

Національний університет «Одеська морська академія»

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Кульбацький Андрій Анатолійович

УДК 656.61.052

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОДІННЯ НА ВОДНИХ ШЛЯХАХ УКРАЇНИ З ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
(271-Річковий та морський транспорт)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Кульбацький А.А.

Науковий керівник д. т. н., професор Гладких І.І.

Одеса – 2021

АНОТАЦІЯ

Кульбацький А.А. Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України з застосуванням сучасних інформаційних технологій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271 Річковий та морський транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія». – Одеса, 2021.

Попередній аналіз літератури з проблеми забезпечення і підвищення безпеки судноводіння показав, що основними напрямками розв’язання цієї проблеми є розробка теорії і методів попередження посадок на мілину та навалень суден на водних шляхах у районах інтенсивного судноплавства, моделювання руху судна при плаванні в обмежених умовах, забезпечення точності контролю місця судна та оцінки безпеки судноводіння в стислих умовах.

У результаті аналізу було встановлено, що одним з актуальніших аспектів забезпечення і підвищення безпеки судноводіння є попередження аварійних ситуацій проводки суден на водних шляхах в стислих умовах, саме тому дисертаційне дослідження присвячене підвищенню ефективності судноводіння на водних шляхах України з застосуванням сучасних інформаційних технологій.

Мета дисертаційного дослідження та його головна задача сформульовані в розробленій технологічній карті дослідження.

Запропонована та в подальшому підтверджена гіпотеза наукового дослідження, яка полягає в можливості підвищення безпеки судноводіння шляхом об’єднання методів і способів технології проводки суден з елементами сучасних інформаційних технологій, також показано, що результатом розв’язання допоміжних задач стали відповідні наукові результати дисертаційної роботи, які містять наукову новизну.

Значущість і практична цінність дисертаційного дослідження зумовлені можливістю впровадження практичних рекомендацій для зниження аварійності судноводіння, отриманих у дисертаційній роботі, сформульоване загальне наукове положення: розробка нового методу апріорної оцінки безпечної проводки суден на водних шляхах в залежності від точності судноводіння в стислих умовах, реалізовано в програмі, шляхом визначення вірогідності і застосуванням сучасних інформаційних технологій.

В роботі розглянуто загальну методику розв'язання головної задачі шляхом знаходження рішень допоміжних задач дисертаційної роботи, причому методика є насамперед узагальненим алгоритмом виконання дисертаційного дослідження поетапним розв'язанням складових завдань, а не тільки їх формальним описом. Для цього проведено теоретичні розробки з використанням сучасних методів аналітичного аналізу та здійснено імітаційне моделювання, яке підтвердило коректність отриманих теоретичних результатів дисертаційного дослідження.

В основній частині дисертаційної роботи розглянуто питання аналізу методів трансформування навігаційної інформації за допомогою PIC та методу динамічного відображення фарватеру на картах Inland ECDIS. Приведені чинники впливаючи на оцінку ризиків з урахуванням інформаційної похибки габаритів суднового ходу в повідомленнях для ділянки водного шляху.

Одержано дані відносно розподілу навігаційної інформації в повідомленнях для конкретної ділянки водного шляху. Проведено аналіз складу навігаційної інформації, яка надходить на судна на ділянці р. Дунай показав, що вона має суттєвий вплив на безпеку проводки суден в стислих умовах. Одержано аналітичні вирази для оцінки обсягу і часу трансформування навігаційної інформації на конкретній ділянці водного шляху.

Наведено процедури формалізації, таких значень як вплив ширини смуги руху судна, вірогідність безпеки з урахуванням інформаційної похибки

габаритів суднового ходу з метою оцінки безаварійної проводки судна на водних шляхах в стислих умовах. Одержані аналітичні вирази для оцінки впливу обмеженості інформації на аварійність судноводіння. Розроблено математичну модель оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих умовах з урахуванням характеристик району плавання, таких як метеорологічні та гідрологічні, морфологічні та геологічні, навігаційні та інформаційні. Розглянуто вплив достовірності прогнозування коливання рівня води на вірогідність безпечної проводки суден. Наведено спосіб моделювання динамічної карти, який дає можливість скласти прогноз замулення морського/річкового дна на заданий період часу.

В роботі представлена комп'ютерна програма, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб оцінки вірогідності безаварійної проводки судна запланованим маршрутом на водних шляхах в стислих умовах. В програмі використовується модель одновимірної щільності похибки бічного відхилення з урахуванням характеристики маршруту проводки судна. За допомогою імітаційного моделювання виконано порівняння трьох моделей оцінки вірогідності проводки судна обраним маршрутом, в результаті якого одержано висновок про ідентичність цих моделей, оскільки відмінність вірогідності, одержаної з їх допомогою, складає не більш 1,4%. Тому в п'ятому розділі роботи приведена програма оцінки вірогідності безпечної проводки, яка розроблена на моделі одновимірної щільності розподілу вірогідності бічного відхилення.

В цьому розділі показано, що критерієм оптимальності є мінімальне значення ширини смуги руху судна на водних шляхах, яка змушує судноводія застосовувати високоточні засоби контролю місця судна з урахуванням глибини і осади.

Отримано вирази для розрахунку оптимального значення оцінки точності місцезнаходження судна при використанні різних способів контролю позиції судна.

У завершальній частині роботи представлено результати перевірки

коректності отриманого в дисертації способу проводки суден на водних шляхах в стислих умовах, який заснований на урахуванні впливу інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу. З цією метою розроблено імітаційну комп'ютерну програму, яка складається з двох основних модулів, що забезпечують вибір найбільш точного способу контролю положення судна при заданій ситуації, а також програвання вибору оптимального маневру. Наведено опис комп'ютерної імітаційної програми вибору способу проводки суден на водних шляхах в стислих умовах.

На завершення п'ятого розділу приведено опис формування заданого сценарію проведення передрейсової підготовки курсантів та спеціалістів з застосуванням тренажерного обладнання.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає:

- вперше запропоновано процедуру оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від прогнозу динамічної моделі його руху;
- отримав подальший розвиток спосіб визначення залежності вірогідності безпечної проводки судна від випадкових інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу, який відрізняється оперативним врахуванням мінімальної ширини суднового ходу;
- удосконалено метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок.

Проведеному дисертаційному дослідженню властиве практичне значення, яке полягає в тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі морські технології ННІ МПіТ при

викладанні дисципліни «Океанські шляхи світу», «Менеджмент морських ресурсів» (акт від 19.01.2021 р.). Матеріали дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 26.01.2021 р.), Дунайський інститутом НУ«ОМА» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 22.02.2021р.), Річкова інформаційна служба України «Дельта-лоцман» для перепідготовки спеціалістів компанії (акт впровадження від 10.02.2021р.), компанією «Zodiac Maritime Ltd» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт впровадження від 22.01.2021 р.).

Ключові слова: безпека судноводіння, проводка суден, водні шляхи, річкові інформаційні системи, сучасні інформаційні технології.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях:

Основні наукові результати дисертації.

1. Kulbatsky A. Influence of sound refraction in Azov-Black sea region on the efficiency of searching objectives by the hydrolocators of a circular survey/ I.Gladkykh, B. Kapochkin, **A.Kulbatsky** – Science Rice № 2(43)2018 p.14-18.

2. Kulbatsky A. Dynamic models of ENC in the estuaries of rivers / I. Gladkykh, **A.Kulbatsky** – Сучасні технології в будівництві.-сб.наук.праць ОДАБА.-вип.1, Одеса, 2017, стор. 21-28.

3. Kulbatsky A. Estimation risk of Navigation / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №6 December 2020, p. 21-28.

4. Kulbatsky A. Remote simulator development for RIS (River Information Service) operators / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №15 February 2021,

5. Кульбацкий А. А. Особенности подготовки судоводителей для работы на морских и внутренних водных путях / **А. А. Кульбацкий** //

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

6. А.А. Кульбацкий Оценка риска аварийных происшествий в стесненных условиях / И. И. Гладких, **А. А. Кульбацкий**, В. А. Дубовик //Матеріали науково-методичної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2019 – Одеса: НУ «ОМА»,

7. Кульбацкий А. А. Способ подавления помех РЛС от судовых конструкций в стесненных районах / **А. А. Кульбацкий**, В. А. Дубовик, И. А. Шевченко //Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (Морський та річковий транспорт): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», - 15-16 листопада 2018, Одеса. – С. 323-324.

8. Кульбацкий А. А. Обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях Украины и Европейского союза / И. И. Гладких, **А. А. Кульбацкий** // Матеріали науково-методичної конференції «Забезпечення безаварійного плавання суден», - 16-17 листопада 2011, Одеса.

9. Кульбацкий А. А. Обеспечение навигационной безопасности судоходства на устьевых участках рек / **А. А. Кульбацкий**, // Науково-методична конференція. «Сучасні проблеми підвищення безпеки судноплавства», 19-21 листопада 2008 – Одеса : ОНМА, 2008.

10. Кульбацкий А. А. Оцінка точності при проведенні суден по українському участку р. Дунай / К. А. Горшков, **А. А. Кульбацкий** // Міжнародна науково-технічна конференція. «Сучасне судноплавство і морська освіта», 7-9 квітня 2004 – Одеса : ОНМА, 2004.

ANNOTATION

Kulbatsky A.A. Improvement of navigation efficiency on the waterways of Ukraine with the use of modern information technologies. – Qualifying research paper. The dissertation for a Candidate Degree of Technical Sciences (PhD) in the specialty 05.22.13 - Navigation and Traffic Control (271 River and Maritime Transport). – National University “Odessa Maritime Academy” – Odessa, 2021.

