивостей опису і оцінки процесів функціонування;
- доступністю мови програм.

У досліджуваній аналітичній математичній моделі весь процес функціонування системи і окремих її частин представлялися аналітично у вигляді функціональних залежностей (алгебраїчних і логічних співвідношень, інтегрально-диференціальних рівнянь). Причому, при дослідженні ефективності системи комплексно використані і імітаційні моделі в раціональному поєднанні.

Слід зазначити, що за темою «Структурне моделювання та диференціальні символічні перетворення системи відображення фактичних глибин на електронній

карті», затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 08.12.17 № 1), проводяться дисертаційні дослідження. В якості основної математичної моделі при дослідженні ефективності системи прийнята імітаційна модель, що відрізняється від аналітичної моделі за принципами побудови і методами дослідження. У такій імітаційній моделі процес функціонування відображається алгоритмічно. Імітаційне моделювання дозволяє провести дослідження системи більш повно і глибоко, хоча його використання пов'язане з більшою трудомісткістю і значними витратами.

Враховуючи вищевикладене, за окремими показниками ефективності (наприклад, показники надійності, затримки в мережі передачі даних, інтегральної і динамічної пропускну здатності, технічних і програмних засобів мережі та інше) розрахунки проводилися з огляду на спрямованість даної дисертації.

Показники ефективності впровадження запропонованого ІМН:

1. Показник ефективності мережі  $W = \{W_{\text{Ц}}, W_{\text{Т}}, W_{\text{Е}}\}$ .

2. Показники цільової ефективності мережі  $W_{\text{Ц}} = \{W_{\text{ТН}}, W_{\text{ТЧ}}, W_{\text{Н}}\}$ .

Це кількісна міра відповідності мережі своєму призначенню.

3. Показники технічної ефективності мережі

$W_{\text{Т}} = \{W_{\text{ПЗ}}, T_{\text{ЗС}}, \delta_{\text{нав}}, \delta_{\text{нав}} (\Delta t, t), \mu\}$ . Це кількісна міра, яка відображає технічну досконалість мережі.

4. Показники економічної ефективності мережі

$W_{\text{Е}} = \{W_{\text{ЕІ}}, W_{\text{ЕО}}\} = \{E_{\text{Р}}, T_{\text{ОК}}, W_{\text{ЕП}}, W_{\text{ЕТ}}\}$ . Це кількісна міра економічної доцільності мережі.

Показник ефективності  $W$  мережі визначається процесом її функціонування.  $W$  є функціоналом від цього процесу.

$$W = W \{t, W_{\text{NAV}}, W_{\text{ТП}}, W_{\text{А}}, W_{\text{Д}}, W_{\text{У}}\},$$

де  $W$  – множина показників ефективності мережі;  $t$  – час;  $\{W_{NAV}, W_{ТП}, W_A, W_D, W_Y\}$  – множина параметрів мережі ( $W_{NAV}$  – потік навігаційної інформації,  $W_{ТП}$  – обслуговування користувачів технічними і програмними засобами мережі,  $W_A$  – алгоритми обробки і передачі інформації у мережі,  $W_D$  – діяльність користувачів,  $W_Y$  – умови функціонування мережі).

$$W_D = \{W_{ТН}, W_{Тч}, W_H\},$$

де  $\{W_{ТН}, W_{Тч}, W_H\}$  – множина показників ефективності функціонування автоматизованої мережі: точнісні ( $W_{ТН}$ ), тимчасові ( $W_{Тч}$ ), надійнісні ( $W_H$ ).

Значення компонентів множини  $\{W_{ТН}, W_{Тч}, W_H\}$  визначаються в процесі діяльності операторів Inland ECDIS в автоматизованій мережі при несенні навігаційної вахти.

**Test A.** Показники цільової ефективності мережі  $W_{Ц}$ . Нижче наведені показники групи  $W_{Ц}$ . За допомогою цих показників оцінюється ефект, одержуваний за рахунок вирішення прикладних завдань (а не вручну традиційними способами). Для кількісної оцінки застосовуються різні одиниці виміру.

1. Точнісні показники ( $W_{ТН}$ ):

а) підвищення точності НП (на прикладі автоматичного зображення глибин на SENC) шляхом зменшення помилки  $\delta_y$  (функція навчання NN)

$$\delta_y = \frac{\left| \frac{\sum_{i=1}^{n=4} \delta_{ni}^{(3B)}}{n} - \frac{\sum_{j=1}^{m=200} \delta_{mj}^{(ABT)}}{m} \right|}{y} \cdot 100\%,$$

де  $\delta^{(3B)}$ ,  $\delta^{(ABT)}$  – помилки, отримані при звичайному і автоматичному способі передачі поправок від WS.

Розрахунок:

підвищення точності  $\delta_y$  відбудеться на  $\frac{0,05-0,01}{0,45} \cdot 100\% \approx 10\%$  по відношенню

до звичайного режиму;

б) скорочення часу для прийняття рішення з безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана при спрацьовуванні сигналізації за умови  $h(t) = \text{НСР} \Delta \text{ВСР} \& D(z_i) \rightarrow \max \vee \min$ .

Розрахунок:

скорочення часу  $\delta t_y = \frac{t^{(3B)}}{t^{(ABT)}}$  відбудеться в  $\frac{3 \text{ хв}}{0,3 \text{ хв}} = 10$  разів,

де  $t^{(3B)}$ ,  $t^{(ABT)}$  – час для прийняття рішення при спрацьовуванні сигналізації при звичайному і автоматичному способі отримання поправок до глибин;

с) підвищення точності розрахунку СКП вихідного сигналу від навігаційних датчиків

$$\delta M_y = \frac{M^{(3B)}}{M^{(ABT)}} = \frac{0,5(\Delta y^{(3B)})^2}{0,5(\Delta y^{(ABT)})^2} = \left( \frac{\Delta y^{(3B)}}{\Delta y^{(ABT)}} \right)^2,$$

де  $M^{(3B)}$ ,  $M^{(ABT)}$  – СКП вихідного сигналу від навігаційних датчиків при звичайному і автоматичному режимі;  $\Delta y^{(3B)}$  – абсолютна помилка вихідного сигналу при звичайному режимі;  $\Delta y^{(ABT)}$  – абсолютна помилка вихідного сигналу при автоматичному режимі.

Розрахунок:

підвищення точності розрахунку СКП  $\delta M_y$  відбудеться в  $\left( \frac{0,02}{0,01} \right)^2 = 4$  рази по

відношенню до звичайного режиму;

д) підвищення ефективності несення навігаційної вахти (navigation watch – *nw*) в частині скорочення часу на виконання завдань з визначення безпечних значень НП.

$$\delta T_{nw} = \frac{\left| \sum_{i=1}^{n=20} T_{ni}^{(3B)} \right| - \left| \sum_{j=1}^{m=20} T_{mj}^{(ABT)} \right|}{T_{nw}} \cdot 100\%.$$

де  $T_{ni}^{(3B)}$ ,  $T_{ji}^{(ABT)}$  – час для визначення безпечних значень НП при звичайному і автоматичному режимі при несенні навігаційної вахти.

Розрахунок:

$$\text{скорочення часу } \delta T_{nw} \text{ відбудеться на } \frac{1,5 \text{ год} - 0,3 \text{ год}}{4,0 \text{ год}} \cdot 100\% = 30\%.$$

е) підвищення ймовірності безпечного плавання за рахунок своєчасного виявлення небезпек з лімітованими значеннями глибин.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\delta n} &= P_{\delta n}^{(3B)} - P_{\delta n}^{(ABT)} = \left[ 1 - \exp\left(\frac{D_{\min}^{(3B)}}{M^{(3B)}}\right)^2 \right] - \left[ 1 - \exp\left(\frac{D_{\min}^{(ABT)}}{M^{(ABT)}}\right) \right]; D_{\min} > 0 \quad \vee \\ \vee \Delta P_{\delta n1} &= P_{\delta n1}^{(3B)} - P_{\delta n1}^{(ABT)} = 0,5[1 + \Phi(Z^{(3B)})] - 0,5[1 + \Phi(Z^{(ABT)})]; D_{\min1} > 0, \\ Z^{(3B)} &= D_{\min1}^{(3B)} \sqrt{\frac{2}{M^{(3B)}}}, \quad Z^{(ABT)} = D_{\min1}^{(ABT)} \sqrt{\frac{2}{M^{(ABT)}}}, \end{aligned}$$

де  $P_{\delta n}^{(3B)}$ ,  $P_{\delta n}^{(ABT)}$  – ймовірність навігаційної безпеки плавання при звичайному і автоматичному режимі;  $D_{\min}^{(3B)}$ ,  $D_{\min}^{(ABT)}$  – найкоротша відстань до найближчої навігаційної небезпеки при звичайному і автоматичному режимі;  $P_{\delta n1}^{(3B)}$ ,  $P_{\delta n1}^{(ABT)}$  – ймовірність навігаційної безпеки плавання при звичайному і автоматичному режимі при розташуванні навігаційних небезпек по одному борту судна;  $D_{\min1}^{(3B)}$ ,  $D_{\min1}^{(ABT)}$  – найкоротша відстань до найближчої навігаційної небезпеки при звичайному і автоматичному режимі при розташуванні навігаційних небезпек по одному борту судна.

При розрахунках  $P_{\delta n}^{(3B)}$ ,  $P_{\delta n}^{(ABT)}$  використовується функція кругового розподілу Релея. Ймовірності розраховуються по аргументах  $\frac{D_{\min}^{(3B)}}{M^{(3B)}}$ ,  $\frac{D_{\min}^{(ABT)}}{M^{(ABT)}}$  за допомогою таблиці 4.18 МТ-2000 [109].

При розрахунках  $P_{\text{бп1}}^{(3B)}$ ,  $P_{\text{бп1}}^{(ABT)}$  використовується функція Лапласа. Ймовірності розраховуються по аргументах  $Z^{(3B)}$ ,  $Z^{(ABT)}$  за допомогою таблиці 4.19 МТ-2000 [109].

Розрахунок:

$$\text{Таблиця 4.18} \begin{matrix} D_{\min}^{3B}=0,38 \\ M^{(3B)}=0,02 \end{matrix} \rightarrow P_{\text{бп1}}^{(3B)} = 0,95, \text{ таблиця 4.18} \begin{matrix} D_{\min}^{(ABT)}=0,39 \\ M^{(ABT)}=0,02 \end{matrix} \rightarrow P_{\text{бп1}}^{(ABT)} = 0,97.$$

Підвищення  $\Delta P_{\text{бп}}$  відбудеться на 0,02.

$$\text{Таблиця 4.19} \begin{matrix} D_{\min 1}^{3B}=0,28 \\ M^{(3B)}=0,02 \end{matrix} \rightarrow P_{\text{бп1}}^{(3B)} = 0,95, \text{ таблиця 4.19} \begin{matrix} D_{\min 1}^{(ABT)}=0,37 \\ M^{(ABT)}=0,02 \end{matrix} \rightarrow P_{\text{бп1}}^{(ABT)} = 0,97.$$

Підвищення  $\Delta P_{\text{бп1}}$  відбудеться на 0,02.

## 2. Тимчасові показники $W_{\text{Тч}}$ .

$W_{\text{Тч}}$  характеризують скорочення термінів і кількості ланок при проходженні інформації про глибини:

а) скорочення термінів  $\delta T_d$  (на прикладі автоматичного зображення глибин на SENC)

$$\delta T_d = \frac{T_d^{(3B)}}{T_d^{(ABT)}}.$$

Розрахунок:

скорочення часу  $\delta T_d$  відбудеться в  $\frac{4xв}{0,1 \text{ } xv} = 40$  разів.

б) скорочення кількості ланок  $\delta N$  при проходженні навігаційної інформації

$$\delta N = \frac{N^{(3B)}}{N^{(ABT)}}.$$

Розрахунок:

скорочення кількості ланок  $\delta N$  відбудеться в  $\frac{20}{2} = 10$  разів.

## 3. Показники надійності ( $W_{\text{н}}$ ).

Як було зазначено вище, в даний час проводяться дисертаційні дослідження по обладнанню берегової інфраструктури для автоматизованої передачі поправок

до глибин, включаючи розробку трьох складових надійності (надійність, готовність і зручність обслуговування).

**Test B.** Показники технічної ефективності мережі ( $W_T$ ).

За допомогою показників  $W_T$  оцінюємо ефективність мережі як складної апаратно-програмної системи при її роботі в різних режимах. Показники групи  $W_T$  використовуються для кількісної оцінки ефективності всієї мережі і окремих її систем.

Для оцінки технічної ефективності мережі автоматизованої передачі поправок використані наступні показники:

$$W_T = \{ W_{ПЗ}, T_{ЗС}, \delta_{nav}, \delta_{nav}(\Delta t, t), \mu \},$$

1. *Пропускна здатність мережі*  $W_{ПЗ}$ .

Середній потік даних, що фактично передаються через мережу, складає  $\approx$  1 Мбит/с.

2. *Затримка у мережі*  $T_{ЗС}$ , тобто час доставки повідомлення до оператора Inland ECDIS, складає 140 – 180 мсек.

3. *Інтегральна пропускна здатність*  $\delta_{NAV}$  ланки мережі на відрізьку  $[0, t]$

$$\delta_{NAV} = \frac{n_o(0, t)}{n_{NAV}(0, t)}$$

де  $n_o(0, t)$ ,  $n_{NAV}(0, t)$  – число запитів, обслужених ланкою в інтервалі часу  $[0, t]$ , і таких, що надійшли на цьому ж інтервалі.

$$\delta_{NAV} = \frac{32}{32} \cdot 100\% = 100\% \text{ (за добу).}$$

Розрахунок  $\delta_{NAV}$  показує, що берегове обладнання забезпечує обслуговування суден від моменту початку відліку роботи до певного моменту  $t$  (наприклад, за добу, місяць).

4. *Динамічна пропускна здатність  $\delta_{NAV}(\Delta t, t)$*

$$\delta_{NAV}(\Delta t, t) = \frac{n_0(\Delta t, t)}{n_{NAV}(\Delta t, t)},$$

де  $n_0(\Delta t, t)$  – число запитів від суден на невеликому інтервалі  $\Delta t$  до моменту часу  $t$ ;  
 $n_{NAV}(\Delta t, t)$  – число відповідей, що надійшли на судна, на інтервалі  $\Delta t$  і до моменту часу  $t$ .

$$\delta_{NAV}(\Delta t, t) = \frac{44}{44} \cdot 100\% = 100\% \text{ (за добу)}.$$

Розрахунок  $\delta_{NAV}(\Delta t, t)$  показує, що навігаційні датчики справляються з обслуговуванням суден на будь-якому заданому відрізку часу  $\Delta t$  до поточного моменту  $t$ .

5. *Максимально можливе число активних абонентів  $\mu$  – не обмежується.*

**Test C.** *Показники економічної ефективності мережі ( $W_E$ ).*

Для оцінки  $W_E$  використовуємо дві групи показників: інтегральні  $W_{EI}$  і окремі  $W_{EO}$ .

$$W_E = \{W_{EI}, W_{EO}\}.$$

Слід зазначити, що розрахунки  $W_{EI}$  і  $W_{EO}$  проведені шляхом апіорної (очікуваної) оцінки. Апостеріорна (фактична) оцінка проводиться при дисертаційних дослідженнях по обладнанню берегової інфраструктури для автоматизованої передачі поправок до глибин, як було зазначено вище.

1. *За допомогою  $W_{EI}$  оцінюється загальний (інтегральний) ефект.*

$$W_{EI} = \{E_P, T_{OK}\},$$

а)  $E_P$  – річний економічний ефект, грн;

$$E_P = \sum_{i=1}^n Q_{in} - \sum_{j=1}^m R_{jm},$$

де  $\sum_{i=1}^n Q_{in}$  – річна економія при відмові від установки берегових і плавучих ЗНО і лоцманського принципу судноводіння (річкова е-навігація);  $\sum_{j=1}^m R_{jm}$  – витрати на обслуговування мережі і її окремих підсистем.

Розрахунок:

$$E_p = 48,5 \text{ млн. грн} - 0,5 \text{ млн. грн} = 48 \text{ млн. грн.}$$

б)  $T_{OK}$  – термін окупності капітальних вкладень, рік.

$$T_{OK} \approx 2,0 \text{ роки.}$$

Використання досліджуваної системи економічно доцільне, тому що виконуються умови

$$E_{\Delta} \geq E_H \ \& \ T_{OK} \geq T_H,$$

де  $T_H$  – нормативний термін окупності капітальних вкладень;  $E_H$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень.

2. За допомогою  $W_{EO}$  оцінюємо *окремий економічний ефект*, що отримується за окремими джерелами економії. В даному випадку

$$W_{EO} = \{ W_{EP}, W_{ET} \},$$

де  $W_{EP}$  – показник економії палива;  $W_{ET}$  – показник економії при проведенні тренажерної підготовки операторів Inland ECDIS.

а) Економія палива  $W_{EP}$  складає

$$W_{EP} \approx 0,3 \text{ т за добу (простої, вибір оптимального маршруту та ін.)}$$

б) Економія  $W_{ET}$  при проведенні тренажерної підготовки операторів Inland ECDIS – додаткова підготовка не потрібна.