The preliminary literature analysis of the problem of ensuring and improving navigation safety has shown that the main directions in solving this problem are development of theory and methods to prevent ships from grounding and collision on waterways in areas of intense navigation, modeling safe navigation in congested waters, ensuring the accuracy of control of ship's location and assessment of safe navigation in congested waters.

As a result of the analysis, it was found that one of the relevant aspects of ensuring and improving navigation safety is prevention of emergency situations of navigation on waterways in congested waters, therefore the dissertation research is devoted to increasing the efficiency of navigation on waterways of Ukraine with the use of modern information technologies.

The purpose of the study and its main task are formulated in the developed research flow chart.

The hypothesis of scientific research was proposed and further confirmed, which lies in the possibility of increasing of safety navigation by combining the methods and techniques of navigation technology with elements of modern information technologies; it is also shown that the result of solving auxiliary problems were corresponding scientific results of the dissertation, that contain scientific novelty.

The significance and practical value of the dissertation research is due to the possibility of introducing practical recommendations for reducing the accident rate of navigation, obtained in the dissertation work, there was developed a general

scientific position: development of a new method of a priori assessment of safe navigation on waterways based on the accuracy of navigation in congested waters, implemented in the program, by determining probability and by applying modern information technologies.

The paper considers a general technique for solving the main problem by finding solutions to auxiliary problems of the dissertation paper, and the technique is, first of all, a generalized algorithm to perform dissertation's step-by-step solution of compound problems on the beyond their formal description. For this purpose, theoretical developments were carried out with the use of modern methods of analytical analysis and there was performed a simulation modeling, which confirmed the correctness of the theoretical results of the dissertation research.

The main part of the thesis deals with analysis of methods for transforming navigation information using RIS and dynamic fairway display method on Inland ECDIS charts. There are shown factors that influence risk assessment, taking into account the information error of the dimensions of the maneuvering from the notifications for a waterway area.

There was obtained data on navigational information distribution from the notifications for a specific waterway area. There were carried out analysis of navigational information composition received by ships on the section of the Danube river which has shown that it has a significant impact on the safety of ships' navigation in congested waters. Analytical expressions were obtained for volume and time assessment of navigational information transformation in a specific waterway area.

There were presented formalization procedures of the values such as the effect of the fairway width, the probability of safety, taking into account the information error of the maneuvering dimensions, in order to assess the accident-free navigation of the ship on waterways in congested waters. There were obtained analytical expressions for assessment of the impact of limited information on the accident rate of navigation. A mathematical model has been developed for

probability assessment of safe navigation in congested waters, taking into account the characteristics of the navigation area, such as meteorological and hydrological, morphological and geological, navigational and informational. There was considered an influence of the accurate forecast of water level fluctuations on the probability of safe navigation. A method for modeling a dynamic chart is presented, which makes it possible to forecast siltation of the sea / river bottom for a given period of time.

The paper presents a computer program that makes it possible to implement the proposed method for assessing the probability of accident-free navigation through a planned route on waterways in congested waters. The program uses a one-dimensional density error of lateral deviation, taking into account ship's navigational characteristics. Using simulation modeling there were compared three models for assessing the probability of navigation through a selected route, in which there was obtained a conclusion regarding model's identity, since the difference of probability obtained with their assistance is no more than 1.4%. Therefore, in the fifth section of the paper, a program for assessing the probability of safe navigation is presented, which is developed on the base of the model of one-dimensional distribution density of the lateral deviation probability.

In this Section it is shown that the optimality criterion is the minimum value of the fairway width, which requires a navigator to use high-accurate means of ship's position control taking into account depth and draught.

Expressions of calculation of optimal value for estimating the accuracy of ship's position with the use of different ways to control the ship's position.

Final part of the work presents the results of verifying the correctness of the method of navigation in congested waters obtained in the dissertation. This method is based on the effect of information errors in the assessment of the fairway dimensions. For this purpose, a simulation computer program has been developed. It consists of two main modules which allow to choose the most accurate way to control the ship's position in a given situation as well as to choose optimal

maneuver. The description of the computer simulation program of choosing the way of navigation in congested waters is provided.

At the end of the Section 5, the description of creating the scenario for pre-voyage simulation-based training for cadets and specialists is provided.

The scientific novelty of the results obtained in the dissertation is as follows:

- the procedure of assessment of the value of information error in the fairway dimensions depending on dynamic model of the ship's motion prediction has been suggested for the first time;
- the method of determining the dependence of probability of accident-free navigation on random information errors in the assessment of the fairway dimensions, which is distinguished by a prompt response to the minimal fairway width has been further developed;
- the method of safe navigation assessment by choosing the best possible way of route plotting and using the ways of high-accuracy control taking into account information errors has been improved.

The conducted dissertation research has a practical significance which means that its results can be implemented during the ship's operation, as well as can be used by the developers of navigational information systems designed for external control of navigation.

Practical results of the dissertation research are applied during the educational process at the Department of Maritime Technologies of the Institute of Maritime Transportation and Technologies in teaching the following disciplines: «Ocean routes of the World», «Maritime resources management» (act dated 19.01.2021). Materials of the dissertation research are implemented by the following institutions and companies: private higher education institution «The Institute of Post-Graduate Education «Odessa Maritime Training Center» for navigators' training (implementation act dated 26.01.2021), the Danube Institute of the NU «OMA» for navigators' training (implementation act dated 22.02.2021), River Information Services «Delta-Pilot» for employees' refresher training courses (implementation act dated 10.02.2021), «Zodiac Maritime Ltd» for refresher

training courses for navigators working for the company (implementation act dated 22.01.2021).

Key words: navigation safety, safe navigation, waterways, river information systems, modern information technologies.

The basic results of dissertation research of bread-winner are published in the following scientific labors:

Basic scientific results of dissertation.

1. Kulbatsky A. Influence of sound refraction in Azov-Black sea region on the efficiency of searching objectives by the hydrolocators of a circular survey/ I.Gladkykh, B. Kapochkin, **A.Kulbatsky** – Science Rice № 2(43)2018 p.14-18.

2. Kulbatsky A. Dynamic models of ENC in the estuaries of rivers / I. Gladkykh, **A.Kulbatsky** – Сучасні технології в будівництві.-сб.наук.праць ОДАБА.-вип.1, Одеса, 2017, стор. 21-28.

3. Kulbatsky A. Estimation risk of Navigation / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №6 December 2020, p. 21-28.

4. Kulbatsky A. Remote simulator development for RIS (River Information Service) operators / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №15 February 2021,

5. Кульбацкий А. А. Особенности подготовки судоводителей для работы на морских и внутренних водных путях / **А. А. Кульбацкий** // Морська освіта, - Одеса №1-2, 2011, стор. 19-21.

Publications, which certify approbation of materials of dissertation.

6. А.А. Кульбацкий Оценка риска аварийных происшествий в стесненных условиях / И. И. Гладких, **А. А. Кульбацкий**, В. А. Дубовик //Матеріали науково-методичної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення,

автоматизація», 15-16 листопада 2019 – Одеса: НУ «ОМА»,

7. Кульбацкий А. А. Способ подавления помех РЛС от судовых конструкций в стесненных районах / **А. А. Кульбацкий**, В. А. Дубовик, И. А. Шевченко // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (Морський та річковий транспорт): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», - 15-16 листопада 2018, Одеса. – С. 323-324.

8. Кульбацкий А. А. Обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях Ураины и Европейского союза / И. И. Гладких, **А. А. Кульбацкий** // Матеріали науково-методичної конференції «Забезпечення безаварійного плавання суден», - 16-17 листопада 2011, Одеса.

9. Кульбацкий А. А. Обеспечение навигационной безопасности судоходства на устьевых участках рек / **А. А. Кульбацкий**, // Науково-методична конференція. «Сучасні проблеми підвищення безпеки судноплавства», 19-21 листопада 2008 – Одеса : ОНМА, 2008.

10. Кульбацкий А. А. Оцінка точності при проведені суден по українському участку р. Дунай / К. А. Горшков, **А. А. Кульбацкий** // Міжнародна науково-технічна конференція. «Сучасне судноплавство і морська освіта», 7-9 квітня 2004 – Одеса : ОНМА, 2004.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ.....	25
1.1. Аналіз літературних джерел по проблемі забезпечення безаварійного плавання суден	25
1.2. Вибір напрямку дисертаційного дослідження.....	27
1.3. Висновки по першому розділу	29
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
2.1. Аналіз аварійності на водних шляхах	30
2.2. Вибір тематики дисертаційного дослідження	42
2.3. Аналіз методів дослідження дисертації	44
2.4. Характеристика РІС технологій щодо забезпечення безпеки судноплавства.....	50
2.5. Висновки за другим розділом.....	55
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОГО ПЛАВАННЯ СУДНА В СТИСЛИХ УМОВАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІС	56
3.1. Методи трансформування навігаційної інформації за допомогою РІС індексації	56
3.2. Метод динамічного відображення фарватеру на Inland ECDIS.....	71
3.3. Синтез структури відображення навігаційно-інформаційної ситуації суден	90
3.4. Висновки за третім розділом	119
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОЦЕДУР ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПРОХОДЖЕННЯ ВОДНИМИ ШЛЯХАМИ В СТИСЛИХ УМОВАХ.....	120
4.1. Процедура формалізації основних параметрів для оцінки вірогідності безаварійної провідки судна водними шляхами в стислих умовах.....	120
4.2. Процедура оцінки вірогідності безаварійної провідки судна водними шляхами в стислих умовах	131