#### **4.4. Сфера застосування розроблених методів і пропозиції щодо подальших досліджень**

1. *Сфера застосування розроблених методів* – галузь морського і річкового транспорту при взаємодії з МІУ України (впровадження сучасного методу навігації на ВВШ України) і МОН України (навчання).

Розробка і впровадження сучасного методу навігації на ВВШ України усуне відставання в розвитку сучасних транспортних технологій і прискорить процес інтеграції України в Європейський союз. Слід врахувати, що ця проблема в Україні не вирішена і розглядалася тільки на рівні пропозицій і гіпотез.

Основою для застосування системи ІМН (річкової *e*-навігації) на ВВШ України є результати досліджень з автоматизації нанесення фактичних глибин на SENC, створення сучасної системи обробки навігаційних даних, застосування додаткових елементів включення в Inland ECDIS, обґрунтування критеріїв функціональної стійкості ІМН.

Вирішення зазначеної проблеми, по-перше, підвищить ймовірність безпечного плавання суден, по-друге, спростить завдання щодо переведення експлуатації суднового ходу річки Дніпро на умови особливого періоду, по-третє, поставить під сумнів саму необхідність деталізації масиву глибин на ENC, оскільки: дані про глибини на ВВШ швидко застарівають, а для безпеки судноплавства набагато важливіше точне зазначення положення фарватеру. У разі використання ENC із застарілим масивом глибин виникнуть передумови для проведення перевірки відомостей, отриманих від Inland ECDIS.

2. *Пропозиції щодо подальших досліджень:*

а) використання результатів дослідження при створенні системи ІМН (річкової *e*-навігації) в рамках дисертаційного дослідження, що проводиться за темою «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах», затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 24.11.2016 № 17).

Так, впровадження ІМН на ВВШ України розглядається як системний об'єкт з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних елементів, їх властивостей і процесів [128].

Система ІМН – це набір об'єктів, що мають інтегральні властивості і закономірності, а також набір зв'язків між об'єктами і їх властивостями. Складові елементи ІМН та їх взаємодія визначені виразами 1.9 – 1.14;

б) використання результатів дослідження при проведенні структурних перетворень об'єктів зовнішнього середовища в рамках дисертаційного дослідження, що проводиться за темою «Структурне моделювання та диференціальні символічні перетворення системи відображення фактичних глибин на електронній карті», затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 08.12.2017 № 1).

Метою вказаного дисертаційного дослідження є побудова моделі перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах сучасного методу річкової *e*-навігації. Перспективи подальших досліджень можуть полягати у створенні послідовних методів розрахунку комплексу запропонованих показників, оптимізації їхніх програмних реалізацій, а також в експериментальному дослідженні запропонованих методів;

с) використання результатів дослідження при впровадженні нових, конструктивних підходів до створення та оновлення баз даних навігаційної інформації Inland ENC на ВВШ України, що, безумовно, забезпечить підвищення безпеки судноплавства.

Одним з конструктивних підходів є створення додаткової бібліотеки об'єктів, відмова від кодування відміток глибин і обов'язкове кодування області фарватеру. Наприклад, в Австрії кодуються тільки ізобати. У США також кодуються тільки ізобати, позначки глибин відсутні. На ВВШ США плавучі ЗНО застосовуються лише в деяких місцях, а берегові ЗНО майже відсутні. Такий підхід можна пояснити необхідністю мати Inland ENC, що створені на достовірній базі даних, в тому числі на підставі фактичного оновленого масиву глибин, і фактично повною відмовою від лоцманського принципу судноводіння (р. Міссісіпі);

d) використання результатів дослідження при вирішенні ряду додаткових задач: зменшення навантаження відображення ENC; зменшення тимчасових витрат і вартості виробництва осередків ENC; відмова від лоцманського принципу судноводіння; відмова від установки берегових і плавучих ЗНО, використання суднового ходу в особливий період.

Механізм реалізації полягає в системному науково обґрунтованому підході до автоматизації і періодичності оновлення деталізованого масиву глибин на SENC для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи й обороноздатності України;

e) використання результатів дослідження в навчальному процесі факультету судноводіння ДУІТ при вивченні дисциплін: «Навігаційно-інформаційні системи», «Навігація і лоція»;

f) на підставі запропонованих в дисертації алгоритмів розробити програмне забезпечення (ПЗ), включаючи ПЗ і тестові завдання для автоматичної перевірки базової версії Inland ECDIS;

g) впровадження розроблених методів щодо цілеспрямованої автоматизації процесів експлуатації ВТЗ, своєчасного передбачення розвитку подій з впливом на стаціонарні фактори навколишнього середовища. Це обумовлено неузгодженістю етапів руху з оперативними можливостями видання завдань по функціонуванню ВТЗ;

h) доопрацювання стандарту обміну інформацією S-57 для електронних карт та електронних навігаційно-інформаційних систем, створення єдиного удосконаленого стандарту при плаванні на морі і на ВВШ. Необхідність такого доопрацювання підтверджується експлуатацією суден типу «ріка – море»;

i) дослідження можливих ризиків передоручення використання Inland ECDIS. Це обумовлено тим, що величезна кількість Inland ENC може містити грубі помилки, які можуть призвести до серйозних наслідків, якщо будуть використовуватися в якості єдиного джерела навігаційної інформації;

j) дослідження інформаційної напруженості судноводія в роботі з інтерфейсом Inland ECDIS, яка призводить до зниження стійкості уваги. Велика

кількість зайвої інформації на дисплеї Inland ECDIS призводить до розкладення її на основну і неосновну, причому кількість неосновної інформації може слугувати перешкодою для своєчасного прийняття правильного рішення. Цей недолік Inland ECDIS свідчить про пріоритетність на теперішній час візуального спостереження.

к) дослідження безпечного руху суден при буксируванні складів (барж та інше) в умовах інструментального методу навігації.

## **Висновки по РОЗДІЛУ 4**

1. Визначені програма експериментальних досліджень запропонованого методу сучасної *e*-навігації та шляхи виконання апріорної оцінки досліджень з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності їх реалізації до етапу експлуатації. Програма експериментальних досліджень базується на запропонованих методах ефективної обробки потоку навігаційних даних від зовнішнього середовища до електронно-картографічної системи при експлуатації водного транспорту в умовах річкової *e*-навігації. Для здійснення апріорної оцінки застосовані методи математичного моделювання.

2. На підставі аналізу навігаційно-гідрографічної інформації та картографічного забезпечення безпеки судноплавства на р. Дніпро обрані ділянки судноплавства, відповідні зоні зображення на SENC, включаючи протяжність і складність ділянок з урахуванням діючих нормативів по навігаційно-гідрографічній і гідрологічній забезпеченості.

3. Для проведення випробувань обрані технічні засоби вимірювання імітаційного модулювання, показники та формули ефективності, що характеризують імітаційне моделювання та експериментальні дослідження обраних методів.

4. Визначені критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних.

5. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 12 тестів.

6. Проведені експериментальні дослідження, їх математична обробка та отримані результати досліджень запропонованого метода сучасної навігації.

7. Проведений порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючим та пропонованим методом навігації. Виявлені недоліки застосування електронно-картографічних засобів.

8. Здійснений розрахунок показників та оцінка ефективності пропонованих методів. З метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації пропонованого методу навігації до етапу експлуатації застосована апіорна оцінка ефективності.

9. Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів для ефективного використання ВТЗ, об'єктів берегової інфраструктури за допомогою засобів електронно-картографічної інтелектуалізації при змінах умов експлуатації.

10. Запропоновані методи дозволяють підвищити точність навігаційних параметрів на 10 %; скоротити час для прийняття рішення з безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити точність розрахунку СКП вихідного сигналу в 4 рази; підвищити ефективність несення навігаційної вахти на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97; скоротити кількість ланок при проходженні інформації про глибини в 10 разів; інтегральна і динамічна пропускна здатність мережі складає 100 %, тобто розрахунок показує, що берегова інфраструктура справляється з обслуговуванням суден на будь-якому заданому відрізку часу; максимально можливе число активних абонентів не обмежується; річний економічний ефект складає 48 млн. грн, термін окупності капітальних вкладень складає  $\approx 2$  роки; економія палива складає  $\approx 0,3$  т за добу (простої, вибір оптимального маршруту та ін.); додаткова тренажерна підготовка операторів Inland ECDIS не потрібна.

11. Здійснено обґрунтування сфери застосування розроблених методів для експлуатації об'єктів водного транспорту на внутрішніх водних шляхах України.

12. Сформульовані пропозиції та рекомендації щодо подальших досліджень.

## ВИСНОВКИ

1. **Оцінка стану питання.** Основні положення та основні напрями досліджень ґрунтуються на результатах аналізу діючого і сучасного методів навігації, стану функціонування суднових навігаційних засобів, в тому числі засобів електронно-картографічної інтелектуалізації, об'єктів берегової інфраструктури, аналітичного огляду тенденцій розвитку їх базових математичних моделей, огляду та аналізу літературних джерел за темою дослідження. У результаті проведених у дисертації досліджень виконана научна задача ефективного використання водного транспорту в умовах річкової е-навігації за допомогою методів реалізації обчислювального інтелекту.

Дисертаційне дослідження містить теоретичне узагальнення щодо вирішення проблеми шляхом впровадження інструментального методу навігації (річкової е-навігації) і конструктивного вирішення ряду додаткових задач. Цей метод відрізняється автоматизацією нанесення фактичних глибин на SENC, створенням сучасної системи обробки навігаційних даних, застосуванням додаткових елементів включення в Inland ECDIS, обґрунтуванням критеріїв функціональної стійкості ІМН. Розроблений спосіб реалізований у технічному рішенні, яке пройшло перевірку у тренажерних центрах, РІС і в електронно-картографічній системі на судні «Vectis Isle» (flag of Comoros).

*Обґрунтування вибору теми дослідження.* Проблема пошуку методів для високоефективного і безпечного руху ВТЗ з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища на річці Дніпро, була та залишається актуальною. Існуюча потреба у покращенні стандартів роботи з ергатичними системами, а також у їх розвитку здійснюється у таких напрямках, як застосування ІМН та вибір ефективного та безпечного шляху для запобігання втрат.

Застосування ІМН на ВВШ України, що базується на використанні засобів електронно-картографічної інтелектуалізації, стає особливо актуальним у зв'язку

із введенням в дію наказу Міністерства інфраструктури України від 25.02.2011 № 7 щодо оснащення всіх категорій річкових суден обладнанням Inland ECDIS починаючи з 2017 р.

Специфіка предметної області дослідження пов'язана з безпекою судноплавства на ВВШ й обороноздатністю України, двоїстістю природи застосування ІМН з використанням річкових електронно-картографічних систем (Inland ECDIS). З одного боку, це вимоги обороноздатності держави і безпеки судноплавства, які не мають суто економічного характеру. Введення ІМН дозволить в особливий період оперативно закрити судноплавство по фарватеру й здійснювати провідку тільки обраних суден. З іншого боку, економічна складова оцінюється системою критеріїв, пов'язаних із впровадженням ІМН і конструктивним вирішенням ряду додаткових задач (відмова від лоцманського принципу судноводіння; відмова від установки берегових і плавучих ЗНО).

Вирішення такої проблеми безумовно дозволить державі отримати значний економічний ефект. Тому розробка і впровадження інструментального методу навігації (річкової е-навігації) і конструктивного вирішення ряду додаткових задач підтверджує актуальність завдання.

**2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики.** Вирішена наукова завдача стосовно застосування наукового підходу щодо впровадження сучасної системи навігації на внутрішніх водних шляхах України у вигляді вирішення в першу чергу слабоструктурованих проблем, що характеризуються наявністю фактора невизначеності і містять як формалізовані, так і неформалізовані елементи, що не перекладаються на мову математики.

Мета дисертаційного дослідження досягається шляхом розробки нових методів, що дозволяють автоматизувати електро-картографічну систему Inland ECDIS для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи. Виконання завдань щодо впровадження методів сучасної обробки навігаційних даних гарантує підвищену ймовірність безпечного плавання згідно з точнісними критеріями судноплавства.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

– вперше запропонована модель оптимізації структури інструментального методу навігації, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією (методів) процедур системного та ситуаційного аналізу, а також комплексної автоматизації роботи функціональних підсистем з метою підвищення рівня безпеки руху в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння;

– вперше запропонована модель контекстно-орієнтованої інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних, яка на відміну від існуючих забезпечує обробку автоматизованих даних в електронно-картографічній системі для розв'язання оперативних задач навігації;

– удосконалений метод автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна по фарватеру, що дозволяє, на відміну від існуючих, використовувати інтегрування даних векторної електронної карти і зовнішніх датчиків;

– набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури обчислення зворотного поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність навігаційних параметрів за рахунок навчання нейронної мережі.

**3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів.** У процесі дослідження використаний комплекс процедур, що мають елементи наукової новизни і спрямовані на формулювання проблемної ситуації щодо створення сучасного методу навігації. Основні теоретичні і практичні результати, отримані в дисертації, також можуть бути використані при експлуатації суден, модернізації берегової інфраструктури, а також у процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

**4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів.** Якісним показником результатів дисертаційної роботи є оперативне отримання областей

для коректного вибору маневру судна. Як показало імітаційне моделювання, запропонований метод має високу ефективність. Вирішення зазначеної проблеми, по-перше, дозволить підвищити ймовірність безпечного плавання суден, по-друге, дозволить спростити завдання щодо переведення експлуатації суднового ходу річки Дніпро на умови особливого періоду.

**5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.** Достовірність результатів роботи підтверджується коректною розробкою і застосуванням математичних моделей, а також апіорною оцінкою та імітаційним моделюванням, виконаними за допомогою розроблених комп'ютерних програм.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алейніков, В. М. Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової е-навігації / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 3 (56). — С. 175 – 196.
2. Алейніков, В. М. Оптимізація алгоритму дій вахтового помічника при плануванні та здійсненні рейсу судна з використанням ECDIS : магістр. дис. : 05.22.10 / Алейніков Владислав Михайлович ; КДАВТ.— К., 2017.— 121 с.
3. Алексишин, А. В. Расчет граничных пеленгов к зонам безопасности судов / А. В. Алексишин // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. — 2012. — № 2 (7). — С. 8 – 16.
4. Алейніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS / Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / В. М. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірн. науков. праць. — 2015. — № 2 (23). — С. 26 – 33.
5. Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2015. — № 2 (13). — С. 303-316.
6. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.
7. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков,

М. В. Алєйніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29. DOI:10.3180/2524-0102/2019.08.03.

8. Alieinikov, M., Panin, V., Doronin, V., Tykhonov, I. (2018). Application of Intelligent Processing of Data Flows Under Conditions of River Navigation. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 3/9 (93), 6 – 18. DOI:10.1558/1729-4061.2018.131599.

9. Алєйніков, М. В. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алєйніков, М. В. Алєйніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.

10. Алєйніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алєйніков, М. В. Алєйніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.

11. Aleynikov, M. V. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179.

12. Алєйніков, М. В. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алєйніков, М. В. Алєйніков, В. В. Доронін. // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавництво «ПП Вишемирський В. С.», 2018. — С. 152 – 154.

13. Алєйніков, М. В. Зняття невизначеності при русі судна з використанням систем електронно-картографічної навігації та деталізованого

банку глибин шляхом ситуаційної динаміки у  $n$ -мірному просторі / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадянського суспільства та становлення економіки знань», 29–30 вересня 2017 року, м. Київ. — Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017 — С. 5 – 11.

14. Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.

15. Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтовна інтелектуальна обробка потоків даних в умовах інструментального методу навігації / М. В. Алейніков // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., частина 2, 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ: КДАВТ, 2018. — С. 44-47.

16. Алейніков, М. В. Метод системної оптимізації автоматизованого використання деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій», 14 – 15 листопада 2017 року, м. Полтава : ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 69-71.

17. Алейніков, М. В. Актуальні питання впровадження електронної навігації в інтересах забезпечення безпеки плавання кораблів Військово-Морських Сил України Збройних Сил України / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // II етап науково-практичної конференції «Морські дослідження і технології в Україні: стан та перспективи розвитку», 22 листопада 2016 р., м. Одеса : ОдНУ ім. І.І. Мечникова, 2016. — С. 54-69.

18. Алексеев, С. П. О системном решении актуальных проблем безопасности плавания по внутренним водным путям. Навигация и гидрография / С. П. Алексеев, П. Г. Бродский, В. А. Катенин // Сборник трудов ГНИНГИ. — 2010. — № 29. — С. 34 – 45.
19. Анохин, П. К. Философские аспекты теории функциональной системы : избр. тр. / Отв. ред. Ф. В. Константинов, Б. Ф. Ломов, В. Б. Швырков; АН СССР, Ин-т психологии. — М. : Наука, 1978. — 399 с.
20. Aydogdu, E. Yalcin, C., Yurtorren, S. (2014). A Discussion on e-Navigation and Implementation in Turkey. *TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 8(1), 81 – 87.
21. Ackalic, T., Maslaric, M. (2012). Navigation conditions and the risk management in inland waterway transport on the middle Danube. *Transport Problems*, 7(4), 13 – 24.
22. Байрашевский, А.М. Справочник по судовому оборудованию радиосвязи и радионавигации. Т. 2: Оборудование радионавигации / А.М. Байрашевский, А.В. Жерлаков. — Л: Судостроение, 1979. — 84 с.
23. Барабаш, О. В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / О. В. Барабаш //Збірник наукових праць НАОУ. — 2012. — № 40. — С. 225 – 229.
24. Баранов, Ю. К. Навигация : учебн. пособие / Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк, В. А. Логиновский. — СПб.: Издательство Лань, 1997. — 512 с.
25. Берталанфи, Л. Фон. Общая теория систем: критический обзор: монография // Л. Фон. — Москва : «Прогресс». 2012. — С. 82.
26. Богомья, В. І. Навігаційне забезпечення управління судном: кол. моногр. / В. І.Богомья, В. С. Давидов, В. В. Доронін, В. Д. Пашков, І. В. Тихонов. — К. : Міністерство освіти і науки, 2012. — 335 с.
27. Бокова, О. И. Анализ эффективности функционирования радиотехнических устройств ЕИТКС ОВД с помощью показателей качества,

построенных на основе методов теории эффективности / О. И. Бокова, С. В. Ефимов // Вестник Воронежского института МВД. — 2009. — № 1. — С 56 – 64.

28. Буслов, И. П. Морская картография : справочник / И. В. Шубаков, И. П. Буслов и др. — Кн. 1, Ч. 1, 2 — Одесса : ТЭС, 2003.— 179 с.

29. Бураков, М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие / М. В. Бураков. — СПб.: ГУАП, 2013 — 284 с.

30. Буров, Н. И. Электронные навигационные карты : учебн. пособие / Н. И. Буров. — Одесса: ОГМА, 2000. — 147 с.

31. Вагущенко, А. Л. Алгоритм расчета границы безопасных расстояний расхождения по домену «полукруг-полуэллипс» / А. Л. Вагущенко А. Л. // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. — 2012. — № 2 (7). — С. 31 – 33.

32. Вагущенко, Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко.— Одесса: НУ «ОМА», 2016. — 238 с.

33. Вагущенко, Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении : учеб. пособ. / Л. Л. Вагущенко. — Одесса : ОНМА, 2013. — 135 с.

34. Вагущенко. Л. Л. Интегрированные системы ходового мостика : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко. — Одесса : Латстар, 2003. — 169 с.

35. Вагущенко, Л. Л. Системы автоматического управления движением судна : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко, Н. Н.Цымбал. — Одесса : ОНМА, 2002. — 210 с.

36. Вагущенко, Л. Л. Системы автоматического управления движением судна: 3-е изд., перераб. и доп. / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. — Одесса : Феникс, 2007. — 328 с.

37. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учебник для ВТУЗов / Е. С. Вентцель. — М. : Наука, 1969. — 576 с.

38. Вержбицкий, В. М. Основы численных методов: учебник. [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<http://mathhelpplanet.com/viewtopic.php?f=34&t=3814> (дата звернення 26.07.2019).

39. Волков, А. Б. Новые инфокоммуникационные системы для внутреннего водного транспорта / А. Б. Волков // Морская биржа. — 2009. — № 2 (27). — С. 35–38.
40. Weintrit, A. (2010). Telematic Approach to e-Navigation Architecture, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1- 10.
41. Watson, H., Bulding, J. (2010). Executive Information Systems and other Decision Support Applications [Text]. New York: John Wiley & Sons Inc, 290 – 301.
42. Valcic, M., Antonic, R., & Tomas, V. (2011). Based Model for Ship Speed Prediction. Brodo Gradnja, 62 (4), 373–382.
43. Valette, J. (2015). D2.4 Analysis report on available and emerging communications technologies. Project acronym: EfficienSea2. [Electronic resource]. Access mode:  
[https://efficiensea2.org/wp-content/uploads/2016/05/Efficiensea2\\_Analysis-report-on-emerging-communication-technologies-deliverable2.4.pdf](https://efficiensea2.org/wp-content/uploads/2016/05/Efficiensea2_Analysis-report-on-emerging-communication-technologies-deliverable2.4.pdf) (application date 26.07.2019).
44. Гагарский, Д. А. Электронные картографические системы : учебн. пособие / Д. А. Гагарский. — СПб. : ООО «Морсар», 2017. — 248 с.
45. Деева, А. С. Методы контроля и диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем / А. С. Деева // Вестник Южно-Уральского гос. универ. : серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2010. — № 2 (178). — С. 21–25.
46. Дёч, Г. Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования : монография / Г. Г. Дёч. — М. : Наука, 1991.— 288 с.
47. Дерябин, В. В. Обзор исследований, посвященных использованию нейросетевых технологий в судовождении / В. В. Дерябин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 6(34). — С. 29-43.
48. Доронін, В. В. Радіонавігаційні прилади та системи: навч. посібник / В. В. Доронін. — Київ : КДАВТ, 2007. — 472 с.

49. Доронин, В. В. Судовые навигационно-информационные компьютерные системы с электронными картами : курс лекций для студентов по направлениям подготовки специалистов и магистров дневной и заочной формы обучения. Ч. 1 / В. В. Доронин. — К. : КДАВТ, 2017.— 180 с.

50. Доронін, В. В. Суднові навігаційно-інформаційні комп'ютерні системи с електронними картами : курс лекцій для студентів за напрямками підготовки магістрів денної і заочної форми навчання. Ч. 2 / В. В. Доронін. — К. : КДАВТ, 2017.— 84 с.

51. Доронін, В. В. Суднові навігаційні радіолокаційні станції : практ. посібник / В. В. Доронін, В. І. Воробей, Р. О. Роднянський. — Київ : КДАВТ, 2005. — 50 с.

52. Доронін, В. В. Актуальні проблеми впровадження і експлуатації ECDIS на українських суднах / В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2005. — № 7. — С. 11-14.

53. Доронін, В. В. Особливості моделювання та оцінювання діяльності оператора ECDIS / Доронін В. В. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2013. — № 2(17). — С.24-32.

54. Доронін, В. В. Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Доронін Володимир Васильович; КДАВТ. —К., 2016.—277с.

55. Доронін, В. В. Системна технологія розв'язку оперативних задач навігації для синтезу законів експлуатації водного транспорту / В. В. Доронін // Системи обробки інформації. — 2015. — № 10 (135). — С. 186 – 191.

56. Doronin, V. Panin, V., Spilian, O. (2019). Construction of a Neuroet Network Expert system for Processing Navigation Data in Conditions River e-Navigation. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 1 (48), 203 - 217.

57. Дли, М. И. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети : монография / М. И. Дли. — Москва : Физматлит, 2013. — С. 225.

58. Джексон, П. Информатика и вычислительная техника : монографія / П. Джексон. — Москва : Вильямс, 2001. — 302 с.
59. Jwo, D. (2007). Neural network aided adaptive Kalman filter for GPS / INS navigation system design / Proceedings of 9th IFAC Workshop «Adaptation and learning in control and signal processing» (ALCOSP'07), 7.
60. Емельянова, Е. Ресурсный потенциал речного транспорта Украины: проблемы, задачи и меры по развитию и эффективному использованию. Журнал «Транспорт». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://transportjournal.com/komentarii-obzori/resursnyij-potentsyal-rechnoho-transporta-ukraunyiproblemyi-zadachy-y-meryi-po-razvytyuyu-y-effektyvnomu-yspolzovanuyu>. — (дата звернення 26.07.2019).
61. Ермаков, С. М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/25996972-S-m-ermakov-metod-monte-karlo-v-vychislitelnoy-matematike-vvodnyu-kurs.html> (дата звернення 26.07.2019).
62. Ермолаев, Г. Г. Морская лоция: 4-е изд., перераб. и доп. / Г. Г. Ермолаев. — М. : Транспорт, 1982. — 392 с.
63. Ebada, A. (2007). Intelligent techniques-based approach for ship maneuvering simulations and analysis (Artificial Neural Networks Application). Doktor-Ing. genehmigte Dissertation. Institute of Ship Technology and Transport Systems. Germany, 156–172.
64. Завітаєв, В. Л. Правила плавання на внутрішніх водних і прибережних морських шляхах України : навч. посібник / В. Л. Завітаєв. — Київ: ДУІТ, Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра-Конашевича Сагайдачного, 2018. — 248 с.
65. Zak, B. (2001). Modelling of ship's motion using artificial neural networks. Advances in Neural Networks and Applications, World Scientific and Engineering Society Press, 298–303.
66. Zeiler, W. (2017). E Navigation, ECDIS & Autonomous Ships. [Electronic resource]. Access mode:

<https://safety4sea.com/tag/ecdis/?sortby=recent&thecategory=2071> (application date 27.08.2018).

67. Zulkin, S., Brcic, D., Valcic, S. (2017). ECDIS Possibilities for BWE Adoption TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 11(3), 477 – 482.

68. Иванов, Б.Е. Об особенностях решения навигационных задач при использовании распределения Лапласа / Б.Е. Иванов // Навигация и гидрография. — 2001. — № 12. — С. 67-69.

69. Иванов, Б. Е. Об оценке вероятности навигационной безопасности плавания с учетом неопределенности положения кромок фарватера / Б. Е. Иванов, В. А. Михальский, А. Н. Батуев // Навигация и гидрография. — 2004. — № 18. — С.17-19.

70. Иванов, Б. Е. О влиянии неопределенности положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания / Б. Е. Иванов // Навигация и гидрография. — 2004. — № 19. — С. 35-40.

71. Исмадова, Х.Р. Один способ интеграции экспертной базы знаний в систему тематического дешифрирования изображений / Х. Р. Исмадова, С. С. Талыбова, С. Н. Абдуллаева // Сб. научных трудов Бакинской Национальной Авиационной Академии. — 2004. — №1. — С.138-145.

72. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 288 с.

73. Каретников, В. В. Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації / В. В. Каретников, В. А. Бекряшев // Річковий транспорт (XXI століття). — 2014. — № 17. — С 30 – 33.

74. Катенин, В.А. Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях : монография / В. А. Катенин, А. В. Зернов.— М.: Моркнига, 2010. — 344 с.

75. Катенин, В. А. Навигационное обеспечение судовождения : монография / В. А. Катенин, В. И. Дмитриев. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 374 с.
76. Каширина, И. Л. Искусственные нейронные сети : монография / И. Л. Каширина. — Москва : Издательский дом «Вильямс», 2005. — 51 с.
77. Керівні принципи та рекомендації для річкових інформаційних служб (РІС) : Резолюція № 57. [Введена в дію 21 жовтня 2004] — Женева : Комітет по внутрішньому транспорту, 2004. — 58 с. — (Стандарт ЕЭК ООН).
78. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы / Д. Э. Кнут. — 3-е изд. перераб. — Издательский дом "Вильямс", 2001. — 720 с.
79. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. Том 2. Получисленные алгоритмы : / Д. Э. — 3-е изд. перераб. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2000. — 832 с.
80. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. Том 3. Сортировка и поиск / Д. Э. Кнут Дональд Э. — 2-е изд. перераб.— М. : Издательский дом "Вильямс", 2000. — 832 с.
81. Колесников, А. В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А. В. Колесников. — Москва : ИПИ РАН, 2007. — 387 с.
82. Коломийчук, М. Д. Гідрографія : навч. посіб. / М. Д. Коломийчук. — СПб.: Видавництво ЦКФ ВМФ, 1988. — 366 с.
83. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ : монография / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. — М. : МЦНМО, 2001. — 960 с.
84. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. — М. : Наука, 1970. — 576 с.
85. Коршунов, Ю. М.. Математические основы кибернетики : монография / Ю. М. Коршунов. — М. : Энергоатомиздат, 1972. — 276 с.
86. Кучер, А. В. Интеллектуальная система поддержки принятия решения на основе нечеткой логики для диагностики состояния сети передачи данных :

учеб. пособие / А. В. Кучер. — Краснодар: ГОУ ВПО «Кубанский гос. технол. универ.», 2007. — 221 с.

87. Kazimierski, W., Grzegorz Z. (2017). Implementation of Voyage Assistant Module in Mobile Navigation System for Inland Waters. *TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11(4), 683 – 689.

88. Card, M. (2014). e-Navigation, The Continuous Development of the Concept of the Future. ACCSEAS Conference, Report, 1-8. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.accseas.eu/> (application date 27.08.2018).

89. Kaygisiz, B. (2004). GPS. INS Enhancement for Land Navigation using Neural Network. *Journal of Navigation*. 2(57), 297-310. DOI: 10.1017/S037346330400267X.

90. Koshevyu, V., Shyshkin, O. (2015). ECDIS Modernization for Enhancing Addressed VHF Communication *TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 9(3), 327-331.

91. Лобастов, В. М. Управление работой ЭКС «Maptech Proffessional 3.0» : учеб. пособие / В. М. Лобастов. — Владивосток : ДВГМА, 2000. — 23 с.

92. Лобастов, В. М. Электронная картографическая система «dKart Navigator» : учеб. пособие / В. М. Лобастов. — Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского. — 2004. — 80 с.

93. Лобастов, В. М. Электронные картографические системы в судовождении : учеб. пособие / В. М. Лобастов. — Владивосток : МГУ имени адмирала Невельского, 2009. — 167 с.

94. Луконин, В. П. Методы математической статистики в кораблевождении (навигации) : учебн. пособие / В. П. Луконин. — Л.: ВМА, 1987. — 285 с.

95. Луценко, И. А. Основы теории эффективности: монография / И. А. Луценко. — Канада, Altaspera Publishing & Literary Agency Inc., 2012. — 65 с.

96. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул : монография / Е. Н. Львовский. — М.: Высш. шк., 1988. — 239 с.

97. Lainiotis, D. (1993) Neural network application to ship position estimation. Proceedings of Conference «OCEANS'93. Engineering in Harmony with Ocean», 1384 – 1389.
98. Максимов, Ю. А. Алгоритмы решения задач нелинейного программирования : монография / Ю. А. Максимов, Е. А. Филлиповская. — М.: МИФИ, 1982. — 120 с.
99. Максимов, Ю. А. Алгоритмы линейного и дискретного программирования : монография / Ю. А. Максимов. — М.: МИФИ, 1980. — 95 с.
100. Мартыненко, А. И. Проблематика информационного обеспечения геоинформационных систем : монография / А. И. Мартыненко. — М.: Транспорт, 2000. — 67 с.
101. Малыхина, М. П. Оценка эффективности гибридизации интеллектуальных методов на примере нейросетевой экспертной системы на основе прецедентов / М. П. Малыхина, Ю. В. Бегман // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — №86 (02). — С 56 – 66.
102. Малыхина, М. П. Нейросетевая экспертная система на основе прецедентов для решения проблем абонентов сотовой сети: монография / М. П. Малыхина. — Краснодар : Юг, 2011. — 148 с.
103. Маценко, П. К. Руководство к решению задач по теории вероятностей: учебное пособие / П.К. Маценко, В.В. Селиванов. — Ульяновск: УлГТУ, 2000. — 99 с.
104. Машков, О. А. Розвиток теорії функціональної стійкості як стійкості функціонала якості складної системи / О.А. Машков // Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence : матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2016, м. Херсон / МОН України, Херсонський національний технічний університет.— Полтава : Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2016. — 382 с.
105. Меркушев, Н. С. Электронные навигационные морские карты и технические средства их отображения / Н. С. Меркушев, А. Ю. Обухов, Ю. А.

Глухов // Сборник трудов ГНИНГИ МО РФ. Навигация и гидрография. — 2003. — № 17. — С. 45 – 54.

106. Меркушев, Н. С. Новые возможности корректуры электронных навигационных карт / Н.С. Меркушев // Сборн. трудов ГНИНГИ МО РФ. Навигация и гидрография. — 2003. — № 17. — С. 34 – 45.

107. Митропольский, А. К. Интеграл вероятностей : учебн. пособие / А. К. Митропольский. — Л.: ЛГУ, 1972. — 87 с.

108. Монаков, А. А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учебн. пособие / А. А. Монаков. — СПб. : ГУАП, 2005. — 100 с.

109. Мореходные таблицы (МТ – 2000) : под редакцией К. А. Емца.— СПб : ГУНиО МО, 2000. — 570 с.

110. Мысливец, С.Г. Математический анализ: учеб. пособие / С.Г.Мысливец. — Красноярск : Краснояр. гос. ун-т, 2004.— 276 с.

111. Melin, P., Castillo, O., Ramírez, E. G., Kasprzyk, J., Pedrycz, W. (Eds.) (2007). Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques. Advances in Soft Computing. Springer. doi: 10.1007/978-3-540-72432-2.

112. Michael, B. (2013). Integrated Data as backbone of e-Navigation. TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 7(3), 371-374.

113. Mitropoulos, E. (2007) E-navigation: a global resource. Seaways, 12, 85-91.

114. Навігаційно-гідрографічний нарис «Судноплавство на річці Дніпро. Нижній Дніпро від Дніпровського лиману до Каховської ГЕС».

[Електронний ресурс]. Режим доступу:

[http://www.charts.gov.ua/albums\\_ua\\_river.htm](http://www.charts.gov.ua/albums_ua_river.htm) (дата звернення 26.07.2019).

115. Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс] : Идентификация механизмов реализации операторов генетического алгоритма в экспертных системах производственного типа / уклад. В. А. Частикова. — Краснодар : КубГАУ,

2012. — №75(01). — 13 с. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/17.pdf>. (дата звернення 26.07.2019).

116. Носков, А. А. Использование ECDIS для планирования и контроля перехода судна: учеб. пособ. / А. А. Носков. — Новороссийск: НГМА, 2002. — 106 с.