4.3. Побудова математичної моделі для прогнозування коливання рівня водної поверхні	138
4.4. Висновки за четвертим розділом.....	193
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ БЕЗПЕЧНОГО ПЛАВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	194
5.1. Опис імітаційної комп'ютерної програми.....	194
5.2. Формування методики перед рейсової підготовки.....	212
5.3. Використання передрейсової підготовки судноводіїв для проводки судна водними шляхами в стислих умовах	232
5.4. Висновки за п'ятим розділом	237
ВИСНОВКИ	238
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	240
ДОДАТОК А	251
ДОДАТОК В.....	259
ДОДАТОК С.....	261
ДОДАТОК D	288

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АР	Автоматизоване рішення
ВВШ	Внутрішні водні шляхи (річкові шляхи)
ВЗНО	Віртуальні засоби навігаційного обладнання
ВП	Водомірний пост
ВСП	Верхній судноплавний рівень
ВТЗ	Водні транспортні засоби
ВШ	Водні шляхи
ДК	– Дунайська комісія
ЕК	– Електронна карта
ЕНК	– Електронна навігаційна карта
ЄЕК ООН	– Європейська економічна комісія ООН
ЗНО	– Засоби навігаційного обладнання
ЗНБ	– Зона навігаційної безпеки
ІМН	– Інструментальний метод навігації (річкова <i>e</i> -навігація)
ІС	– Інформаційна система
МОН	– Міністерство освіти і науки
НП	– Навігаційний параметр
НСРУ	– Низький судноплавний і регуляційний рівень
ПЗ	– Програмне забезпечення
РІС(RIS)	– Річкова інформаційна служба
РЛС	– Радіолокаційна станція
СВЕНКІ	– Система відображення електронних навігаційних карт та
ВС	інформації внутрішнього судноплавства

СКП	– Середня квадратична помилка
ЦКСР	– Центральною комісією судноплавства по Рейну
ЕДІФАК	– Правила ООН по організації електронного обміну даними в
Т ООН	області управління, торгівлі та транспорту
AIS	– Automatic Identification System
AtoN	– Aids to Navigation AIS є одним з додатків технології AIS.
ARPA	– Automatic Radar Plotting Aid
DGPS	– Differential Global Positioning System
ECDIS	– Electronic Chart Display and Information System
ECS	– Electronic Chart System
ENC	– Electronic Navigational Chart
ERINOT	– Electronic reporting international notification
ES	– Expert System (експертна система)
GPS	– Global Positioning System
IHO	– International Hydrographic Organization
IMO	– International Maritime Organization
IECDIS	– Inland Electronic Chart Display and Information System
ILC	– Information for Law Compliance
LBM	– Lock and Bridge Management
Inf	Information Mode for Inland ECDIS
Nav	Navigation Mode for Inland ECDIS
NtS	Notices to Skippers
РН	Ймовірність безпечного плавання
RIS	River Information Service

- SOLAS – The International Convention for the Safety of Life at Sea
- SENC – System Electronic Navigational Chart
- STI – Strategic Traffic Information
- TM – Traffic Management
- TP – Traffic Planning
- WS – Water Station (водомірний пост)

ВСТУП

Актуальність теми. Від успішного рішення проблеми забезпечення безаварійного судноводіння залежить зменшення кількості аварійних випадків, що веде до зниження шкоди людському життю та навколишньому середовищу.

Проводка морських суден на водних шляхах в стислих умовах ускладнено навігаційними перешкодами та інтенсивним судноплавством, які створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Навігаційна небезпека судноплавства в стислих водах в першу чергу залежить від інформаційної похибки стосовно габаритів суднового ходу, положення небезпек та похибки управління судном.

Інформаційна похибка габаритів суднового ходу залежить від моделі прогнозу та впливає на вірогідність безпечної проводки судна в стислих умовах. Для оперативної оцінки поточної безпеки судноводіння і мінімізації ризиків виникнення аварійної ситуації слід розробити спосіб комп'ютерного відображення навігаційної ситуації на електронній карті і процедуру вибору способу мінімізації часу передачі повідомлення з урахуванням інформаційної похибки та позиції судна.

Тому розробка способів, що мінімізують аварійні ризики при плаванні судна в стислих водах, чому присвячена дана робота, є актуальним науковим напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота спрямована на реалізацію Закону України про Транспорт (№ 4709-VI від 17.05.2012), Морської доктрини України на період до 2035 року (Постанова Кабінету міністрів України від 7.10.2009, № 1307), Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2014-2018 роки (наказ Міністерства інфраструктури України від 26.06.2013, № 426, Стратегії імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у

сфері міжнародного морського та внутрішнього водного транспорту (Розпорядження Кабінету міністрів України від 11.10.2017, № 747–р), а також робота виконувалася в рамках планів наукових досліджень національного університету «Одеська морська академія» за держбюджетною темою «Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання» (№ ГР 0115U003580.)

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є одержання найбільшого ефекту від технології проводки судна в стислих умовах водних шляхів.

Науковою гіпотезою цього дослідження прийняте допущення про можливість подальшого підвищення безпеки судноводіння шляхом об'єднання методів і способів технології проводки суден з елементами сучасних інформаційних технологій.

Головною задачею дослідження стала розробка оперативної оцінки місцезнаходження та вибору оптимально безпечного місця судна в стислих умовах.

Дослідження наступних допоміжних задач забезпечило рішення головної задачі дисертації:

- дослідження залежності інформаційної похибки габаритів суднового ходу від істотних параметрів руху судна;
- аналіз впливу випадкової складової інформаційної похибки на вірогідність безпечної проводки судна в стислих умовах;
- розробка способу визначення оцінки безпеки судноводіння на водних шляхах з урахуванням сучасних інформаційних технологій.

Рішення головного завдання полягає у виборі способу безпечної проводки судна на водних шляхах в реальних експлуатаційних умовах з урахуванням інформаційної похибки габаритів суднового ходу.

- розробка розрахункової схеми імітаційного моделювання та засобу оцінки вірогідності безпечної проводки суден в інформаційному полі PIC ECDIS.

Об'єктом дослідження дисертації є процес руху судна.

Предметом дослідження є спосіб проводки судна водними шляхами в стислих водах із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

Методи дослідження. У дисертаційному дослідженні для рішення поставлених задач були застосовані наступні методи:

- дедукції для аналізу основних аспектів вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння;
- експертного оцінювання для вибору теми дисертаційного дослідження;
- системного аналізу при формуванні технології наукового дослідження;
- ідентифікації, аналізу, синтезу, мінімаксу та верифікації при рішенні поставлених задач;
- математичного аналізу для рішення рівнянь руху судна в стислих умовах;
- теорії вірогідностей та математичної статистики для опису стохастичних характеристик випадкових векторних похибок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні способу вибору безпечної траєкторії руху судна під час плавання в стислих водах з урахуванням інформаційної похибки, який реалізовано у вигляді комп'ютерної програми за мінімумом середньоквадратичної похибки обсервації в умовах експлуатації судна.

У дисертаційній роботі:

- запропонована процедура оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу його руху;
- отримав подальший розвиток спосіб визначення залежності вірогідності безпечної проводки судна від випадкових інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу, який відрізняється оперативним врахуванням ширини суднового ходу;

Удосконалено метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального способу планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані наукові результати впроваджуються на морських судах у процесі експлуатації для вибору безпечного маршруту плавання без модернізації обладнання, а також використані розробниками судових навігаційних інформаційних систем.

Практичні результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрі морські технології ННІ МПіТ при викладанні дисципліни «Океанські шляхи світу», «Менеджмент морських ресурсів» (акт від 19.01.2021 р.). Матеріали дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 26.01.2021 р.), Дунайський інститутом НУ«ОМА» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 22.02.2021р.), Річкова інформаційна служба України «Дельта-лоцман» для перепідготовки спеціалістів компанії (акт впровадження від 10.02.2021р.), компанією «Zodiac Maritime Ltd» для перепідготовки судноводіїв компанії (акт впровадження від 22.01.2021 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана дисертантом самостійно: проведено інформаційний пошук, в результаті якого проаналізовані основні аспекти проблеми забезпечення безаварійності судноводіння; забезпечене методологічне обґрунтування дослідження; розроблена процедура визначення залежності величини інформаційної похибки від моделі його прогнозу, а також алгоритми для формування комп'ютерної системи відображення навігаційної ситуації на електронній карті та вибору безпечної траєкторії руху з урахуванням інформаційних похибок оцінки габаритів судового ходу; впроваджені результати дисертаційної роботи у виробничий процес. У дисертації використані лише ті положення наукових праць, опублікованих у співавторстві, які належать автору особисто:

формування кількісної характеристики інформаційного забезпечення

судноводіння [3, 9],
 формалізація механізму утворення інформаційної похибки [3],
 процедура зниження інформаційної похибки [4,5],
 порівняльний аналіз оцінок інформаційного супроводження в стислих водах[9],
 алгоритм оцінки вірогідності безпечного плавання з урахуванням динаміки підводного рельєфу [2],
 визначення параметрів для оцінки вірогідності безаварійного плавання судна в районах з обмеженим інформаційним полем [7,9],
 характеристика виникнення інформаційної небезпеки, щодо динамічних процесів рельєфу дна та коливання рівня. [1].

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях:

міжнародна науково-технічна конференція. «Сучасне судноплавство і морська освіта», 7-9 квітня 2004 – Одеса : ОНМА, 2004.