117. Ногин, В. Д. Введение в математический анализ : учеб. пособие / В. Д. Ногин. — СПб : гос. политехн. ун-т., 1994 — 62 с.

118. Ning, W., Dan, W., & Tieshan, L. (2012). Novel Vessel Maneuvering Model via GEBF Based Fuzzy Neural Networks. Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, Hefei, China, 708 – 726.

119. Nguyen, H. (2010). Improving GPS. INS Integration through Neural Networks. Journal of Telecommunications, 2 (2), 1-6.

120. Ободовський, О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) : монографія / О.Г. Ободовський.— К.: Ніка-центр, 2001. — 274 с.

121. Основные технические и эксплуатационные параметры радиолокационных станций, используемых в судоходстве на Дунае : Док. ДК/СЕС 60/47. — [Введен. в действ. 23.04.2002]. — Будапешт : Дунайская комиссия, 2002. — 49 с. — (Стандарт ЕЭК ООН).

122. Патент UA, Клас, серія H04 B10/40. Спосіб використання деталізованого масиву глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Сп'ян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03335 від 03.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

123. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження  $e$ -навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Сп'ян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

124. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової *e*-навігації / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Спідан; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 05627 від 24.05.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

125. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб побудови нейромережевої експертної системи обробки навігаційних даних /В. В. Доронін ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 07843 від 11.07.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

126. Панін В.В. Структурне моделювання та символні перетворення для управління рухом транспортних засобів : кол. моногр. / Баранов Г.Л., Носовський А.М., Панін В.В., Тихонов І.В., Васько С.М. — К. : МОН України, 2014. — 300 с.

127. Пашенцев, С. В. Построение зоны навигационной безопасности объекта и его кинематических характеристик на основе наблюдения двух разнесенных точек объекта / С. В. Пашенцев // Вестник МГТУ. — 2000. — № 1 (том 3). — С. 13 – 16.

128. Panin, V., Doronin, V., Aleynikov, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of Ukraine. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 2 (45), 125 – 134, published 04.06.2018.

129. Правила плавання і лоцманського проведення суден у північно-західній частині Чорного моря, Бузько-Дніпровсько-лиманському та Херсонському морському каналах. — [Введ. в дію 01.08.2007]. — К. : Мін. трансп. та зв'язку України, 2007. — (Наказ МТУ та зв'язку України № 655).

130. Patraiko, D. (2007) Introducing the *e*-Navigation revolution. Seaways, 12, 121-126.

131. Porathe1, T., Sik, J. (2014). Ship traffic management route exchange: acceptance in Korea and Sweden, a cross cultural study. Published in the Proceedings of

the International Symposium Information on Ships, ISIS 2014. Hamburg 4-5 September, 64-79. ISSN 2191-8392. [Electronic resource].

Access mode: <http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/stm-stmvalidation/uploads/20171122153409/Porathe-et-al-paper-ISIS-2014-FINAL.pdf> (application date 26.07.2019).

132. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. – М.:Мир,1995 – 387 с.

133. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : пер. с польск. И. Д. Рудинского.— М. : Телеком, 2006. — 452 с.

134. Raymond, M., Schell, G. (2013). Management Information Systems [Text]. Prentice Hall, Upper Sadle River. New Jersey, 56 – 66.

135. Сазонов, А. Е. Прогнозирование траектории движения судна при помощи нейронной сети /А. Е. Сазонов, В. В. Дерябин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (22). — С. 6-13.

DOI: 10.21821/2309-5180-2013-5-3-6-13.

136. Системы отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства (СОЭНКИ ВС). Inland ECDIS: Стандарт Inland ECDIS, версия 2.1. — [Введен. в действ. 16 мая 2008]. — Будапешт : Дунайская комиссия, 2008. — 161 с. — (Стандарт ЕЭК ООН).

137. Степанов, О. А. Нейросетевые алгоритмы в задаче нелинейного оценивания. Взаимосвязь с байесовским подходом / О. А. Степанов // Навигация и управление движением : материалы XI конференции молодых учёных, 21-22 апреля 2009 г. Санкт-Петербург / Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — Санкт-Петербург. — 2009. — С. 39–65.

138. Субботин, А. С. Интеллектуальные информационные технологии проектирования автоматизированных систем диагностирования и распознавания образов : монография / А. С. Субботин и др.— Харьков : Запорож. НТУ, 2012. — 318 с.

139. Транспортна стратегія України на період до 2020 р. — [Введ. в дію 20.10.2010]. — К. : КМУ України, 2010. — 31 с. — (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 2174-р)
140. Усков, Д. Е. Количественная оценка вероятности навигационной безопасности плавания судна по фарватеру : монография / Д. Е. Усков. — Новороссийск: МГУ имени адмирала Ушакова, 2013. — 17 с.
141. Фредерик Брукс. Мифический человеко-месяц или как создаются программные системы. (Серия: «Профессионально») / Фредерик Брукс // The Mythical Man-Month. Essays on Software Engineering. Anniversary Edition. — СПб.: «Символ-Плюс», 2000. — 304 с.
142. Хайкин, С. Нейронные сети. Полный курс : учебн. пособие / С. Хайкин. — 2-е изд. пер. с англ. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2006. — 1104 с.
143. Hopple, G. (2008). The state of the decision support systems. QED Information Sciences, 246 – 259.
144. Xu, T. (2012). Novel Approach for Ship Trajectory Online Prediction Using BP Neural Network Algorithm. Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS), 4(11), 271–277. DOI: 10.4156/AISS.vol4.issue11.33.
145. Чернышов, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебн. пособие / В. Н. Чернышов.— Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.
146. Числов, К. А. Нейроподобный алгоритм коррекции безгироскопной инерциальной спутниковой гравиметрической системы / К. А. Числов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 4 (38). — С. 93-99.
147. Яхьяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети : монография / Г. Э. Яхьяева. — Москва : Интуит, 2012. — С. 316.
148. Ясницкий, Л. Н. Интеллектуальные системы : монография / Л. Н. Ясницкий. — М. : Лаборатория знаний, 2016. — 221 с.

149. Alieinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river *e*-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, Denmark, Vol. 8 (88), 54 – 61.
150. Европейская Экономическая комиссия. Перечень основных характеристик и параметров сети водных путей категории Е «Синяя книга». Третье пересмотренное издание ECE/TRANS/SC.3/207.
151. Моделювання систем. Национальний університет Львівська політехніка. Курс лекцій. 2018 рік. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7396324/page:2/>; [file:///C:/Users/Human/Desktop/ms\\_lec.pdf](file:///C:/Users/Human/Desktop/ms_lec.pdf) (дата звернення 26.07.2019).
152. Загальна теорія систем. Лекції з найскладніших системам. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://uadoc.zavantag.com/text/5138/index-7.html> (дата звернення 26.07.2019).
153. Шепталін Г.А., Шепталін Л.І. Загальна теорія систем і системний аналіз. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://ukrdoc.com.ua/text/13418/index-1.html> (дата звернення 26.07.2019).
154. Математика. Українська академія банківської справи Національного банку України. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5390752/> (дата звернення 26.07.2019).
155. Навігаційні річкові карти р. Дніпро. Укрморкартографія. [Електронний ресурс]. Режим доступа: [http://www.charts.gov.ua/dnipro\\_ru.htm](http://www.charts.gov.ua/dnipro_ru.htm); [http://www.charts.gov.ua/dnipro\\_ua.htm](http://www.charts.gov.ua/dnipro_ua.htm) (дата звернення 26.07.2019).
156. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Донецький інститут автомобільного транспорту. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://uadoc.zavantag.com/text/24592/index-1.html> (дата звернення 26.07.2019).

## ДОДАТКИ

**Список публікацій здобувача, відомості про апробацію  
і матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації**

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1     Алейніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS / Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2015. — № 2 (23). — С. 26 – 33.

3.     Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2015. — № 2 (13). — С. 303-316.

4.     Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.

5.     Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29. DOI:10.3180/2524-0102/2019.08.03.

5     Alieinikov, M., Panin, V., Doronin, V., Tykhonov, I. (2018). Application of Intelligent Processing of Data Flows Under Conditions of River Navigation. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 3/9 (93), 6 – 18. DOI:10.1558/1729-4061.2018.131599.

6     Алейніков, М. В. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.

7 Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.

8 Alieinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river e-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, Denmark, Vol. 8 (88), 54 – 61.

#### Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9 Aleynikov, M. V. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.

10 Алейніков, М. В. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавництво «ПП Вишемирський В. С.», 2018. — С. 152 – 154.

11 Алейніков, М. В. Зняття невизначеності при русі судна з використанням систем електронно-картографічної навігації та деталізованого банку глибин шляхом ситуаційної динаміки у n-мірному просторі / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадянського суспільства та становлення економіки знань», 29–30 вересня 2017 року. — Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017 — С. 5 – 11.

12 Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М.

В. Алейніков, В. В. Доронін // 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.

13 Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтовна інтелектуальна обробка потоків даних в умовах інструментального методу навігації / М. В. Алейніков // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., частина 2, 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ: КДАВТ, 2018. — С. 44-47.

14 Алейніков, М. В. Метод системної оптимізації автоматизованого використання деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій», 14 – 15 листопада 2017 року, м. Полтава : ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 69-71.

15 Алейніков, М. В. Актуальні питання впровадження електронної навігації в інтересах забезпечення безпеки плавання кораблів Військово-Морських Сил України Збройних Сил України / М. В. Алейніков, В. В. Доронін. // II етап науково-практичної конференції «Морські дослідження і технології в Україні: стан та перспективи розвитку», 22 листопада 2016 р., м. Одеса : ОдНУ ім. І.І. Мечникова, 2016. — С. 54-69.

Матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації

16 Патент UA, Клас, серія H04 B10/40. Спосіб використання деталізованого масиву глибин у  $n$ -мірному просторі при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03335 від 03.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

17 Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження  $e$ -навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Спіян ; заявник Державний університет

інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

18 Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової e-навігації / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Спідан; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 05627 від 24.05.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

19 Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3920 від 05.06.2018; авторський договір № 35-18С-НС від 13.04.2018.

20 Алейніков, М. В. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3917 від 05.06.2018; авторський договір № 36-18С-НС від 13.04.2018.

21 Алейніков, М. В. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3921 від 05.06.2018; авторський договір № 37-18С-НС від 13.04.2018.

22 Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3902 від 17.05.2018; авторський договір № 33-18С-НС від 10.04.2018.

23 Алейніков, М. В. Метод розширення функціональних можливостей ECDIS/Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3922 від 05.06.2018; авторський договір № 34-18С-НС від 10.04.2018.



## АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алєйнікова М. В.

Комісія у складі: голови – завідувача кафедри Технічних систем і процесів управління в судноводінні к.т.н., доцента Маранова О. В., членів комісії заступника завідувача кафедри доцента Коршунова М. Я., к.т.н., доцента, професора кафедри судноводіння та керування судном Давидова В. С. встановила, що розроблені у дисертаційному дослідженні Алєйнікова М. В. методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації впроваджені у Державному університеті інфраструктури та технологій при викладанні фахових дисциплін з підготовки студентів факультету судноводіння.

Розроблені методи дозволяють більш якісно і ефективно навчати студентів факультету судноводіння з дисципліни «Навігаційно-інформаційні системи».

Представляє значний практичний інтерес отримані матеріали:

1. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS. Авторський договір № 35-18С-НС від 13.04.2018.
2. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВП України. Авторський договір № 37-18С-НС від 13.04.2018.
3. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти. Авторський договір № 33-18С-НС від 10.04.2018.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:	к.т.н., доцент		Маранов О. В.
Члени комісії:	к.т.н., доцент		Давидов В. С.
	доцент		Коршунов М. Я.






впровадження результатів дисертаційних досліджень Алєйнікова М. В.

Комісія у складі: голови – заступника директора КЦПТ з навчальної роботи Стецького В. О., к.т.н., доцента, професора кафедри ДУІТ Давидова В. С. (за згодою), к.е.н., доцента ДУІТ Завітасва В. Л. (за згодою) встановила, що розроблені у дисертаційному дослідженні Алєйнікова М. В. методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації впроваджені у Київському центрі підготовки, перепідготовки і підвищенні кваліфікації спеціалістів водного транспорту (КЦПТ) при проведенні тренажерної підготовки і оцінки компетенції судноводіїв за напрямками: «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ»

Розроблені методи дозволяють більш якісно і ефективно проводити тренажерну підготовку і оцінку компетенції судноводіїв.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:	заступник директора КЦПТ з навчальної роботи		Стецький В. О.
Члени комісії:	к.т.н., доцент (за згодою)		Давидов В. С.
	к.е.н., доцент (за згодою)		Завітасв В. Л.

Затверджую  
 В.о. начальника ДП «Укрводшлях»  
 Шерщів Д. О.



2019 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алєйнікова М. В.

Розроблені у дисертаційному дослідженні Алєйнікова М. В. методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації впроваджені у Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training".

Розроблені методи дозволяють більш якісно і ефективно проводити тренажерну підготовку за напрямом «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ».

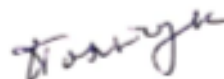
Такі елементи дисертації як вдосконалення і розробка ефективних способів експлуатації водного транспорту за допомогою додаткових методів реалізації обчислювального інтелекту, а також вибору безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна представляють значний практичний інтерес.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Заступник начальника ДП «Укрводшлях», к.т.н.

  
 Доронін В. В.

Методист Центру підготовки



Польчук В. П.

## Продовження додатка Б

Директор ООО  
«Южное речное пароходство»  

 Егупов В. В.  
 «30» 04 2019 г.

АКТ № 06 от 30.04.2019

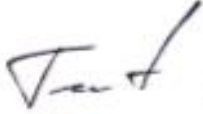
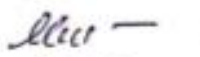
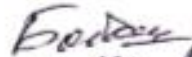

внедрения результатов диссертационных исследований Алейникова М. В.

Комиссия в составе: председателя комиссии Гудко В. П., членов комиссии Бобошко И. В., Макаровой Т. М., Шестенко В. И. установила, что разработанные в диссертационном исследовании капитана дальнего плавания Алейникова М. В. методы «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації на ВВПІ України» внедрены в судоходной компании «Южное речное пароходство» путем использования дополнительных программно-аппаратных решений для обеспечения безаварийного плавания судов компании.

Предложенные методы инструментального метода навигации (речной e-навигации) опробованы Алейниковым М. В. в должности капитана судна «VECTIS ISLE» при прохождении пролива «Босфор», Херсонского морского канала и устья реки Рвач.

Акт не является основанием для финансовых расчетов.

Председатель комиссии,  
капитан дальнего плавания

 Гудко В. П.  
 Макарова Т. М.  
 Бобошко И. В.  
 Шестенко В. И.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник

Річкової інформаційної служби

філії «Дельта-лоцман» ДП АМПУ



Ляшенко О. С.

2019 р.

АКТ № 24 от 12.05.2019

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алсйнікова М. В.

Розроблені в дисертаційному дослідженні Алсйнікова М. В. методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації (річкової е-навігації) впроваджені в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» ДП АМПУ шляхом використання додаткових програмно-апаратних рішень для забезпечення безаварійного плавання річкових суден і включені в перспективний план з модернізації Річкової інформаційної служби.

Запропонований сучасний метод річкової е-навігації відрізняється визначенням небезпечної області навігації в  $n$ -мірному просторі при русі судна і безумовно становить практичний інтерес.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Провідний інженер

Річкової інформаційної служби

Шамарін В. О.

Продовження додатка Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник ДУ «Держгідрографія»,  
к.ю.н.  
Нящов О. О.

«19» 05 2019 р.

АКТ № 18 от 14.05.2019

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алєйнікова М. В.

Розроблені в дисертаційному дослідженні Алєйнікова М. В. методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації впроваджені в ДУ «Держгідрографія» шляхом використання додаткових програмно-апаратних рішень для забезпечення безаварійного плавання суден установи і включені в перспективний план з модернізації об'єктів навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства при річкової е-навігації.

Проведені дослідження присвячені розробці способів автоматизації роботи функціональних підсистем інструментального методу навігації. Запропонований алгоритм автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна. Створені математичні моделі руху суден по траєкторії у різних ортогональних системах координат.

Запропонований сучасний метод річкової е-навігації відрізняється визначенням небезпечної області навігації в  $n$ -мірному просторі при русі судна і безумовно становить практичний інтерес.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Начальник відділу НЗМ і МС  
ДУ «Держгідрографія», к.т.н.



Голодов М. Ф.

## Закінчення додатка Б



Борт судна «VECTIS ISLE»  
(Flag Comoros)

АКТ № 05 от 28.03.2019

внедрения результатов диссертационных исследований Алейникова М. В.

Настоящий акт составлен в том, что при прибытии на судно капитаном Алейниковым М. В. внедрены методы повышения эффективности эксплуатации водного транспорта путем использования инструментального метода навигации, разработанные в диссертационном исследовании.

Внедренные методы были опробованы Алейниковым М. В. на электронно-картографической системе судна при прохождении пролива «Босфор» (Турция), Херсонского морского канала и устья реки Риах (Украина).

Старший помощник  
капитана судна «VECTIS ISLE»,  
штурман дальнего плавания

И. В. Доронин

« 28 » 2019 г.



*[Handwritten signature]*

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
**Наказ Міністерства**  
**інфраструктури України**  
**25.02.2011 № 7**

**Зареєстровано в Міністерстві**  
**юстиції України**  
**19 травня 2011 р.**  
**за № 606/19344**

## **ПОЛОЖЕННЯ**

### **про річкову інформаційну службу на внутрішніх водних шляхах України**

#### **І. Загальні положення**

1.1. Це Положення встановлює організаційно-правовий статус, функції та права річкової інформаційної служби.

1.2. Річкова інформаційна служба (далі - РІС) у своїй діяльності керується [Конституцією України](#), законами України, міжнародними договорами України, актами Президента України, актами Кабінету Міністрів України, іншими нормативно-правовими актами, в тому числі цим Положенням.

1.3. Дія цього Положення поширюється на відносини, що виникають між РІС та суднами, судноплавними компаніями, підприємствами, установами та організаціями галузі морського та річкового транспорту.

1.4. У цьому Положенні терміни вживаються в такому значенні:

головний центр РІС - структурний підрозділ РІС, на якому встановлено центральний сервер, що акумулює інформацію з усіх регіональних центрів з метою її подальшої обробки та збереження для вирішення завдань стратегічного планування руху суден та вантажоперевезень;

зона дії РІС - район, у межах якого РІС виконує закріплені за нею функції;

регіональна служба регулювання руху суден (далі - РСРПС) - структурний підрозділ служби регулювання руху суден;

регіональний центр РІС - структурний підрозділ РІС, на якому встановлено сервер РІС та організовано взаємодію з суднами, судноплавними компаніями, підприємствами, установами і організаціями галузі морського та річкового транспорту та іншими інформаційними службами на внутрішніх водних шляхах України;

**Продовження додатка В**

РІС - служба, яка входить до складу державного підприємства "Дельта-лоцман" та взаємодіє з службою регулювання руху суден на внутрішньому водному транспорті, сприяє керуванню рухом суден та перевезенням на внутрішніх водних шляхах, у взаємодії з іншими видами транспорту (морським, автомобільним та залізничним) з метою сприяння безпечному та ефективному процесу перевезень і найбільш повному використанню можливостей внутрішніх водних шляхів України;

служба регулювання руху суден (далі - СРРС) - структурний підрозділ ДП "Дельта-лоцман".

## II. Зона дії РІС

2.1. Зона дії РІС на українській ділянці р. Дунай охоплює ділянку р. Дунай від гирла р. Прут до виходу в море Кілійським гирлом, включаючи рукави Іванешт, Соломонів і Прямий, Старостамбульське гирло та гирло Бистре.

2.2. Зона дії РІС на українській ділянці р. Дніпро охоплює ділянку р. Дніпро від порту Очаків до кордону з Республікою Білорусь по руслах р. Дніпро і р. Прип'ять до кордону з Республікою Білорусь та по руслу р. Десна від устя до м. Чернігів.

2.3. Головний центр РІС розташований у м. Одеса.

2.4. Регіональний центр "РРІС - Дунай" розташований у м. Ізмаїл.

2.5. Регіональний центр "РРІС - Дніпро" розташований у м. Київ.

2.6. Регіональні субцентри "РРІС - Дунай" розташовані на об'єктах СРРС державного підприємства "Дельта-лоцман" - пост регулювання руху суден (далі - ПРРС) "Рені" і ПРРС "Вилкове".

2.7. Регіональні субцентри "РРІС - Дніпро" розташовані у містах Дніпропетровськ, Запоріжжя, Каховка.

## III. Завдання та функції РІС

3.1. Головне завдання РІС - забезпечити безпеку судноплавства, ефективність перевезень внутрішніми водними шляхами та охорону навколишнього середовища, покращити взаємодію з іншими видами транспорту (морським, автомобільним та залізничним).

3.2. РІС виконує такі функції:

3.2.1. Виявлення суден на підходах до зони дії РІС, встановлення зв'язку з ними, отримання та реєстрація необхідних даних щодо рейсу кожного судна.

3.2.2. Інформаційне забезпечення судноплавства шляхом передачі на судна гідрометеорологічної інформації, відомостей про зміни у роботі засобів навігаційного оснащення (далі - ЗНО), про зміщення плавучих ЗНО із штатних місць та іншої навігаційно-гідрографічної і гідрологічної інформації в зоні дії РІС, інформації про стан руху в зоні дії РІС та фактори, що впливають на умови навігації. Інформація розміщується на офіційному сайті РІС.

3.2.3. Забезпечення безпеки судноплавства шляхом організації руху, надання суднам рекомендацій, що стосуються черговості руху, часу початку руху, маршруту, швидкості та інтервалів руху, місця якорної стоянки, а також попередження суден у разі загрози розвитку ситуації небезпечного зближення з іншими суднами та надання рекомендацій щодо уникнення зіткнення, попередження судна у разі відхилення його від безпечного маршруту плавання та повернення до зазначеного маршруту.

3.2.4. Участь в аварійно-рятувальних, буксирних роботах, інформування про днопоглиблювальні та інші роботи, що проводяться в зоні дії РІС, шляхом задіяння усіх потрібних для цього засобів зв'язку, своєчасної к повідомлень. Продовження додатка В

3.2.5. Установлення зв'язку між суднами, береговими організаціями та службами з питань, що пов'язані із забезпеченням безпеки руху суден і ефективності перевезень.

3.2.6. Збирання, обробка, розповсюдження інформації щодо стану судноплавних шляхів, руху суден та перевезення.

3.2.7. Взаємодія з відповідними службами інших країн з метою забезпечення передачі необхідної інформації із суден користувачам РІС та у зворотному напрямку.

3.2.8. Взаємодія з іншими службами, які функціонують на внутрішніх водних шляхах України, для забезпечення виконання покладених на РІС завдань.

3.2.9. Створення та підтримання офіційного сайта РІС, забезпечення своєчасного оновлення розміщеної на ньому інформації.

3.2.10. Організація професійної підготовки, навчання операторів та персоналу РІС, а також користувачів РІС.

3.2.11. Сприяння службам транспортної логістики портів у забезпеченні ефективності перевезень на внутрішніх водних шляхах України.

3.2.12. Створення бази даних РІС та статистична обробка інформації.

#### IV. Структура та устаткування РІС

4.1. До складу РІС входять головний та регіональні центри РІС, через які РІС виконує свої функції.

4.2. Радіозв'язок РІС із суднами в зоні її дії повинен здійснюватися у діапазоні морської рухомої служби зв'язку через РСРРС, яка повинна забезпечувати надійний зв'язок із суднами, що перебувають в зоні її дії і на підходах до неї, та мати необхідну кількість каналів зв'язку для виконання функцій РІС. Кількість закріплених за РСРРС радіоканалів визначається за обсягом інформації, що передається, та інтенсивністю судноплавства в цій зоні.

4.3. Радіообмін РСРРС із суднами, а також інформація про поточну судноплавну обстановку в зоні її дії повинні реєструватися головним центром РІС для їх подальшого зберігання на електронних носіях головного та регіональних центрів РІС.

4.4. Передача електронних повідомлень із суден і передача повідомлень на судна здійснюються через операторів мобільного зв'язку або іншу мережу широкосмугового бездротового зв'язку.

4.5. РІС повинна забезпечити покриття своєї зони дії базовими станціями автоматичної ідентифікаційної системи, а в разі потреби - використовувати контрольні-коригувальні станції.

4.6. Устаткування локальної та розподіленої обчислювальних мереж розміщується у головному та регіональних центрах РІС.

4.7. Фінансування РІС здійснюється за рахунок джерел, не заборонених законодавством.

*{Пункт 4.7 розділу IV в редакції Наказу Міністерства інфраструктури № 53 від 30.01.2013}*

4.8. Судна, що здійснюють плавання на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС, мають бути забезпечені необхідним обладнанням та системою зв'язку в повільному режимі у додатку до цього Положення (далі - Перелік), з урахуванням **Продовження додатка В**

4.8.1. Забезпечення функціонування радіоустановок, що використовуються на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС, в діапазоні дуже високих частот (ДВЧ) морської рухомої служби (156-162 МГц). Після встановлення берегового обладнання забезпечити наявність в них автоматичної системи ідентифікації відправника повідомлення (АТІС) та відповідність їх експлуатаційних характеристик вимогам додатка 3 до Регіональної угоди про радіотелефонну службу на внутрішніх судноплавних шляхах від 06 квітня 2000 року, м. Базель.

*{Підпункт 4.8.1 пункту 4.8 розділу IV в редакції Наказу Міністерства інфраструктури № 229 від 23.06.2015}*

4.8.2. Обладнання системи відображення електронних карт і інформації для внутрішнього судноплавства (далі - ECDIS) повинно відповідати вимогам Резолюції № 48 "Рекомендації, що стосуються системи відображення електронних карт та інформації для внутрішнього судноплавства (ECDIS для внутрішнього судноплавства)" Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.

4.8.3. Річкова автоматична ідентифікаційна система (далі - AIS) повинна відповідати вимогам Резолюції № 63 "Міжнародний стандарт для систем виявлення і відстеження суден на внутрішніх водних шляхах" Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй та забезпечувати можливість прийому повідомлень відповідно до Резолюції № 60 "Міжнародний стандарт, що стосується повідомлень судноводіям і систем електронних судових повідомлень на внутрішньому судноплавстві" Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.

4.8.4. Обладнання для передачі електронних повідомлень повинно відповідати вимогам Резолюції № 60 "Міжнародний стандарт, що стосується повідомлень судноводіям і систем електронних судових повідомлень на внутрішньому судноплавстві" Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.

4.8.5. Обладнання згідно з Переліком повинно забезпечуватись живленням від основного і від аварійного джерела електричної енергії. При цьому для обладнання, наведеного в пункті 3 Переліку, повинно бути передбачено аварійно-перехідне (резервне) джерело живлення.

*{Розділ IV доповнено новим пунктом 4.8 згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 53 від 30.01.2013}*

4.9. Типи наведених у Переліку обладнання та систем повинні бути схвалені відповідно до [Інструкції про схвалення типу судового радіо і навігаційного обладнання](#), затвердженої наказом Міністерства транспорту України від 14 липня 2003 року № 531, зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 29 липня 2003 року за № 653/7974.

*{Розділ IV доповнено новим пунктом 4.9 згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 53 від 30.01.2013}*

4.10. Забезпечення необхідного рівня безпеки роботи обладнання та систем, наведених у Переліку, здійснюється шляхом проведення Регістром судноплавства України технічного нагляду за суднами, що здійснюють плавання на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС, з інтервалом не більше дванадцяти місяців.

*{Розділ IV доповнено новим пунктом 4.10 згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 53 від 30.01.2013}*

4.11. Загальний склад радіо- і навігаційного обладнання суден, що здійснюють плавання на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС, визначається [Правилами судноплавства на внутрішніх водних шляхах України](#), затвердженими наказом Міністерства транспорту України від 16 лютого 2004 року № 91, зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 12 липня 2004 року за № 872/9471.

*{Розділ IV доповнено новим пунктом 4.11}*

Продовження додатка В *рства*

4.12. Суднам, що здійснюють плавання на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС, рекомендовано максимально використовувати інформацію, яка надається РІС.

*{Розділ IV доповнено новим пунктом 4.12 згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 53 від 30.01.2013}*

4.13. Рішення щодо фактичного плавання і маневрування судна приймається судноводієм. Будь-яка інформація, що надається РІС, не може замінити собою рішення, що приймається судноводієм.

*{Розділ IV доповнено новим пунктом 4.13 згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 53 від 30.01.2013}*

## **V. Взаємовідносини між РІС та суднами, іншими службами**

5.1. Зв'язок між РІС та суднами здійснюється через РСРПС. Усі судна в зоні дії РСРПС повинні нести постійну радіовахту на робочих каналах СРПС відповідно до встановлених правил судноплавства в цій зоні.

5.2. Обмін інформацією між РСРПС та суднами, а також записи, що стосуються взаємодії РСРПС із суднами, безпеки судноплавства та охорони довкілля, здійснюються українською, російською чи англійською мовами. У всіх випадках робоча мова, що використовується під час надання послуг, повинна забезпечувати чітке взаєморозуміння між СРПС і суднами.

5.3. Для уніфікації радіопереговорів використовується морський навігаційний словник-розмовник Міжнародної морської організації.

5.4. У разі відсутності радіозв'язку між судном та СРПС передача повідомлень на судно здійснюється за допомогою інших засобів зв'язку та передачі електронних повідомлень або через судна-посередники.

5.5. У разі виконання дій на підставі рекомендацій та вказівок, що отримані від РСРПС, рішення щодо безпосереднього керування судном та забезпечення безпеки його плавання приймає капітан судна.

5.6. Межі зони дії РІС, шляхи та порядок руху суден у цій зоні і їх взаємодії з СРПС, перелік послуг СРПС, робочих каналів радіозв'язку, перелік інформації про судна, яка має передаватися до ПРПС та центрів РІС, зазначаються в повідомленнях мореплавцям (NtoS - notices to skippers). Інформація про зміну відомостей про РІС має бути своєчасно доведена до відома судноводіїв за допомогою відповідних електронних повідомлень шляхом передачі навігаційних попереджень по радіо, в повідомленнях мореплавцям та на відповідному сайті РІС.

5.7. РІС взаємодіє з усіма суднами, судноплавними компаніями, підприємствами, установами та організаціями морського та річкового транспорту незалежно від форм власності та підпорядкування, у тому числі діяльність яких пов'язана з транспортуванням вантажів по р. Дунай на внутрішніх водних шляхах України.

5.8. ДУ "Держгідрографія" надає навігаційно-гідрографічну та картографічну інформацію, що стосується відповідної зони дії РІС.

5.9. ДУ "Держгідрографія" та ДП "Укрводшлях" надають РІС інформацію про зміни навігаційних умов та режиму плавання на внутрішніх водних шляхах, розклад роботи шлюзів.

ДП "Дельта-лоцман" надає судноводіям інформацію про навігаційні умови та режим плавання, розклад роботи мостів, шлюзів та метеоінформацію у зоні дії РІС.

*{Пункт 5.9 розділу V доповнено новим абзацом згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 463 від 23.12.2016}*

Продовження додатка В

*{Пункт 5.9 розділу V із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства інфраструктури № 463 від 23.12.2016}*

5.10. Судна підтверджують отримання інформації від РІС, а інші користувачі РІС забезпечують своєчасне надання, повноту та достовірність даних, необхідних РІС для виконання покладених на неї завдань і функцій.

**Директор  
Департаменту безпеки**

**Ю. Гержод**

Додаток  
до Положення про річкову  
інформаційну службу на внутрішніх  
водних шляхах України  
(пункт 4.8)

**ПЕРЕЛІК  
необхідного обладнання та систем для суден, що здійснюють плавання  
на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС(1)**

№ з/п	Найменування обладнання (системи)	Строки забезпечення суден обладнанням (системами)
1	Пристрій із засобами мобільного підключення до Інтернету для прийому електронної пошти та виходу в мережу Інтернет, а також передачі електронних повідомлень	Пасажи́рські самохі́дні судна валовою місткістю 300 і більше та судна, що перевозять небезпечні вантажі, – до початку навігації 2015 року; інші судна – до початку навігації 2017 року
2	Обладнання ECDIS для внутрішнього судноплавства з електронними навігаційними картами (ENC), що може працювати у таких режимах: інформаційний; навігаційний, з накладанням радіолокаційного зображення (4)	
3	Радіообладнання для одночасного прийому радіосповіщень про внутрішнє судноплавство на двох каналах ДВЧ (судно-судно та судно-берег)	Пасажи́рські самохі́дні судна валовою місткістю 300 і більше та судна, що перевозять небезпечні вантажі, – до початку навігації 2014 року; інші судна – до початку навігації 2016 року
4	Прийомоіндикатор місцезнаходження глобальної навігаційної супутникової системи (GPS), який може бути складовою частиною автоматичної ідентифікаційної системи (AIS)	
5	Радіолокатор для отримання даних стосовно інших учасників руху в найближчому оточенні судна (2)	До початку навігації 2017 року

6	Річкова автоматична ідентифікаційна система (AIS) (3) (4)	Пасажирські самохідні судна валовою місткістю 300 і більше та судна, що перевозять небезпечні вантажі, – до початку навігації 2014 року; інші судна – до початку навігації 2016 року
---	---	--

## Примітки:

1. Допускається не встановлювати необхідне обладнання та системи:
  - а) составу суден, що штовхається, за винятком судна, яке забезпечує основну тягу. При цьому судна, які є частиною составу, що штовхається, повинні вимкнути річкову автоматичну ідентифікаційну систему (AIS);
  - б) поромам, що не пересуваються самостійно;
  - в) стоянковим суднам, малим/маломірним та службово-роз'їзним суднам. При цьому таким суднам рекомендується встановити AIS класу (B);
  - г) суднам технічного флоту, що працюють у караванах. При цьому судно, з якого здійснюється координація роботи каравану, має виконувати вимоги цього переліку;
  - г) суднам, що здійснюють роботи з навігаційно-гідрографічного забезпечення на внутрішніх водних шляхах.
2. Суднам, що здійснюють плавання виключно у світлу пору доби в умовах доброї видимості, допускається не встановлювати такий радіолокатор.
3. Судна, що здійснюють плавання на внутрішніх водних шляхах України в зоні дії РІС, повинні використовувати AIS відповідно до вимог Резолюції № 63 "Міжнародний стандарт для систем виявлення і відстеження суден на внутрішніх водних шляхах" Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.
4. Суднам днопоглиблювального флоту та пасажирським суднам валовою місткістю не більше 200 одиниць, які здійснюють прогулянкові рейси в межах одного населеного пункту (та в безпосередній близькості до нього) тривалістю до 10 годин, допускається не встановлювати обладнання ECDIS за умови встановлення AIS класу (B).