науково-методична конференція «Сучасні проблеми підвищення безпеки судноплавства», 19-21 листопада 2008 – Одеса : ОНМА, 2008.

науково-методична конференція «Забезпечення безаварійного плавання суден», - 16-17 листопада 2011, Одеса.

науково-технічна конференція «Транспортні технології (Морський та річковий транспорт): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», - 15-16 листопада 2018, Одеса.

науково-методична конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2019 – Одеса: НУ «ОМА».

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 10 наукових праць (з них 3 одноосібно), в тому числі:

у наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України
 - 5 наукові статті [1 - 5];

у зарубіжних наукових фахових виданнях - 4 наукові статті [4];

в збірниках матеріалів наукових конференцій - 5 доповідей [6-10].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 292 сторінок, з них 225 сторінки основного тексту, 69 рисунків, 19 таблиці, бібліографія з 91 найменувань на 10 сторінках, 4 додатка на 30 сторінках.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

1.1. Аналіз літературних джерел по проблемі забезпечення безаварійного плавання суден

Проведений аналіз літературних джерел показав що, актуальними напрямками вирішення проблеми забезпечення безаварійного плавання суден є:

- розробка заходів підвищення точності визначення позиції судна за рахунок їх максимальної ефективності та формування способу кількісної оцінки безпеки судноводіння на водних шляхах в стислих умовах;
- застосування сучасних інформаційних технологій і методів забезпечення безпеки судноводіння на водних шляхах.

У публікаціях вітчизняних та зарубіжних дослідників [1-16] розглянуто питання забезпечення безпеки судноводіння та причини виникнення аварійних подій на водних шляхах.

Ряд робіт [17-25] присвячено визначенню розмірів безпечної області судна різної форми з урахуванням істотних стохастичних і детермінованих чинників і розробці процедури вибору оптимальної форми безпечної області.

Показано, що до детермінованих чинників відносяться розміри суден, що приближається до небезпек, явище присмоктування та запас відстані на форс-мажорні обставини. Основним стохастичним чинником, який впливає на розміри безпечної області судна, являє собою щільність векторіальної позиційної похибки, тобто тип її закону розподілу та значення його параметрів. В роботах, розглянуто форми безпечної області судна.

В роботах [26-33] розглянуто питання забезпечення безаварійного судноводіння в стислих умовах плавання і можливі напрями її підвищення. У трудах розглянуті принципи, закладені в моделі оцінки безпеки, формування

бази початкових даних і методи їх збору.

У публікаціях [34-44] розглянуто питання застосування сучасних інформаційних технологій і методів судноплавства на водних шляхах України та європейських держав, які гармонізуються за допомогою єдиного підходу до річкових інформаційних служб (PIS).

Питання формування стратегії навігаційного та радіонавігаційного простору водних шляхів на території України, країн Європи та інших держав викладені в публікаціях [43-56]. Враховується комплекс обмежень, визначуваних міжнародними вимогами, перш за все ІМО, ЄЕК ООН значною протяжністю і фізико-географічними відмінностями водних шляхів різних районів.

Статті [57 - 63] присвячені питанням забезпечення достатньої точності проводки суден в стислих умовах методами навігації, в яких використовується навігаційного устаткування таких районів.

Аналітичні вирази для оцінки вірогідності навігаційної безпеки плавання в межах фарватеру одержані в роботі [62 - 71] Вірогідність безпечного плавання рекомендованим маршрутом розраховується при відомій щільності розподілу похибок.

Дослідження похибок вимірювань навігаційних параметрів розглянуті в роботах [72-75], які зробили значний внесок в рішення проблеми підвищення точності контролю місця судна, в першу чергу, розробкою теоретичних методів зниження впливу систематичних і випадкових похибок вимірювань на точність обсервацій. Достовірність отриманих залежностей доведена методом статистичного моделювання.

В роботі [76] запропоновано нову модель формування випадкових величин навігаційних вимірювань, що відрізнявся від моделі запропонованої К. Гаусом для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин. В результаті цього в судноводінні стали розглядати випадкові похибки, які підкорялися змішаним розподілам вірогідності, відмінним від закону Гауса (хоча граничним змішаним розподілом є як раз

нормальний закон). Змішані закони розподілу похибок якраз мають «хвости». Недоліком моделей змішаного розподілу є те, що не можуть застосовуватися до опису систем залежних випадкових величин. Дослідження авторів показують, що проблема опису систем залежних випадкових величин може бути розв'язана за допомогою узагальненого закону розподілу Пуассона, що використовує як базовий нормальний розподіл. Річ у тому, що узагальнений розподіл Пуассона є стійким.

В статті [77] повідомляється, що розроблялася модель оцінки ризику аварії з метою визначення рівня безпеки судноплавства в заданому районі. При цьому враховується існуюча система менеджменту і вплив на безпеку планованих заходів (сучасних засобів навігації, зон регулювання руху суден). При розробці такої моделі оцінки були використані систематичні, методологічні і кількісні підходи для районів плавання. Приведені опис розробленої моделі оцінки ризику і рекомендації за призначенням індексу ризику.

Питання розробки методу визначення кількісної оцінки безпеки судноводіння в стислих водах дослідженні у роботах здобувача [78 -86], як одноосібних, так і в співавторстві. До таких питань відносяться пошук аналітичних виразів рівня безпеки судноплавства, формалізації параметрів проводки судна та залежність одомірної щільності розподілу бокового відхилення від двомірної щільності векторіальної позиційної похибки.

Дослідження [87] присвячені розгляду сучасних методів забезпечення судноплавства на морських і внутрішніх водних шляхах. У них висвітлюються проблеми оцінки навігаційної безпеки, керованості суден, підготовки членів екіпажів, запобігання аваріям.

1.2. Вибір напрямку дисертаційного дослідження

Виконаний огляд і аналіз літературних джерел з питань забезпечення надійності судноводіння показав, що основним аспектом вирішення

проблеми зниження навігаційної аварійності суден є попередження виникнення недостатньої інформативності за рахунок удосконалення методів вибору оптимальної проводки суден на водних шляхах з урахуванням сучасних можливостей комп'ютерних інформаційних технологій. Ця проблема є особливо актуальною для суден, що знаходяться в стислих умовах плавання, у яких обмежена інформативність стосовно зміни габаритів суднового ходу під впливом зовнішніх факторів.

Як випливає з попереднього розділу, основні розробки з проблеми попередження виникнення небезпечних ситуацій присвячені локально-незалежному процесу проводки суден, хоча все ширше застосовується принцип підвищення інформативності зовнішнім агентом. З другого

боку, розробка цього напрямку проводки суден знаходиться в початковому стані, – розроблений спосіб вибору оптимального рішення проводки суден в стислих умовах з урахуванням зміни інформаційного поля. Дослідження в цьому напрямі продовжені в даний час: розроблені

процедури врахування інформації стосовно суден і наявних навігаційних перешкод, що знаходяться в районі маневрування. При цьому

модифікований спосіб вибору рішення проводки суден на водних шляхах з урахуванням зміни інформаційного поля реалізовано в комп'ютерній програмі, що забезпечує оперативність і простоту використання запропонованого способу.

Проте в стислих водах часто виникають ситуації, коли судна, що

Приближуються до ділянки водних шляхів, обмежені в інформації стосовно наявних навігаційних перешкод, тому виникає необхідність шукати вибір рішення проводки суден на водних шляхах. Тому завдання розробки способу вибору рішення проводки суден на водних шляхах з урахуванням недостатньої інформативності стосовно зміни габаритів суднового ходу під впливом зовнішніх факторів, реалізованого комп'ютерним інформаційним забезпеченням, що підвищує оперативність, простоту і надійність способу, є

перспективною і актуальною тематикою.

Цим і зумовлюється вибір напряму досліджень даної дисертаційної роботи.

1.3. Висновки по першому розділу

У першому розділі здійснено аналіз літературних джерел, на базі якого проведено аналіз основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння. Було встановлено, що основними напрямками рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння на водних шляхах є розробка методів моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, що сприяє їх більш ефективному і безпечному плаванню.

Проведений аналіз дозволив одержати висновок про те, що центральним напрямом рішення вказаної проблеми є вдосконалення методів проводки суден на ділянках водних шляхів з урахуванням недостатньої інформативності стосовно зміни габаритів суднового ходу під впливом зовнішніх факторів.

В розділі запроваджено обґрунтування основного напряму дисертаційного дослідження, який присвячений розробці способу проводки суден на водних шляхах в ситуаціях їх небезпечних зближень з урахуванням недостатньої інформативності стосовно зміни габаритів суднового ходу під впливом зовнішніх факторів.

Об'єктом дослідження дисертації є процес судноводіння, а предметом дослідження є методи безпечної проводки суден на водних шляхах з урахуванням недостатньої інформативності стосовно зміни габаритів суднового ходу під впливом зовнішніх факторів.

РОЗДІЛ 2.

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1. Аналіз аварійності на водних шляхах

Обсяги перевезень, кількість світового флоту, габарити швидкість і інтенсивність руху суден, останнім часом, продовжували збільшуватися при відносно невисоких темпах зміни габаритів водних шляхів, що веде за собою до відповідного збільшення ризиків, відносно до цих операцій.

Для забезпечення ефективності роботи флоту з дотриманням відповідного рівня безпеки на водних шляхах, необхідно проаналізувати основні закономірності виникнення аварійних ситуацій з застосуванням статистичних даних аварійності.