*{Положення доповнено Додатком згідно з Наказом Міністерства інфраструктури [№ 53 від 30.01.2013](#); в редакції Наказу Міністерства інфраструктури [№ 229 від 23.06.2015](#)}*

**Перелік основних міжнародних документів, що регламентують установку та експлуатацію НІКС на морських і річкових суднах**

№ з/п	Найменування	Пояснення
1	2	3
<b>НІКС на морських суднах.</b>		
1	Конвенція SOLAS 74 Глава V (правило 19)	Закріплює юридичне право використання ЕК замість паперових карт.
2	Резолюція ІМО А.817(19)	Експлуатаційні вимоги до систем відображення електронних карт та інформації (ECDIS).
3	Резолюція MSC 64(67)	Прийняття нових експлуатаційних вимог і поправок до існуючих експлуатаційних вимог. Вимоги до резервного комплекту ECDIS.
4	Резолюція MSC 86(70)	Поправки до Резолюції ІМО А.817(19) в частині, що стосується внесення вимог до відображення растрових карт в ECDIS.
5	Резолюція MSC 232(82)	Прийняття переглянутих експлуатаційних вимог до ECDIS (прийнята 5 грудня 2006 р.). Вимоги до ECDIS з поправками, внесеними резолюціями MSC.64(67) та MSC.86(70).
6	Резолюція 191(79)	Експлуатаційні вимоги до представлення інформації, що стосується судноводіння, на судових пристроях відображення.
7	Резолюція MSC 221(82) Резолюція MSC 222(82)	Прийняті поправки до Кодексу високошвидкісних суден в частині, що стосується вимог до обов'язкового оснащення високошвидкісних суден обладнанням ECDIS.
8	Стандарт ІЕС 61174	Викладені вимоги щодо перевірки обладнання ECDIS.
9	Стандарт ІЕС 61162	Викладені вимоги щодо взаємодії морської навігаційної апаратури.
10	Стандарт ІЕС 19379	Викладені вимоги (стандарти) до ЕК, які використовуються в ECS системах, та стандарти RTCM до обладнання ECS.
11	Стандарт ІЕС 61924	Викладені вимоги (стандарти) до інтегрованих навігаційних систем.
12	Публікація МГО S 52	Викладені вимоги до утримання, до умовних позначень, до застосовуваних кольорів, до відображення ЕК, до засобів і процесу їх коректури. Цей документ включає 4 додатки: - Керівництво з коректури ЕНК; - Специфікація кольорів і символів для ECDIS; - Глосарій термінів, що стосуються ECDIS; - ІНО тести для даних ECDIS.

1	2	3
13	Публікація МГО S 57/3.1	Стандарт для обміну цифровими картографічними даними.
14	Публікація МГО S 63	Стандарт для захисту інформації ЕК.
15	Публікація МГО S 61	Викладені вимоги до растрових карт.
16	Стандарт ECS Database Standard ISO 19379	Викладені вимоги до технології і якості електронних карт, використовуваних в ECS.
17	Публікація МГО S 62	Коди виробників ЕК.
18	Стандарт ІЕС 62376	Стандарт розглядає 3 типи ECS (класи «А», «В» та «С») і визначає вимоги до них. Виконання системою вимог зазначених стандартів підтверджується «Свідоцтвом про типове схвалення» (сертифікатом), яке видається відповідним Регістром.
19	Резолюція MSC 282(86)	Викладені вимоги щодо оснащення усіх категорій суден обладнанням ECDIS починаючи з 01.07.2012 р.
<b>НІС на річкових суднах.</b>		
1	Резолюція № 48 ЄЕК ООН	Стандарт для систем відображення електронних навігаційних карт та інформації для внутрішнього судноплавства.
2	Резолюція № 57 ЄЕК ООН	Керівні принципи та рекомендації для річкових інформаційних служб (РІС).
3	Рекомендації Дунайської комісії	Рекомендації, що стосуються системи відображення електронних карт та інформації для внутрішнього судноплавства. Дунайська комісія.
4	Резолюція № 73 ЄЕК ООН	Додавання і поправки до Резолюції № 57, що стосуються Керівних принципів та рекомендацій для річкових інформаційних служб.

## Порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS

№ з/п	Стандарт Inland ECDIS	Стандарт ECDIS
<b>1</b>	<b>Основні функції і робочі характеристики</b>	
1.1	Inland ECDIS должна содействовать улучшению безопасности и эффективности внутреннего судоходства охране окружающей среды	+
1.2	Inland ECDIS должна облегчать работу судоводителя по сравнению с традиционными методами судоходства и получения информации	+
1.3	Inland ECDIS (системное программное обеспечение, прикладное программное обеспечение и техническое оборудование) должна иметь высокий уровень надежности и доступности	+
1.4	Inland ECDIS может быть предназначена только для информационного режима либо как для информационного, так и для навигационного режима	-
1.5	Inland ECDIS должна использовать всю необходимую картографическую информацию	+
1.6	Inland ECDIS должна обеспечивать простое и надежное обновление электронной навигационной карты для внутреннего судоходства (ЭНК ВС)	+
1.7	Inland ECDIS должна обеспечивать соответствующую аварийно-предупредительную сигнализацию или индикацию в отношении отображаемой информации или неисправности оборудования	+
1.8	Inland ECDIS должна соответствовать эксплуатационным требованиям стандарта для систем отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства	-
<b>2.</b>	<b>Термины</b>	
2.1	<b>Inland ECDIS</b> означает систему отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства, отображающую информацию, выбранную из системной электронной навигационной карты для внутреннего судоходства (СЭНК ВС), и - факультативно - информацию, получаемую от других навигационных датчиков	-
2.2	<b>Электронная навигационная карта для внутреннего судоходства</b> означает базу данных, стандартизированную по содержанию, структуре и формату и выпускаемую для использования с Inland ECDIS. ЭНК ВС соответствует стандартам МГО S-57 и S-52 с дополнениями и уточнениями этого стандарта применительно к Inland ECDIS	-
2.3	<b>Системная электронная навигационная карта для внутреннего судоходства (СЭНК ВС)</b> означает базу данных, полученную в результате преобразования ЭНК ВС средствами Inland ECDIS	+
2.4	<b>Минимальная плотность информации (базовое отображение)</b> означает минимальный объем отображаемой информации СЭНК, который не может быть сокращен оператором и который включает	+

	данние, требующиеся в любое время, во всех географических районах и при любых обстоятельствах	
2.5	<b>Стандартная плотность информации (стандартное отображение)</b> означает стандартный объем информации СЭНК, которая должна быть видимой, когда карта отображается в Inland ECDIS впервые	+
2.6	<b>Совокупная плотность информации (совокупное отображение)</b> означает максимальный объем информации СЭНК. В данном случае, помимо стандартного отображения, в индивидуальном порядке по требованию отображаются также все остальные характеристики	+
2.7	<b>Интегрированное отображение</b> означает изображение СЭНК в относительном движении и ориентации по курсу с наложенным на него радиолокационным изображением. При этом масштаб, смещение центра и ориентация этих изображений должны совпадать	-
2.8	<b>Навигационный режим</b> означает использование Inland ECDIS в целях управления судном с наложением радиолокационного изображения	-
2.9	<b>Информационный режим</b> означает использование Inland ECDIS только в информационных целях без наложения радиолокационного изображения	-
<b>3.</b>	<b>Содержание и обеспечение ЭНК ВС</b>	
3.1	Картографическая информация, предназначенная для использования в Inland ECDIS, должна представлять собой информацию, содержащуюся в последнем из выпущенных изданий	+
3.2	Должны быть приняты меры для исключения возможности изменения пользователем содержания оригинала издания ЭНК ВС	+
3.3	Если карта предназначена для использования в навигационном режиме, то в ЭНК должны быть включены по крайней мере следующие характеристики: <ul style="list-style-type: none"> <li>● берег водного пути (при бреднем уровне воды);</li> <li>● сооружения на береговой линии, которые считаются опасным для судоходства);</li> <li>● контуры шлюзов и дамб;</li> <li>● границы судового хода;</li> <li>● отдельные подводные опасности на судовом ходе;</li> <li>● отдельные надводные опасности на судовом ходе ( мосты, линии электропередач и т.д);</li> <li>● средства навигационного оборудования;</li> <li>● осевая линия водного пути с указанием километровых милевых отметок</li> </ul>	+
3.4	Якщо карта призначена для використання в навігаційному режимі, то повинні бути вказані характеристики, які повинні перевірятися	-
<b>4.</b>	<b>Обновление</b>	
4.1	Inland ECDIS повинна передбачати можливість внесення коректури в дані ЕНК ВС. Це оновлення повинно використовуватися в СЕНК автоматично	-

4.2	Inland ECDIS должна позволять отображать обновления для ознакомления с их содержанием	+
4.3	Inland ECDIS должна быть способна аннулировать автоматически используемые обновления данных ЭНК ВС	-
4.4	Первоначальные издания ЭНК ВС и последующие обновления никогда не должны смешиваться	+
4.5	ЭНК ВС и вся корректура к ней должны отображаться без какого-либо ухудшения их информационного содержания	+
4.6	Данные ЭНК ВС и корректура к ней должны четко отличаться от другой информации	+
4.7	Inland ECDIS должна обеспечивать правильный ввод ЭНК ВС и всей корректуры к ней в СЭНК	+
4.8	Inland ECDIS должна регистрировать обновления, включая время их ввода в СЭНК	+
4.9	Содержание используемой СЭНК должно быть адекватным и откорректированным на момент намеченного рейса	+
<b>5.</b>	<b>Отображение информации</b>	
5.1	Метод отображения должен обеспечивать четкую видимость отображаемой информации для более чем одного наблюдателя в характерных условиях освещения рулевой рубки судна как днем, так и ночью	+
5.2	Размеры отображаемой карты должны быть не менее 270 мм x 270 мм для навигационного режима. В информационном режиме ее размеры определяются соображениями эргономики	+
5.3	Требования в отношении отображения должны выполняться как в альбомном (горизонтальном), так и в книжном (вертикальном) формате	+
<b>6.</b>	<b>Шкалы дальности (масштаб)</b>	
6.1	В информационном режиме используются те же шкалы дальности, что и для навигационного режима	-
6.2	В навигационном режиме допускается лишь последовательное переключение шкал дальности (масштабов)	-
<b>7.</b>	<b>Расположение и ориентация изображения</b>	
7.1	В информационном режиме допускаются все виды ориентации карты	-
7.2	В навигационном режиме карта должна автоматически располагаться и ориентироваться в относительном движении с ориентацией по курсу; при этом положение своего судна может располагаться в центре экрана или может быть смещено	-
<b>8.</b>	<b>Отображение информации СЭНК</b>	
8.1	Существуют следующие три категории отображения информации СЭНК: <ul style="list-style-type: none"> <li>● базовое отображение,</li> <li>● стандартное отображение,</li> </ul>	+

	● совокупное отображение	
8.2	Inland ECDIS должна в любое время четко указывать текущую плотность информации відображення	+
8.3	Змінювана в часі інформація про глибину на ЕНК повинна відображатися незалежно від зазначених вище трьох категорій	+
<b>9.</b>	<b>Отображение радиолокационной информации</b>	
9.1	В навигационном режиме радиолокационное изображение должно отображаться на дисплее в первоочередном порядке, причем только в режиме относительного движения с ориентацией по курсу. Если система сертифицирована также для использования в качестве ECDIS для морского судоходства, могут применяться режим истинного движения и ориентация по северу. Если такая система используется в режиме истинного движения и/или с ориентацией по северу на европейских внутренних водных путях, то считается, что она работает в информационном режиме	-
9.2	СЭНК, на которую налагается радиолокационное изображение, должна совпадать с этим изображением ( шкалы дальности и ориентации). Радиолокационное изображение и местоположение, полученное от датчика местоположения, должны предоставлять возможность их смещения для компенсации расстояния между антенной и местом, с которого управляется судно	-
9.3	Налагаемое радиолокационное изображение должно соответствовать минимальным требованиям, указанным в настоящем стандарте	-
9.4	Налагаемое радиолокационное изображение может содержать дополнительную навигационную информацию. Дополнительная навигационная информация не должна ухудшать радиолокационное изображение	-
<b>10.</b>	<b>Отображение другой навигационной информации</b>	
10.1	Inland ECDIS і додаткова навігаційна інформація повинні використовувати загальну систему координат	+
10.2	Должно обеспечиваться отображение на экране местоположение своего судна	+
10.3	Должно обеспечиваться возможность установления судоводителем безопасных расстояний	+
10.4	Inland ECDIS должна указывать на несоблюдение безопасных расстояния	+
<b>11.</b>	<b>Цвета и символы</b>	
11.1	Цвета и символы, используемые для отображения информации СЭНК, должны обеспечивать соответствие настоящему стандарту	+
<b>12.</b>	<b>Точность данных и отображения</b>	
12.1	Точність даних, що розраховуються і відображаються, не повині залежати від характеристик дисплея і повині відповідати точності СЕНК	+

12.2	Inland ECDIS должна обеспечивать индикацию, является ли выставленная на дисплее шкала дальности меньше той, которая соответствует точности данных ЭНК ВС (индикация о превышении масштаба отображения)	+
12.3	Точність всіх розрахунків, виконуваних Inland ECDIS, не повинна залежати від характеристик вихідного пристрою і повинна відповідати точності СЕНК	+
12.4	Точность пеленгов и дистанций, отображаемых на дисплее должна быть не ниже разрешающей способности дисплея	+
<b>13.</b>	<b>Функционирование</b>	
13.1	Информационный режим предназначен для использования только в информационных, а не в навигационных целях	-
13.2	В информационном режиме допускаются все виды ориентации карты, ее вращение, масштабирование и фрагментирование	-
13.3	Следует предусмотреть возможность ручного прокручивания карты на экране, чтобы осевая линия фарватера совпадала с вертикальной осью экрана	+
13.4	Inland ECDIS может подсоединяться к датчику определения местоположения для автоматического передвижения картографического изображения и для отображения той части карты, которая соответствует фактическому положению, а именно на выбранной оператором шкале дальности	+
13.5	Рекомендуется отображать информацию о местоположении и ориентации других судов, полученную по АИС или AI-IP в реальном времени. Отображение информации о местоположении и ориентации других судов с помощью <ul style="list-style-type: none"> <li>● ориентированного в пространстве треугольника или</li> <li>● истинных очертаний (в масштабе)</li> </ul> если неизвестен курс этих других судов	+
13.6	В навигационном режиме отображение Inland ECDIS интегрируется с информацией от радиолокатора своего судна. Радиолокационная информация должна четко отличаться от информации СЭНК	-
13.7	Интегрированное отображение должно соответствовать требованиям, предъявляемым к радиолокаторам на внутренних водных путях и в настоящем стандарте	-
13.8	Картографическое и радиолокационное изображения должны соответствовать друг другу по размерам, местоположению и ориентации	-
13.9	Интегрированное отображение должно представляться только с ориентацией по курсу. Другие виды ориентации разрешаются в системах с дополнительной сертификацией для использования в качестве ECDIS для морского судоходства. Если такая система применяется в режиме истинного движения и/или с ориентацией по северу на европейских внутренних водных путях, то считается, что она работает в информационном режиме	-

13.10	Должна быть обеспечена возможность корректировки оператором отображаемого местоположения судна, с тем чтобы радиолокационное изображение совпадало с отображением СЭНК	-
13.11	Должна быть предусмотрена возможность временного изъятия либо данных ECDIS, либо радиолокационной информации одним действием оператора	-
13.12	Местоположение судна должно устанавливаться с помощью системы постоянного определения местоположения с точностью, соответствующей требованиям безопасного судоходства	+
13.13	Навигационный режим должен предусматривать индикацию прекращения поступления информации от системы определения местоположения. Навигационный режим должен также повторять - но только в виде индикации - любой аварийно-предупредительный сигнал или индикацию, передаваемые системой определения местоположения	-
13.14	Система определения местоположения и СЭНК должны базироваться на одной и той же системе геодезических координат	+
13.15	Информацию о местоположении и ориентации других судов, полученную с помощью других каналов связи, помимо собственной радиолокационной установки, разрешается отображать только в том случае, если она обновляется (почти в реальном времени) и отвечает требованиям по точности, необходимым для создания тактических и эксплуатационных условий судоходства	-
13.16	Поскольку информация от АИС о других судах полезна для планирования расхождения, но бесполезна в процессе самого расхождения, символы систем обнаружения и отслеживания (АИС) не должны ухудшать радиолокационное изображение в ходе расхождения и поэтому должны затухать	-
13.17	Отображение местоположения и ориентации других судов с помощью * ориентированного в пространстве треугольника или * истинных очертаний (в масштабе) допускается только в том случае, если известен курс этих других судов. Во всех прочих случаях должен использоваться общий символ (рекомендуется квадрат, круг - слід використовувати тільки в програмах, призначених для внутрішнього судноплавства)	-
<b>14.</b>	<b>Элементы управления и контроля</b>	
14.1	Конструкция Inland ECDIS должна отвечать эргономическим принципам и быть удобной для использования	+
14.2	Обладнання Inland ECDIS повинно мати мінімальне число елементів управління і контролю	+
14.3	Стандартная настройка и настройка, выбранная пользователем, должны восстанавливаться без каких-либо затруднений	-
<b>15.</b>	<b>Сопряжение с другим оборудованием</b>	
15.1	Inland ECDIS не должна оказывать отрицательного воздействия на функционирование любого подключенного оборудования	+

15.2	Inland ECDIS должна быть в состоянии генерировать информацию для других систем, например в целях осуществления электронного оповещения	+
<b>16.</b>	<b>Встроенное проверочное оборудование</b>	
	Inland ECDIS должна быть оснащена средствами проведения бортовых проверок основных функций в автоматическом или ручном режиме. В случае неисправности должен указываться неисправный блок	+
<b>17.</b>	<b>Сбои в работе</b>	
	Inland ECDIS должна обеспечивать приемлемую аварийно-предупредительную сигнализацию или индикацию сбоев в работе системы	+
<b>18.</b>	<b>Недостаточная точность позиционирования СЭНК</b>	
	В навигационном режиме СЭНК должна автоматически отключаться, если указываемое на СЭНК местоположение не соответствует радиолокационному изображению	-
<b>19.</b>	<b>Повреждения</b>	
19.1	Если произошло явное повреждение системы Inland ECDIS, то она должна подавать соответствующий аварийно-предупредительный сигнал	+
19.2	Для недопущения критических ситуаций, к которым может привести неисправность Inland ECDIS, должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие безопасную передачу функций Inland ECDIS другому оборудованию	-
<b>20.</b>	<b>Источник питания в навигационном режиме</b>	
20.1	Inland ECDIS должна быть оснащена собственным отдельным источником питания с предохранителями	+
20.2	Перебои в подаче питания продолжительностью до 5 мин. не должны оказывать никакого воздействия на правильность функционирования оборудования и не должны требовать его повторного ручного включения	-
<b>21.</b>	<b>Стандарт данных</b>	
	В стандарте содержится описание необходимых добавлений и уточнений к S-57 и способов применения S-57 для целей использования в прикладных программах Inland ECDIS	-
<b>22.</b>	<b>Теоретическая модель данных</b>	
	Описание теоретической модели данных, содержащееся в S-57, часть 2, 3 применяется к теоретической модели данных ЭНК ВС без каких-либо изменений или поправок	+
<b>23.</b>	<b>Постоянно видимые функциональные параметры</b>	
	Следующие функциональные параметры должны быть постоянно видимыми: • заданный УРОВЕНЬ ВОДИ	-

**Порівняльний аналіз**  
**ефективності експлуатації ECDIS з векторним та растровим**  
**відображенням топології простору руху судна**

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
<b>ОБСЯГ ЕКНІС</b>	
1.1. Основною функцією ECDIS є сприяння підвищенню безпеки мореплавства.	+
1.2. ECDIS разом з належними пристроями резервування можуть прийматися як еквівалентні відкоригованим картам, що вимагаються відповідно до правил V/19 і V/27 Конвенції СОЛАС 1974 року з поправками.	—
1.3. ECDIS повинні мати здатність для відображення усієї картографічної інформації, необхідної для безпечного та ефективного плавання.	+
1.4. ECDIS повинна давати можливість для виконання простої та надійної коректури.	+
1.5. Використання ECDIS повинно полегшити роботу судноводія в порівнянні з використанням паперової карти. ECDIS повинні давати змогу мореплавцю зручно і своєчасно виконувати усю попередню та виконавчу прокладку і безперервно визначати місцеположення. Вони повинні бути здатні постійно відображати місцеположення судна.	+
1.6. Дисплей ECDIS може також використовуватися для відображення інформації з РЛС, інформації про радіолокаційну ціль, АІС та інших відповідних рівнів даних для виконання виконавчої прокладки.	+
1.7. ECDIS повинні мати щонайменше таку ж надійність і доступність зображення, як і паперова карта.	+
1.8. ECDIS повинні забезпечувати відповідну аварійно-попереджувальну сигналізацію або індикацію відносно відображуваної інформації або несправності обладнання.	+ Обмежено
1.9. У випадках, коли відповідна картографічна інформація відсутня, ECDIS може експлуатуватися у режимі системи відображення растрових карт (RCDS). Режим експлуатації RCDS повинен відповідати експлуатаційним стандартам.	+ Обмежено стандартами RCDS
<b>ЗАСТОСУВАННЯ ВИМОГ</b>	
2.1. Експлуатаційні вимоги повинні застосовуватися до всього обладнання ECDIS у вигляді: - спеціально призначеної окремої станції; - багатофункціональної станції, що є частиною інформаційно-навігаційної системи.	+
2.2. Експлуатаційні вимоги можуть застосовуватися до режиму експлуатації ECDIS, режиму експлуатації ECDIS растровими картами та до пристроїв резервування ECDIS.	+
2.3. Вимоги до структури і формату картографічних даних, шифрування картографічних даних, а також до представлення картографічних даних входять до складу відповідних стандартів МГО.	+

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
2.4. У доповнення до загальних вимог, викладених в Резолюції А.694(17), вимог по представленню інформації, викладених в резолюції MSC.191(79), обладнання ECDIS повинно відповідати вимогам даних стандартів і повинні виконуватися відповідні керівництва щодо ергономічних принципів.	+
<b>ВИЗНАЧЕННЯ</b>	
3.1. Електронна картографічна навігаційно-інформаційна система (ECDIS) – це система навігаційної інформації, яка разом з належними пристроями резервування може прийматися як еквівалентна відкоригованій карті, наявність якої вимагається правилами V/19 та V/27 Конвенції СОЛАС 1974 року з поправками, оскільки вона відображає інформацію, вибрану із системної електронної навігаційної карти (SENC), разом з інформацією про місцезнаходження, отримуваною від навігаційних датчиків, з метою допомогти мореплавцю виконувати попередню і виконавчу прокладку та, у разі необхідності, відображує додаткову інформацію, що має відношення до судноводіння.	Обмежено інформацією про місцезнаходження, попередньої, виконавчої прокладки і додатковою інформацією.
3.2. Електронна навігаційна карта (ENC) – це база даних, стандартизована за змістом, структурою і форматом, що випускається для використання з ECDIS урядом або уповноваженими гідрографічними установами і відповідає стандартам МГО. ENC містить усю картографічну інформацію, необхідну для безпеки мореплавання, і може містити додаткову інформацію, яка необхідна для безпеки мореплавання.	Факсиміле паперової карти
3.3. Системна електронна навігаційна карта (SENC) – це база даних у внутрішньому форматі ECDIS виробника, отримана в результаті перетворення усього змісту та коригування ENC. Ця база даних використовується в ECDIS для формування відображення та для інших навігаційних функцій, а також є рівноцінною інформації, яка міститься у відкоригованій паперовій карті. SENC може також містити інформацію, додану мореплавцем або отриману з інших джерел.	База даних, отримана в результаті перетворення RNC за допомогою RCDS і з урахуванням коректури
3.4. Стандартне відображення – це режим відображення, призначений для використання в якості мінімуму при виконанні попередньої та виконавчої прокладки.	–
3.5. Базове відображення означає зміст карти, який не може бути виведений з відображення. Воно не вважається достатнім для забезпечення безпеки мореплавання.	–
3.6. Додаткова інформація по визначеннях ECDIS публікується у Гідрографічному словнику МГО. Стандарт S-32.	+
<b>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І КОРЕКТУРА КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b>	
4.1. Картографічна інформація, призначена для використання в ECDIS, повинна представляти собою інформацію, що міститься в останньому виданні з офіційно внесеними поправками, випущеному урядом, уповноваженому на те урядом гідрографічною установою або іншою відповідною урядовою установою (або випущеному з їх дозволу), і відповідати стандартам МГО.	RNC, яка використовується в RCDS, повинна відображати карту останнього видання. RNC, складені в системі, інший ніж WGS-84 або PE-90, повинні містити метадані
4.2. Зміст SENC повинен бути достатнім і відкоригованим для	Зміст RNC має бути достатнім і

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
передбачуваного рейсу, як це вимагається правилом V/27 Конвенції СОЛАС 1974 року з поправками.	скоригованим для тієї частини передбачуваного рейсу, що не охоплена ENC.
4.3. Не повинно бути можливості для внесення змін у зміст ENC або інформацію SENC, перетворену з ENC.	повинно бути можливості вносити зміни до змісту RNC.
4.4. Коректури повинні зберігатися окремо від ENC.	+
4.5. ECDIS повинна бути спроможна приймати офіційну коректуру до даних ENC, що представляється у відповідності до стандартів МГО. Ця коректура повинна автоматично вводиться в SENC. Незалежно від способу отримання коректури процедура її введення не повинна створювати завад для зображення, що є на дисплеї.	+
4.6. ECDIS повинна бути спроможна приймати дані ручної коректури до ENC з простим способом перевірки цих даних до остаточного їх прийняття. На дисплеї вона не повинна відрізнятися від інформації ENC і офіційної коректури до неї і не повинна негативно впливати на чіткість зображення.	+
4.7. ECDIS повинна вести реєстрацію і відображати за вимогою коректуру, включаючи час її введення в SENC. Ці записи повинні включати коректуру для кожної ENC доти, поки її не замінять новою редакцією.	+
4.8. ECDIS повинна мати можливість виводу на дисплей інформації про коректуру.	+
4.9. ECDIS повинна бути спроможна приймати як незашифровані ENC, так і ENC, зашифровані згідно з Системою захисту даних МГО.	—
<b>ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ СЕНК</b>	
5.1. ECDIS повинна відображати усю інформацію SENC. ECDIS повинна приймати і перетворювати ЕНГ і її коректуру в SENC. ECDIS може також приймати SENC, яка є результатом перетворення ENC у SENC, здійсненого на березі, у відповідності до TR 3.11 МГО. Такий спосіб подання ENC відомий як «доставка SENC».	RCDS повинна відображати всю інформацію SRNC
5.2. Інформація SENC при виконанні попередньої і виконавчої прокладки повинна поділятися на такі три категорії – базове відображення, стандартне відображення та будь-яка інша інформація.	Дві категорії: стандартне відображення та інша інформація
5.3. ECDIS повинна забезпечувати отримання стандартного відображення у будь-який час за допомогою одієї дії оператора.	+
5.4. При включенні ECDIS повинна відображати останні дані, вручну вибрані для відображення на дисплеї.	+
5.5. Додавання та видалення інформації на дисплеї ECDIS повинно виконуватися легко. Не повинно бути можливості для видалення інформації, що входить до складу базового відображення.	Є можливість додавання або видалення інформації на дисплеї RCDS, додаткової до даних RNC. Не повинно бути можливості видалення інформації з RNC.

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
5.6. Для будь-якої географічної точки, обраної оператором (наприклад, за допомогою курсору), ECDIS повинна за вимогою відобразити інформацію по картографічних об'єктах.	—
5.7. Повинна забезпечуватися можливість змінювати масштаб зображення шляхом зміни величини масштабу карти або відстаней у морських милях.	—
<p>5.8. Повинна забезпечуватися можливість вибору безпечної ізобати з тих, які забезпечуються SENC. Безпечна ізобата повинна виділятися на дисплеї ECDIS з-поміж інших ізобат.</p> <p>5.8.1. Якщо не вказується конкретна безпечна ізобата, вона повинна прийматися за умовчанням такою, що дорівнює 30 м. Якщо безпечна ізобата або ізобата 30 м, прийнята за умовчанням, не відображаються на дисплеї SENC, показана безпечна ізобата повинна за умовчанням прийматися як така, що дорівнює наступній більш глибокій ізобаті.</p> <p>5.8.2. Якщо використовується безпечна ізобата стає недоступною внаслідок зміни у джерелі даних, безпечна ізобата повинна за умовчанням прийматися як така, що дорівнює наступній більш глибокій ізобаті.</p> <p>5.8.3. У всіх наведених вище випадках повинна забезпечуватися індикація.</p>	—
5.9. Повинна матися можливість вибору безпечної глибини. ECDIS повинна виділяти відмітки глибини, рівні або менші, ніж безпечна глибина, усякий раз, коли глибини вибираються для відображення.	—
5.10. ENC і уся коректура до неї повинні відображатися без будь-якого викривлення інформації, що міститься у них.	+
5.11. В ECDIS повинні бути передбачені засоби, які дозволяють впевнитися, що ENC та вся коректура до неї були правильно введені в SENC.	+
5.12. Дані ENC і коректура до неї повинні чітко вирізнятися.	+
<b>МАСШТАБ</b>	
6.1. ECDIS повинна забезпечувати індикацію у разі, якщо: інформація відображується у масштабі більш крупному, ніж вона міститься в ENC; місцеположення свого судна перекривається ENC більш крупного масштабу, ніж та, яка відображена на дисплеї.	+
<b>ВІДОБРАЖЕННЯ ІНШОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b>	
7.1. Радіолокаційна інформація і/або інформація АІС може передаватися із систем, що виконують вимоги відповідних стандартів. Інша навігаційна інформація може наноситися на зображення, представлене на дисплеї ECDIS. Однак вона не повинна погіршувати інформацію SENC і повинна чітко відрізнятися від неї.	+
7.2. Повинна бути можливість для видалення радіолокаційної інформації, інформації АІС та іншої навігаційної інформації шляхом однієї дії оператора.	+
7.3. ECDIS і додаткова навігаційна інформація повинні використовувати загальну систему координат. Якщо це не виконується, повинна бути передбачена відповідна індикація.	+
<p>7.4. Радіолокатор.</p> <p>7.4.1. Передана радіолокаційна інформація може містити радіолокаційне зображення і/або інформацію щодо відслідковуваної цілі.</p> <p>7.4.2. Якщо радіолокаційне зображення наноситься на зображення,</p>	

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
представлене на дисплеї ECDIS, карта і радіолокаційне зображення повинні співпадати за масштабом і орієнтацією. 7.4.3. Радіолокаційне зображення і місцеположення, отримане від датчика місцеположення, повинні автоматично підстроюватися для того, щоб взяти до уваги відстань між антеною і місцем, з якого управляється судно.	+
<b>РЕЖИМ ВІДОБРАЖЕННЯ І ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ СУСІДНЬОГО РАЙОНУ</b>	
8.1. Повинна бути передбачена постійна можливість відображати SENC в орієнтації «Північ». Дозволяються інші орієнтації. Орієнтація повинна змінюватися поетапно, щоб запобігти нестабільному зображенню картографічної інформації.	Орієнтація «карта». Дозволяються інші орієнтації.
8.2. ECDIS повинна забезпечувати режим істинного руху. Дозволяються інші режими.	+
8.3. Коли використовується режим істинного руху, перехід на картографічне зображення сусіднього району і формування цього зображення повинні відбуватися автоматично при підході відмітки судна до краю дисплея на відстань, що визначається мореплавцем.	+
8.4. Повинна бути передбачена можливість ручної зміни відображуваного району, охоплюваного картою, і місцеположення свого судна відносно краю дисплея.	+
8.5. Якщо район, охоплюваний відображенням ECDIS, включає води, для яких неможливо отримати ENC у масштабі, придатному для навігації, такі райони повинні мати індикацію для мореплавця, яка відсилатиме до паперової карти або до режиму експлуатації РКНІС.	Постійний режим експлуатації RCDS.
<b>КОЛЬОРИ І СИМВОЛИ</b>	
9.1. Для відображення інформації СЕНК повинні використовуватися кольори і символи, рекомендовані МГО.	+
9.2. Кольори і символи, інші, ніж ті, що зазначені в п. 9.1, повинні відповідати вимогам, що містяться у стандартах ІМО.	+
9.3. В інформації SENC, відображуваній у масштабі, передбаченому в ENC, повинні використовуватися символи, цифри і літери передбачених розмірів.	—
9.4. ECDIS повинна дозволяти мореплавцю обирати, буде його судно відображатися в реальному масштабі чи у вигляді символу.	—
<b>ВИМОГИ ДО ВІДОБРАЖЕННЯ</b>	
10.1. ECDIS повинна бути здатна відображати інформацію, необхідну для виконання: попередньої прокладки і додаткових навігаційних задач; виконавчої прокладки.	+
10.2. Ефективний розмір відображуваної карти при веденні виконавчої прокладки повинен бути не менше 270 x 270 мм.	+
10.3. Відображення повинно відповідати рекомендаціям МГО відносно кольору і роздільної здатності.	—
10.4. Метод представлення інформації повинен забезпечувати, щоб відображувану інформацію було чітко видно більше ніж одному спостерігачу в умовах освітлення, які зазвичай мають місце на містку судна в денний та нічний час.	+
10.5. Якщо категорії інформації, які включені в стандартне	—