Інформація про рівень аварійності суден світового флоту за останні роки доступна у вигляді електронних публікацій на веб сторінках відповідних організацій. Так статистичні дані для територіальних вод і суден надають [3,5-8, 11-17]. Дані для європейських вод можна знайти на сторінці EMSA (European Maritime Safety Agency) [3,4]. Статистичні дані для світового флоту надають незалежні експерти і страхові компанії [4-16]. Згідно з даними UNCTAD [14] обсяги перевезень морем з 1970 по 2014 рр. виросли в майже 3.7 рази. Найбільш повну інформацію про зміни в складі і кількості світового флоту можна отримати зі звітів EQUASIS [10]. Тоннаж світового флоту за останнє десятиліття виріс в два рази, а кількість суден - на 40%. Буксири складають (19.6%) флот, універсальні судна (19.1%), наливні танкера (14.5%) і балкера (12.9%) - найбільш поширені категорії судів, більшість з яких малого і середнього розмірів.

Спостерігається загальна тенденція зменшення аварійності, як по абсолютним, так і за відносними показниками (рис. 2.1.). Якщо в 2005 році втрати судів склали 0,25% від світового флоту, то в 2015 - 0,1%. Статистика

аварійних подій суден світового флоту за 2006-2015 роки показує, що причиною втрати судів є затоплення (50%), посадки на мілину (20%), пожежі (10%) і зіткнення суден (7%). Причинами матеріальних збитків на суднах в 31% пов'язані з полумками і відмовами механізмів, 16% - зіткнення і 15% - посадки на мілину. Помилкові дії операторів призвели до аварій в 67% випадків (EMSA).

«Аварійна морська подія (далі - АМП) - це подія, що виникла в результаті експлуатації судна чи у зв'язку з нею, яка спричинила, або могла спричинити людські жертви, або заподіяти шкоду здоров'ю людей, загибель судна, або втрату його морехідного стану, а також забруднення навколишнього природного середовища...»[2]

За причинами виникнення (навігаційні АМП) підрозділяються на види:

А. Посадка на ґрунт судна розглядається при посадці на мілину, торкання ґрунту і підводних перешкод або викид на берег.

Б. Зіткнення суден- це контакт або зіткнення суден між собою в процесі їхнього руху або руху одного з них;

контакт із судном, яке стоїть на якорі або на мілині;

контакт із спорудою, що стоїть у морі окремо (нафтобурова платформа, вишка), пошкодження знарядь промислу судна флоту рибного господарства, що з'єднані із судном.

В. Навал - контакт судна з стаціонарною або тимчасовою гідротехнічною спорудою, призначеною для стоянки суден (причал, пірс, мол, док), або з огороженням акваторії морського порту;

контакт судна з іншим судном, що стався в процесі виконання швартовних операцій, а також у результаті несприятливих гідрометеорологічних умов (дрейф судна, обриви ланцюгів, тросів тощо); контакт судна зі ЗНО»[2].

Таблиця 2.1 – Втрати суден на світовому водному транспорті в 2001-2019 р.

роки	2001	2003	2005	2007	2009	2010	2011	2013	2015	2016	2017	2018	2019
кількість втрат суден	154	144	149	171	129	125	95	112	85	98	94	46	41



Рис. 2.1- Розподіл аварійних подій по рокам

$$Y = Y_n - Y_{n-1}$$

де Y_n - кількість втрачених суден в n рік.

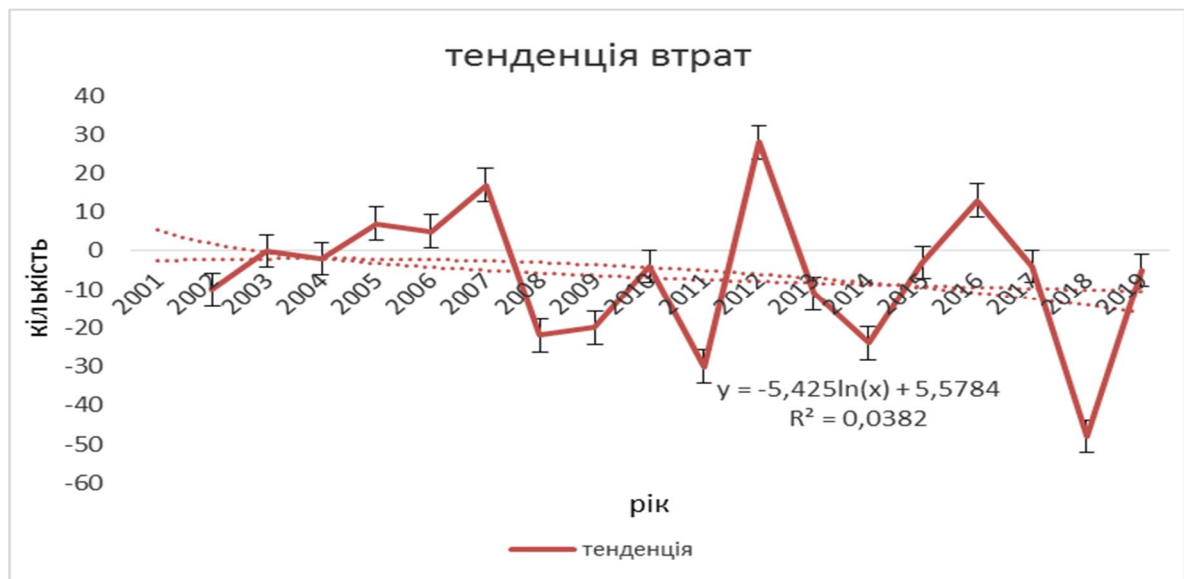


Рис. 2.2- Характеристика тенденції аварійних подій з суднами по рокам

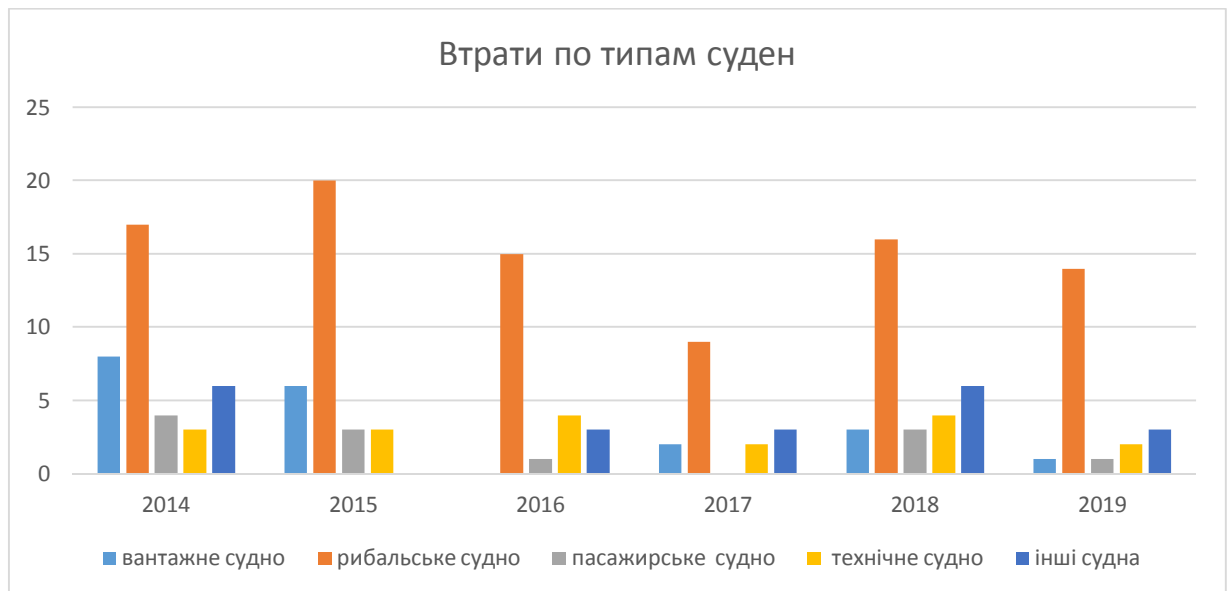


Рис. 2.3- Розподіл аварійних подій по типам суден та рокам у водах Європи

У 2019 році (з 1.01.2014р. По 31.12.2019р.) зареєстровано 3062 аварійні події, згідно даних European Marine Casualty Information Platform (EMCIP).

Зафіксовано зменшення на 200 постраждалих в порівнянні з 2018 роком. Загальна кількість подій, зросла до 19500 в період з 2014 по 2019 рік, що становить в середньому 3236 аварійні події на рік за період. Всього в 2018 році було зареєстровано 106 дуже серйозних втрат, що відповідає збільшенню на 68% в порівнянні з 2017 р, в той час як загальне число знизилося до 63 в 2019 році.

З розподілу втрат судів за типами (рис. 2.3) видно, що за абсолютною кількістю аварійних подій на першому місці знаходяться рибальські судна (57%), серед комерційних суден знаходяться універсальні суховантажні судна. Вагова оцінка кожного типу аварії (кваг) буде визначатися як відношення числа судів (n), які зазнали цього впливу, до загальної кількості потерпілих суден (N),

$$Кваг = n / N , \quad (2.1)$$

Таблиця 2.2- Розподіл аварійних подій по типах суден та районам водних шляхів Європи

Тип судна	водні шляхи внутрішні	Водні шляхи інші	Відкри те море	Терито ріальне море	інші	всього	вагова оцінка
Тип судна	Inland waters	Internal waters Other / Unspecified	Open sea	Territor ial sea	Other / Unspec ified	Total	
1	2	3	4	5	6	7	8
Chemical tanker	28	401	84	147	34	694	0,074
Liquified gas tanke	5	86	41	44	1	177	0,019
Oil tanke	34	452	291	240	25	1042	0,111
Other / Unspecified Liquid cargo	7	81	25	41	0	154	0,016
Bulk Carrier	93	729	312	338	41	1513	0,161
Container Ship	55	969	304	329	20	1677	0,178
General Cargo	153	1736	333	729	45	2996	0,319
Ro-Ro Cargo	12	413	101	112	10	648	0,069
Other Solid Cargo	13	222	57	145	9	446	0,047
Other / Unspecified cargo	3	26	7	17	3	56	0,006
вагова оцінка	0,043	0,544	0,165	0,228	0,020	1	

Аналіз таб. 2.3 підтверджує гіпотезу про значну кількість (52%) АП на водних шляхах в стислих умовах, а з урахуванням територіальних вод досягає 80%. Кількість АП у водах світу суден з генеральним вантажем перевищує танкери в 29 разів, Chemical/Product - в 8 разів, LPG в 94 рази.