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
відображення, видаляються з метою налаштування відображення, про це повинно повідомлятися за допомогою засобів постійної індикації. Повинна бути можливість за вимогою провести ідентифікацію категорій, видалених із стандартного відображення.	
<b>ПОПЕРЕДНЯ І ВИКОНАВЧА ПРОКЛАДКИ, РЕЄСТРАЦІЯ ДАНИХ ПРО РЕЙС</b>	
11.1. Повинна бути передбачена можливість виконання попередньої і виконавчої прокладок у простий та надійний спосіб.	+
11.2. Для подання усіх аварійно-попереджувальних сигналів або індикації про пересікання безпечної ізобати та вхід в заборонений для плавання район в ECDIS повинні завжди використовуватися дані найкрупнішого масштабу з тих, що наявні в SENC для даного району.	—
11.3.1. Повинна бути передбачена можливість виконання попередньої прокладки, включаючи прямолінійні та криволінійні ділянки шляху.	+
11.3.2. Повинна бути передбачена можливість вносити в попередню прокладку буквено-цифрові і графічні зміни, включаючи: додавання шляхових точок; виключення шляхових точок; зміна положення шляхової точки.	+
11.3.3. Повинна бути передбачена можливість виконувати попередню прокладку по одному або кількох запасних маршрутах на додаток до обраного маршруту. Обраний маршрут повинен чітко вирізнятися з-поміж інших маршрутів.	+
11.3.4. Вимагається індикація при прокладанні курсу, що пересікає безпечну ізобату свого судна.	—
11.3.5. Необхідна індикація у разі, якщо прокладається курс ближче, ніж зазначена для користувача відстань, до межі забороненого району або географічного району, для якого існують особливі умови плавання. Індикація також необхідна, якщо курс прокладається ближче, ніж вказана для користувача відстань до точкового об'єкта, такого як стаціонарний або плавучий засіб навігаційного огороження або окрема небезпека.	—
11.3.6. Повинна бути можливість установлення межі бокового відхилення від заданого маршруту, при досягненні якої автоматично відбувається включення попереджувального сигналу про відхилення від маршруту.	+
11.4.1. При веденні виконавчої прокладки обраний маршрут і місцеположення свого судна повинні з'являтися усякий раз, коли відображення перекриває цей район.	+
11.4.2. При веденні виконавчої прокладки повинна бути передбачена можливість відображення морського району, який не охоплює місцеположення судна. Якщо це виконується на тому ж дисплеї, на якому виконується виконавча прокладка, функції автоматичної виконавчої прокладки не повинні перериватися. Повинна бути передбачена можливість негайного повернення до відображення виконавчої прокладки, охоплюючої місцеположення свого судна, за допомогою однієї дії оператора.	+
11.4.3. ECDIS повинна подавати аварійно-попереджувальний сигнал у разі, якщо в межах установленого мореплавцем часу своє судно пересіче безпечну ізобату.	—
11.4.4. ECDIS повинна подавати аварійно-попереджувальний сигнал або	—

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
індикацію у разі, якщо в межах встановленого часу судно пересіче межу забороненого району, для якого існують особливі умови плавання.	
11.4.5. Повинен подаватися аварійно-попереджувальний сигнал у разі, якщо перевищується встановлена межа бокового відхилення від заданого маршруту.	+
11.4.6. Повинна подаватися індикація у разі, якщо, слідуючи даним курсом і на заданій швидкості, через встановлений відрізок часу або відстань судно наблизиться ближче, ніж на вказану для користувача відстань, до небезпеки (наприклад, до перешкоди, уламка, скелі), яка знаходиться вище, ніж безпечна ізобата або засіб навігаційного огороження.	-
11.4.7. Місцеположення судна повинно встановлюватися за допомогою системи постійних обсервацій з точністю, яка відповідає вимогам безпечного мореплавства. Повинне передбачатися друге незалежне джерело визначення місцеположення судна. У таких випадках ECDIS повинна бути спроможна виявляти розходження між цими двома джерелами.	+
11.4.8. ECDIS повинна забезпечувати подавання аварійно-попереджувального сигналу у разі втрати вхідного сигналу від джерел визначення місцеположення, курсу і швидкості. ECDIS повинна також повторювати, тільки у вигляді індикації, будь-які аварійно-попереджувальні сигнали або індикацію, що передаються від джерел визначення місцеположення, курсу або швидкості.	+
11.4.9. ECDIS повинна подавати аварійно-попереджувальний сигнал у разі, якщо судно досягає певного часу або відстані, встановлених оператором, з упередженням при підході до критичної точки на заданому маршруті.	+
11.4.10. Система визначення місцеположення і SENC повинні використовувати одну й ту саму систему геодезичних координат. В іншому випадку ECDIS повинна подавати аварійно-попереджувальний сигнал.	Повинна приймати дані про місцезнаходження в системах координат WGS-84 або PE-90. В іншому випадку RCDS повинна подавати аварійно-попереджувальний сигнал. Якщо відображення RNC не відповідає системі координат WGS-84 або PE-90, повинна бути забезпечена резервна індикація.
11.4.11. Повинна бути передбачена можливість відображення запасних маршрутів на додаток до обраного маршруту. Обраний маршрут повинен чітко вирізнятися з-поміж інших маршрутів. Під час рейсу оператор повинен мати можливість змінювати обраний маршрут плавання або переходити на запасний маршрут.	+
11.4.12. Повинна бути передбачена можливість відображення: відміток часу по лінії шляху судна, встановлюваних вручну за вимогою і автоматично з інтервалами, обраними від 1 до 120 хв.;	+

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
необхідної кількості: точок, рухомих електронних ліній пеленгу, рухомих і нерухомих кілець дальності та інших символів, необхідних для навігаційних цілей.	
11.4.13. Повинна бути передбачена можливість введення географічних координат будь-якого місцеположення і відображення цього місцеположення за вимогою. Повинна також забезпечуватися можливість вибору на дисплеї будь-якого об'єкта (орієнтира, символу або місцеположення) і зчитування його географічних координат за вимогою.	+
11.4.14. Повинна бути передбачена можливість ручного підстроювання відображеного географічного положення судна. Таке ручне підстроювання повинно бути відмічене на екрані в алфавітно-цифровій формі, утримуватися доти, доки оператор не змінить його, і автоматично вводитися у пам'ять.	+
11.4.15.1. ECDIS повинна забезпечувати можливість введення і відображення на карті отриманих вручну ліній місцеположення (ЛЮП) пеленгу і відстані, а також обчислювати результуюче місцеположення судна.	+
11.4.15.2. ECDIS повинна відображати розходження між місцеположеннями, отриманими за допомогою безперервної системи визначення місцеположення, і місцеположеннями, отриманими за допомогою ручних обсервацій.	+
11.5.1. ECDIS повинна зберігати і мати змогу відтворити певну мінімальну кількість елементів, необхідних для відновлення обставин плавання і перевірки офіційної бази даних, використаної за попередні 12 годин. Повинні реєструватися з інтервалом в одну хвилину такі дані: для відтворення шляху, пройденого судном: час, місцеположення, курс і швидкість; для відтворення використаних офіційних даних: джерело ENC, видання, дата, ячейка пам'яті та попередні корегування.	+
11.5.2. ECDIS повинна записувати інформацію про увесь пройдений шлях протягом усього рейсу з відмітками часу через інтервали, що не перевищують 4 год.	+
11.5.3. Не повинно бути можливості для маніпулювання записаною інформацією або для її зміни.	+
11.5.4. В ECDIS повинен бути передбачений захист запису даних за попередні 12 годин і за попередній шлях.	+
<b>РОЗРАХУНКИ І ТОЧНІСТЬ</b>	
12.1. Точність усіх розрахунків, виконуваних ECDIS, не повинна залежати від характеристик вихідного пристрою і повинна відповідати точності SENC.	+
12.2. Точність пеленгів і дистанцій повинна бути не менше за ту, яка забезпечується роздільною здатністю дисплею.	+
12.3. Система повинна мати здатність виробляти і представляти результати таких обчислень: відстань і азимут між двома координатами; координати точки (виходячи з відомих координат і відстані/азимуту); геодезичні розрахунки, такі як відстань на еліпсоїді, локсодромія і ортодромія.	+

ECDIS (вимоги Резолюції MSC. 232(82))	RCDS
<b>ПЕРЕВІРКА РОБОТИ, АВАРІЙНО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНІ СИГНАЛИ ТА ІНДИКАЦІЯ, ЩО СТОСУЮТЬСЯ ПОРУШЕНЬ В РОБОТІ</b>	
13.1. ECDIS повинна бути забезпечена засобами для виконання на судні автоматичної або ручної перевірки основних функцій. У випадку відмови перевірка повинна відобразити інформацію, яка вказує, який блок є несправним.	+
13.2. ECDIS повинна забезпечувати відповідну аварійно-попереджувальну сигналізацію або індикацію у разі несправності системи.	+
<b>ПРИСТРОЇ РЕЗЕРВУВАННЯ</b>	
14. Повинні бути передбачені відповідні пристрої резервування, які забезпечують безпечне плавання у разі виходу з ладу ECDIS. Повинні бути передбачені засоби, на які можна безпечно перевести функції ECDIS, для того, щоб яка-небудь несправність ECDIS не призвела до виникнення критичної ситуації. Пристрій резервування повинен забезпечувати засоби для безпечного плавання упродовж залишившоїся частини рейсу в разі виходу з ладу ECDIS.	+
<b>СПРЯЖЕННЯ З ІНШИМ ОБЛАДНАННЯМ</b>	
15.1. ECDIS не повинна погіршувати функціонування будь-якого обладнання, що забезпечує введення зовнішньої інформації. Спряження з додатковим обладнанням також не повинно погіршувати функціонування ECDIS.	+
15.2. ECDIS повинна бути спряжена із системою визначення місцеположення, з гірокомпасом і з приладом для вимірювання швидкості і відстані. На суднах, на яких немає гірокомпаса, ECDIS повинна бути спряжена з пристроєм передачі курсу.	+
15.3. ECDIS може надавати засоби для подачі інформації SENC на зовнішнє обладнання.	+
<b>ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ</b>	
16.1. Повинна бути передбачена можливість роботи ECDIS та іншого обладнання, необхідного для її нормального функціонування, у разі подачі живлення від аварійного джерела електроенергії згідно з відповідними вимогами глави II-1 Конвенції СОЛАС 1974 року з поправками.	+
16.2. Перехід від одного джерела живлення до іншого або перерва подачі живлення упродовж періоду до 45 с не повинні виключати ECDIS.	+

## Перелік основних характеристик і параметрів мережі водних шляхів категорії Е в Україні («Синя Книга»)

В соответствии с Европейским соглашением о важнейших внутренних водных путях международного значения (СМВП) к водным путям категории Е принадлежат только водные пути, соответствующие основным минимальным параметрам класса IV (min габариты судов 80 м / 9,5 м).

### 1. Перечень узких мест и недостающих звеньев в сети внутренних водных путей категории Е в Украине

«Основными узкими местами» являются участки водных путей категории Е, параметры которых в настоящее время не отвечают требованиям, применимым к внутренним водным путям международного значения в соответствии с новой классификацией европейских внутренних водных путей (класс IV).

«Стратегическими узкими местами» являются участки, параметры которых удовлетворяют основным требованиям класса IV, но которые должны быть модернизированы, с тем чтобы улучшить структуру сети либо повысить экономический потенциал внутреннего судоходства.

«Недостающими звеньями» являются такие части будущей сети внутренних водных путей международного значения, которые в настоящее время полностью отсутствуют.

#### Украина

*Недостающие звенья:* отсутствуют.

*Основные узкие места:*

- Десна (Е 40–01), от устья до Чернигова – необходимо повысить категорию с класса III до класса IV.

- Дунай, Килийское Гирло (Е 80–09) – улучшение глубины и ширины фарватера.

- Днестр (Е 90–03) от Белгород-Днестровского до украинско-молдавской границы – требуется проведение работ по повышению категории этого водного пути с класса III до класса Va.

*Стратегические узкие места:* отсутствуют.

### 2. Навигационные характеристики важнейших внутренних водных путей международного значения в Украине (р. Днепр)

Данные по каждому участку водных путей категории Е приводятся в двух строках: *верхняя строка* представляет собой целевые значения, которые должны быть достигнуты в результате планируемой модернизации существующих водных путей или строительства нового водного соединения, а *в нижней строке*

приводятся существующие параметры. Максимальная допустимая длина и ширина судов/составов разделены косой чертой.

*Осадка (d) и минимальная высота прохода под мостами (H)*, указываются по отношению к низкому судоходному уровню воды (НСУВ) для осадки и к самому высокому судоходному уровню воды (ВСУВ) для высоты прохода под мостами. НСУВ соответствует долгосрочному среднему уровню воды, который достигается или превышает в течение всего свободного от льда периода, за исключением 20 дней в году (приблизительно 5–6% продолжительности свободного от льда периода). ВСУВ соответствует уровню, который сохраняется в течение не менее 1% продолжительности периода навигации и который определяется на основе наблюдений в течение нескольких десятков лет (30–40 лет), исключая периоды наличия льда.

*Пригодность* какого-либо конкретного водного пути для комбинированных перевозок обозначается следующим образом:

**А** — водные пути, пригодные для комбинированных перевозок. Это означает, что на таких водных путях могут эксплуатироваться суда внутреннего плавания шириной 11,40 или 11,45 м и длиной приблизительно 110 м при загрузке контейнеров в три и ли более яруса с учетом того, что 50% контейнеров не загружено. В ином случае может допускаться эксплуатация толкаемых составов разрешенной длиной 185 метров — в этом случае они могут перевозить контейнеры в два яруса при условии, что 50% контейнеров не загружено.

#### Навигационные характеристики важнейших внутренних водных путей международного значения в Украине

Категория водного пути	Участок водного пути	Протяженность (км)	Габариты судов и толкаемых составов (max)			H (min) (м)	Класс	Пригодность
			L (м)	B (м)	d (м)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Е 40	ДНЕПР устье реки Припять – Киев	83,0	150/150	18/18	2,65	Без ограничений	Va	A
			85,2/ 114,8	15,30/ 15,20	2,65	Без ограничений	Va	A
Е 40	ДНЕПР Киев – Каневская ГЭС (856,0 — 722,0 км)	134,0	270,0/ 270,0	18,0/ 18,0	3,65	Без ограничений	Vb	A
			114,1/ 170,0	13,23/1 5,2	3,65	Без ограничений	Vb	A
Е 40	ДНЕПР Каневская ГЭС – Кременчугская ГЭС (722,0 – 556,0 км)	166,0	270,0/ 270,0	18,0/ 18,0	3,65	13,20	Vb	A
			114,0/ 170,0	13,23/1 5,2	3,65	13,20	Vb	A
Е 40	ДНЕПР Кременчугская ГЭС –	123,0	270,0/ 270,0	18,0/ 18,0	3,65	Без ограничений	Vb	A

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Среднеднепровская ГЭС (556,0 – 433,0 км)		138,3/ 170,0	16,70/ 15,20	3,65	Без ограничений	Vb	A
E 40	ДНЕПР Среднеднепровская ГЭС – ДнепроГЭС (433,0 – 305,0 км)	128,0	270,0/ 270,0	18,0/ 18,0	3,65	14,70	Vb	A
			138,3/ 170,0	16,70/ 15,20	3,65*	14,70	Vb	A
E 40	ДНЕПР ДнепроГЭС – Каховская ГЭС (305,0 – 93,0 км)	212,0	270,0/ 270,0	18,0/ 18,0	3,65	Без ограничений	Vb	A
			138,3/ 170,0	16,70/ 15,20	3,65	Без ограничений	Vb	A
E 40	ДНЕПР Каховская ГЭС – Херсон (93,0 – 28,0 км)	65,0	270,0/ 270,0	18,0/ 18,0	3,65	Без ограничений	Vb	A
			138,3/ 170,0	16,70/ 15,20	3,65	Без ограничений	Vb	A
E 40	ДНЕПР Херсон – Вход в рукав Рвач	28,0	200,0/ 200,0	32,50/ 32,50	7,60	Без ограничений	VII	A
			200,0/ 200,0	32,50/ 32,50	7,60	Без ограничений	VII	A
E 40	ХЕРСОНСКИЙ МОРСКОЙ КАНАЛ, вход в рукав Рвач	40,0	200,0/ 200,0	32,50/ 32,50	7,60	Без ограничений	VII	A
			200,0/ 200,0	32,50/ 32,50	7,60	Без ограничений	VII	A
E 40–01	ДЕСНА, От устья до Чернигова (0,0–198,0 км)	198,0	.../...	.../...	1,60	...	IV	...
			.../...	.../...	1,30	...	III	...
E 40–02	ЮЖНЫЙ БУГ Бугско-Днепровский-Лиманский Канал (БДЛК),	81,4 колена 1-13	215,0/ 215,0	32,50/ 32,50	10,30	Без ограничений	VII	A
			215,0/ 215,0	32,50/ 32,50	10,30	Без ограничений	VII	A

Примечание: \* – периодически при низком уровне воды максимальная осадка ограничивается 3,00 м.

### 3. Параметры шлюзов внутренних водных путей международного значения Украины

Категория водного пути	Участок водного пути	Размеры шлюзов			Комментарии
		L (м)	B (м)	H (м) на пороге	
1	2	3	4	5	6
E 40	ДНЕПР Устье реки Припять — Херсон	150,0	18,0	4,0	Киевский шлюз
		270,0	18,0	4,25	Каневский шлюз
		270,0	18,0	3,85	Кременчугский шлюз
		270,0	18,0	3,65	Днепродзержинский шлюз
		120,0	18,0	4,40	Запорожский трехкамерный шлюз
		290,0	18,0	5,50	Запорожский однокамерный шлюз
		270,0	18,0	3,65	Каховский шлюз