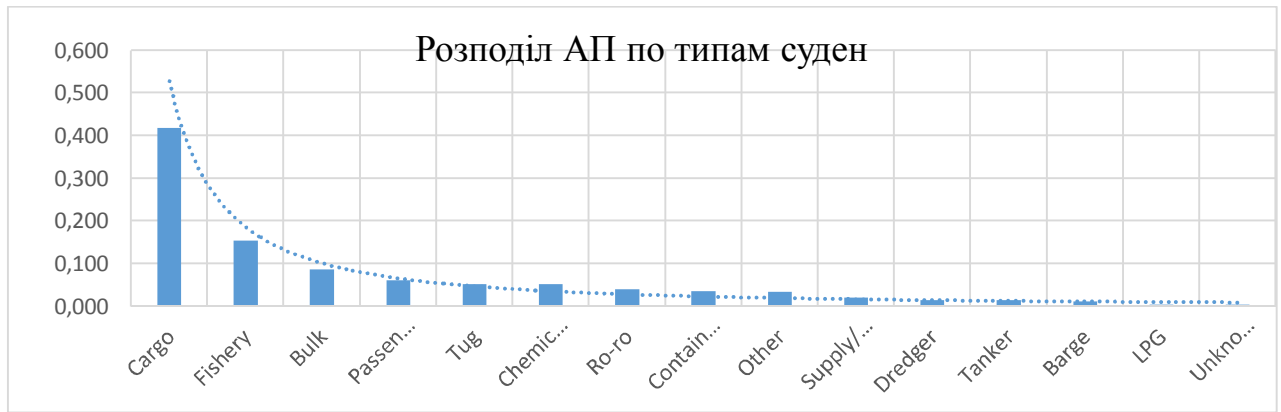


Рис. 2.4 - Розподіл аварійних подій по типах суден

Таблиця 2.3- Розподіл аварійних подій районам водних шляхів Європи у 2014-2019 гг.

райони	роки							Вага чинника
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	всього	
водні шляхи внутрішні/ Inland waters	69	58	66	46	112	104	455	0,023
водні шляхи інші/ Internal waters Other / Unspecified	271	265	264	396	297	207	1700	0,088
водні шляхи портові / Internal waters Other /Port area	1448	1493	1349	1336	1254	1176	8056	0,415
відкрите море / Open sea Other	125	81	69	50	56	10	391	0,020
відкрите море за межами ЄЄЗ / Open sea - Outside EEZ	107	196	179	105	142	190	919	0,047
відкрите море в межах ЄЄЗ/ Open sea - Within EEZ	329	362	399	369	429	486	2374	0,122
Територіальне море/ Territorial sea	848	828	903	940	962	868	5349	0,275
інші райони/ Other Unspecified	47	58	15	21	12	21	174	0,009
Всього /Total	3244	3341	3244	3263	3264	3062	19418	1

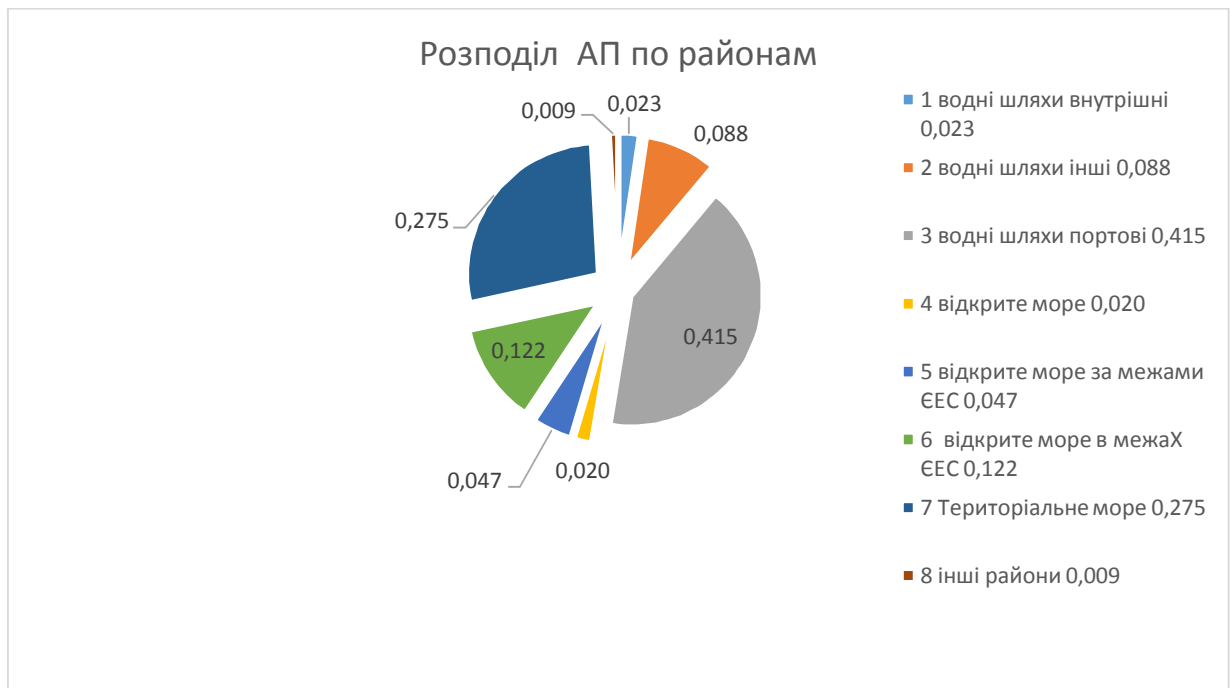


Рис. 2.5- Розподіл аварійних подій суден по районах на водних шляхів Європи

Найбільша кількість АП (табл. 2.3) в залежності від їх місця настання розподіляються наступним чином: в портових водах та – 41,5%; прибережних водах – 27,5%; у відкритому морі - 19%.

За період 2014-2019 років в результаті 320-о подіях було втрачено 496 життів. Після безперервного значного зниження з 2015 по 2017 рік був зафіксований обмежений зростання в 2018 і 2019 роках. 88,3% жертв були члени екіпажу. Загиблі в основному відбулися під час зіткнень

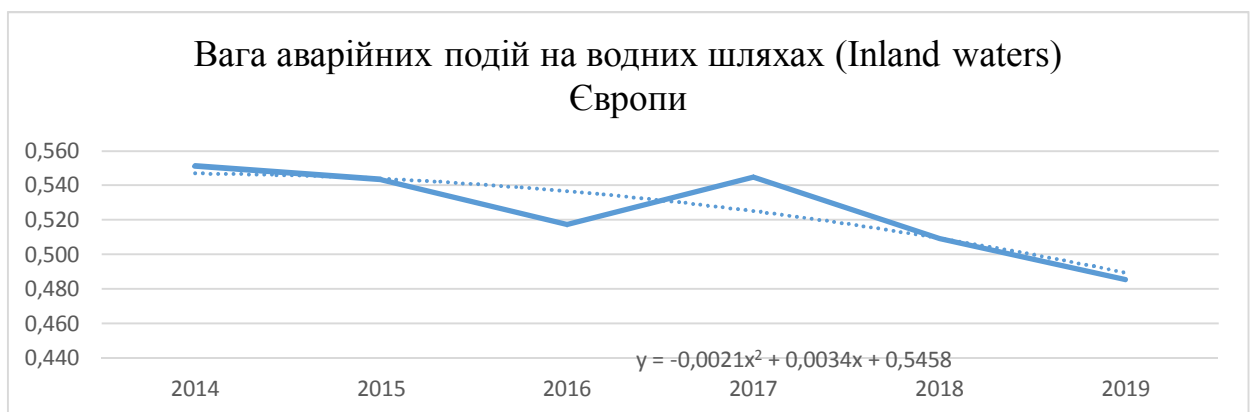


Рис. 2.6 - Розподіл аварійних подій суден на водних шляхів Європи протягом 2014-2019 років

Загальна тенденція аварійних подій суден по районах на водних шляхів Європи протягом 2014-2019 років відображає зниження але залишається досить високою, в середньому 4,66 АП на добу. Найбільш часто серйозні АМП настають по навігаційним - (близько 50%), технічним - 35% і організаційним - 15% причин.

На «людський фактор» доводиться - 47% АП (табл. 2.5).

«Людський фактор», пов'язаний з АП, представлений широким спектром людської діяльності на судах, що характеризує як культуру, стрес, здоров'я [8-12], так і управлінську неузгодженість, недолік оперативних знань і не готовність оператора до екстремального управління. Таким чином, найбільш частими причинами АС є: порушення організації штурманської служби («людський фактор») - 47%; низька кваліфікація екіпажів - 22,9% та інші.

Таблиця 2.4- Розподіл причин аварій та інцидентів на водному транспорті ЄС в 2014-2019 рр.

тип причини	кількість інцидентів	Вага причини
небезпечні обставини	60	0,065
людський фактор	492	0,535
вплив на дії людини іншого агента або судна	98	0,107
відмова системи або обладнання	257	0,280
невідомо	12	0,013

Аналіз аварій, пов'язаних з дією «людського фактора», показує, що вони відбулися в результаті незадовільного спостереження та бездіяльності, що сприяло невірному прийнятим рішенням. Незадовільний спостереження: небезпечна ціль не була виявлена – 0,23; небезпечна ціль виявлена на

дистанції менш ЗНБ – 0,28; - небезпечна ціль виявлена на дистанції в межах ЗНБ – 0,20; Бездіяльність при своєчасному виявленні: не визначені елементи руху мети і не розрахований маневр ухилення -0,16; не вживалися дії для зупинки судна - 24,4.



Рис. 2.7- Вплив інформаційних чинників на людський фактор на водних шляхів Європи протягом 2014-2019 років

Аналіз впливу інформаційних чинників на людський фактор на водних шляхів Європи протягом 2014-2019 років показує зростаючу частку в інформаційному потоці навігаційних повідомлень берегових джерел, впливаючих позитивно та негативно на наслідки людського фактору.

Таблиця 2.5 - Розподіл аварійності суден протягом доби на водному транспорті ЕС

Частина доби	ранок	день	вечір	ніч
години	04-08.	08-16.	16-20.	20-04.
Вага аварійних подій	0,36	0,11	0,06	0,47

На рис. 2.8 а,б,в, представлен розподіл аварійних подій з суднами пароплавства на р.Дунай із урахуванням інтенсивності руху

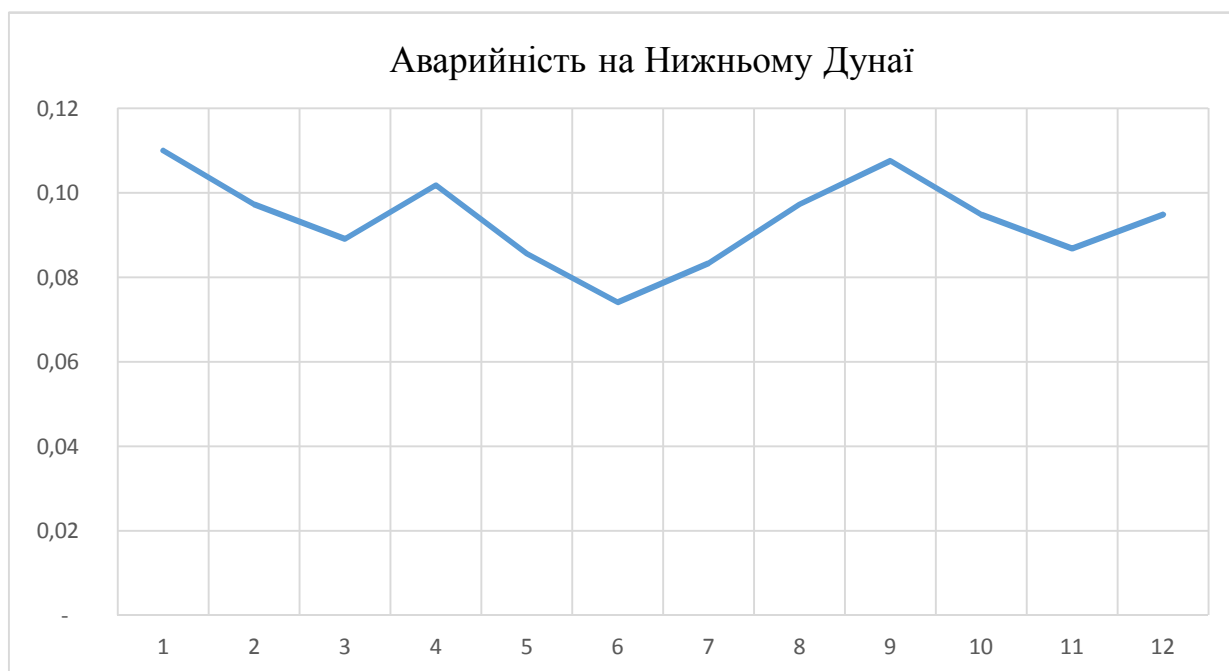


Рис. 2.8- Розподіл аварійності по місяцям на р.Дунай

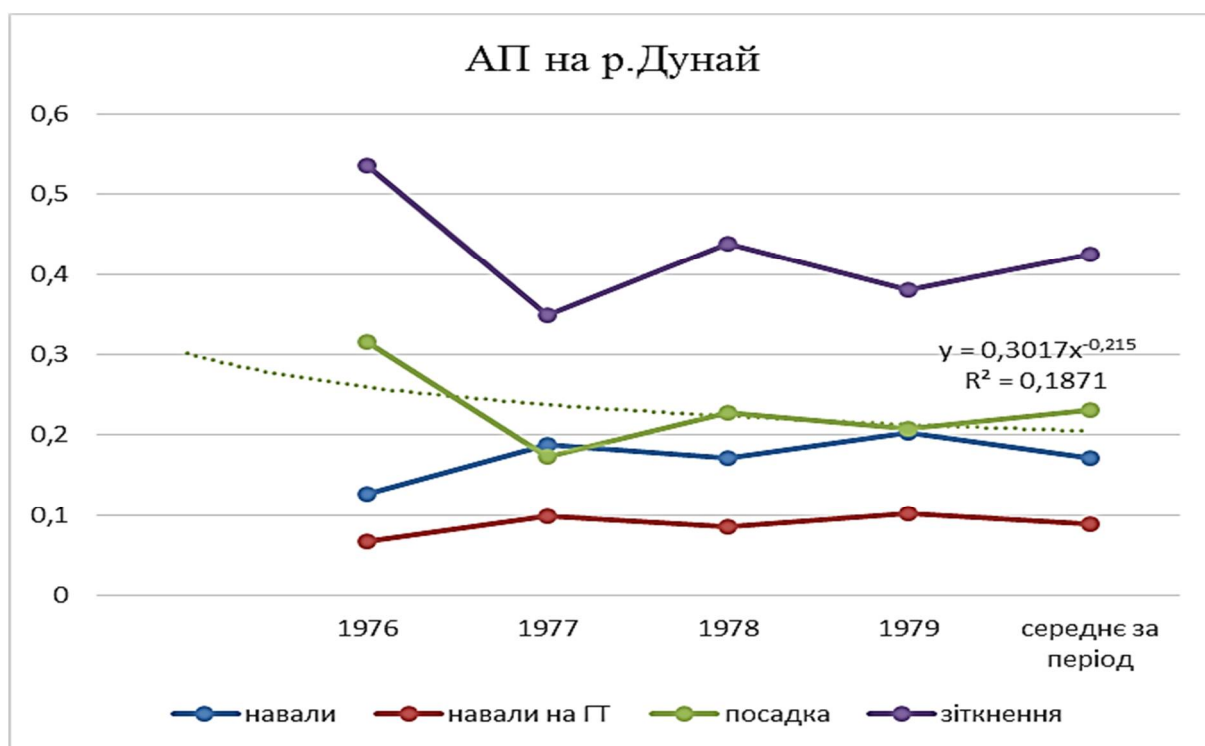


Рис. 2.8а - Розподіл аварійності по рокам 1976-1979 на р.Дунай

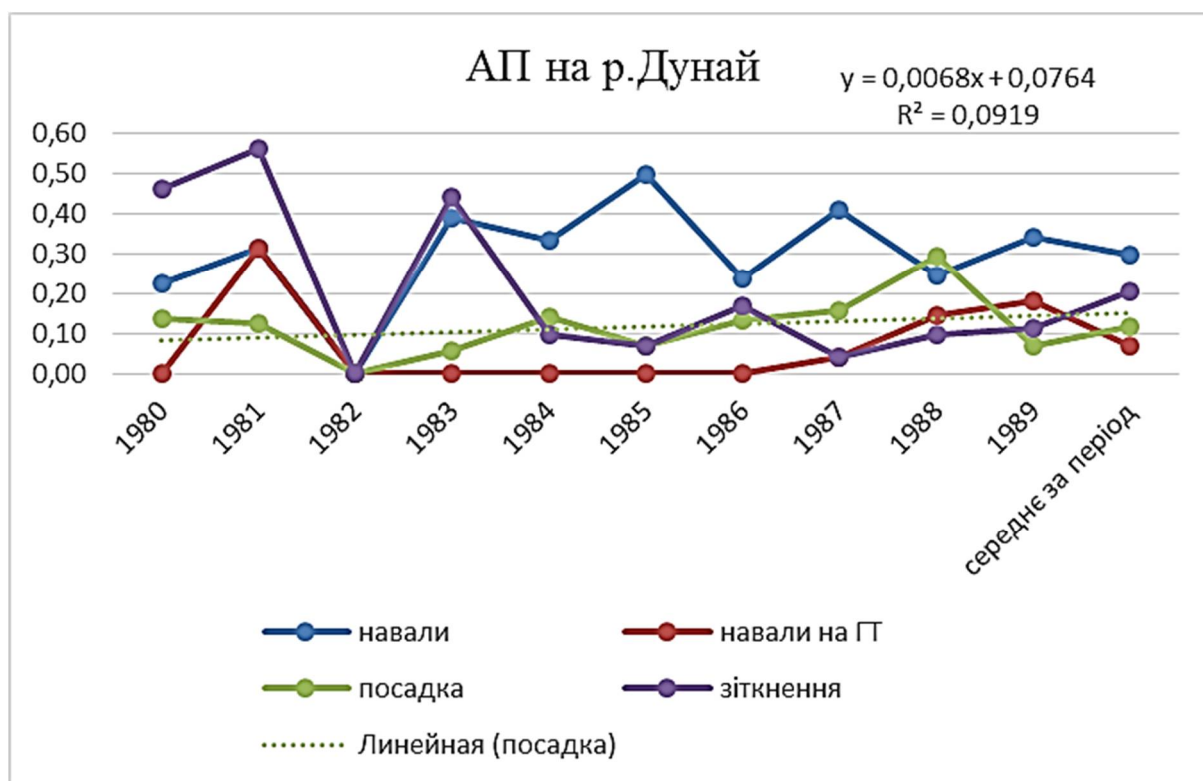


Рис. 2.8б - Розподіл аварійності на р.Дунай по рокам 1980-1989

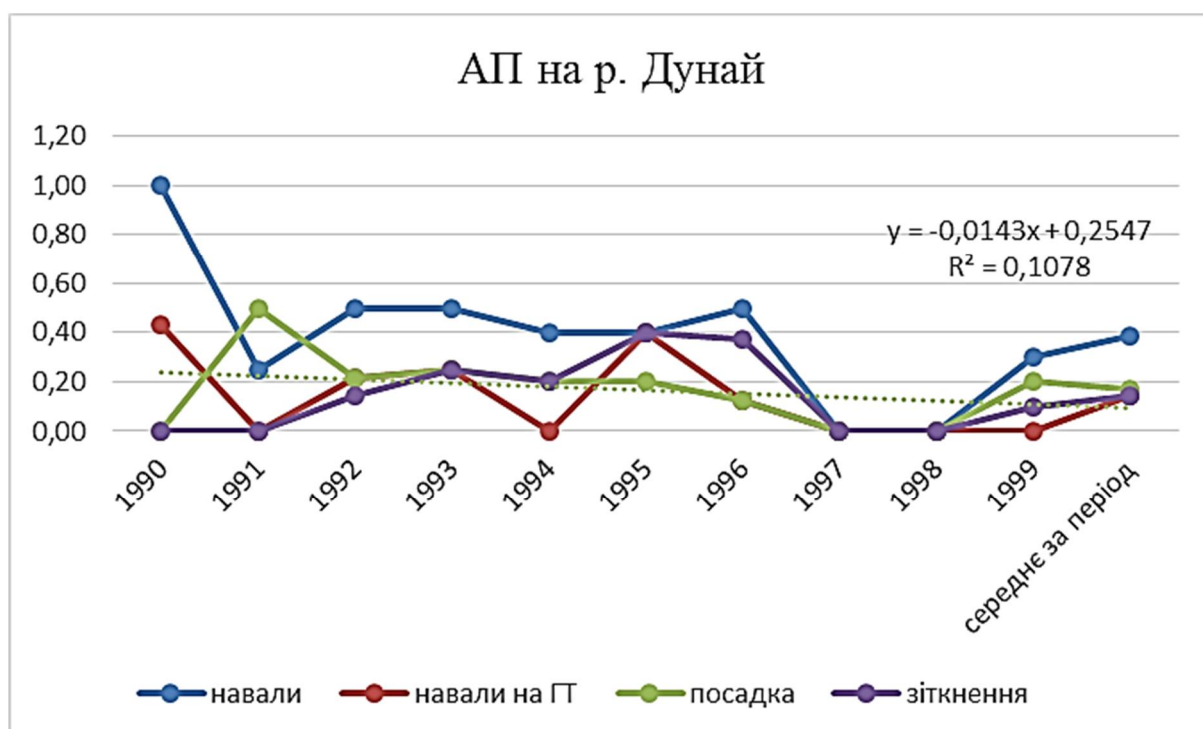


Рис. 2.8в - Розподіл аварійності на р.Дунай по рокам 1990-1999

Статистика аварійних подій суден на водних шляхах р Дунай за 1980-2010 роки показана в табл.2.6.

Таблиця 2.6 - Аналіз аварійності по видам на ділянці р. Дунай

	Навали	Навали на гідротехнічні споруди	Посадки суден на мілину	Зіткнення	Технічні випадки
Кількість аварійних подій	304	101	249	458	294
Вага від загальної кількості аварійних подій	0,23	0,08	0,19	0,35	0,23
Вага від кількості навігаційних аварійних подій	0,30	0,10	0,25	0,45	

Статистика аварійних подій суден на водних шляхах р Дунай за 1980-2010 роки показує, що причиною пошкодження суден є навали (31%), посадки на мілину (19%), технічні (23%) і зіткнення суден (35%).

Не дивлячись на зусилля щодо вдосконалення організаційно-технічних заходів щодо забезпечення навігаційної безпеки судноплавства, рівень навігаційної аварійності залишається досить високим та вимагає розробки аналізу чинників, впливаючих на судову навігаційну інформацію та вдосконалення методів проводки суден з застосуванням сучасних інформаційних технологій.

2.2. Вибір тематики дисертаційного дослідження

В попередніх розділах було встановлено, що вдосконалення методів проводки суден з застосуванням сучасних інформаційних технологій є одним із актуальних напрямків підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах і забезпечення надійності проводки суден. Вдосконалення методів проводки суден в першу чергу потребує розробки заходів підвищення ефективності та надійності прогнозування руху суден, що зумовило вибір теми дисертаційного дослідження, присвяченого розробці методу апріорної кількісної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки на водних шляхах в стислих умовах з застосуванням сучасних інформаційних технологій і значень його параметрів.

Рішення цієї задачі, по-перше, передбачає аналіз залежності інформаційної похибки габаритів суднового ходу від істотних параметрів руху судна, для чого необхідно визначити вплив обмеженості інформації на аварійність судноводіння та знайти аналітичні вирази.

По-друге, передбачає формалізацію задачі оцінки вірогідності безаварійної проводки судна на обраній ділянці водних шляхів в стислих умовах, для чого потрібно визначити залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки з урахуванням характеристик району плавання, таких як метеорологічні та гідрологічні, морфологічні та геологічні, навігаційні та інформаційні.

Для практичного використання пропонованого способу з урахуванням особливостей водних шляхах України необхідна розробка способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням за допомогою електронної карти району проводки судна, що планується.

Так як розробка заходів підвищення точності та надійності проводки суден на водних шляхах з застосуванням сучасних інформаційних технологій є актуальною, то вибрана тема дисертації сформулюється

наступним чином «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України з застосуванням сучасних інформаційних технологій».

Основні етапи вирішення поставленої задачі полягають в наступному:

1. Методами теорії дослідження операцій провести декомпозицію загальної задачі дисертаційного дослідження на допоміжні незалежні задачі.
2. Дати теоретичне обґрунтування залежності кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки судна та характеристик водних шляхів України з застосуванням сучасних інформаційних технологій.
3. Здійснити формалізацію задачі оцінки вірогідності безпеки судноводіння на водних шляхах з урахуванням впливу сучасних інформаційних технологій.

Актуальність тематики дисертаційного дослідження обумовлена забезпечення належного рівня безпеки проводки суден і розробки способів кількісної оцінки.

Наукова новизна дисертаційного дослідження може полягати в визначенні залежності кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки судна та характеристик водних шляхів України з застосуванням сучасних інформаційних технологій.

Економічна ефективність дисертаційного дослідження мотивується можливим скороченням збитків від зниження рівня аварійності по причині навігаційних загроз.

Перевірка коректності одержаних теоретичних результатів дисертації за допомогою імітаційного моделювання забезпечує реалізацію наукового дослідження.

Об'єктом дослідження дисертації є процес судноводіння.

Предметом дослідження є спосіб проводки судна водними шляхами в стислих водах із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

2.3. Аналіз методів дослідження дисертації

Технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження представлена на рис. 2.9, вона характеризує структуру методологічного забезпечення рішення головної задачі дисертаційної роботи.

Сучасними запитами практики є потреба забезпечення належного рівня безпеки проводки суден і розробки способів її кількісної оцінки. Підвищення безпеки судноводіння розробкою методу її кількісної оцінки та зниження впливу чинників, які сприяють виникненню аварійності і є керованими, є метою дисертаційного дослідження. В якості наукової гіпотези цього дослідження прийняте допущення про можливість подальшого підвищення безпеки судноводіння шляхом об'єднання методів і способів технології проводки суден з елементами сучасних інформаційних технологій.

Головною задачею дослідження стала розробка оперативної оцінки місцезнаходження та вибору оптимально безпечного місця судна в стислих умовах. Вирішення головної задачі дисертаційної роботи потребувало використання методів теорії дослідження операцій для її декомпозиції на допоміжні складові задачі. Попередній аналіз показав, що головну задачу дисертаційного дослідження потрібно розділити на три незалежні допоміжні задачі:

- дослідження залежності інформаційної похибки габаритів суднового ходу від істотних параметрів руху судна;
- аналіз впливу випадкової складової інформаційної похибки на вірогідність безпечної проводки судна в стислих умовах;
- розробка способу визначення оцінки безпеки судноводіння на водних шляхах з урахуванням сучасних інформаційних технологій.

Для рішення першої незалежної допоміжної задачі дослідження впливу повноти інформаційної картини на вірогідність безпечного проходження судном заданої ділянки водних шляхів, закону розподілу похибки бокового відхилення на вірогідність безпечного проходження судном стислими

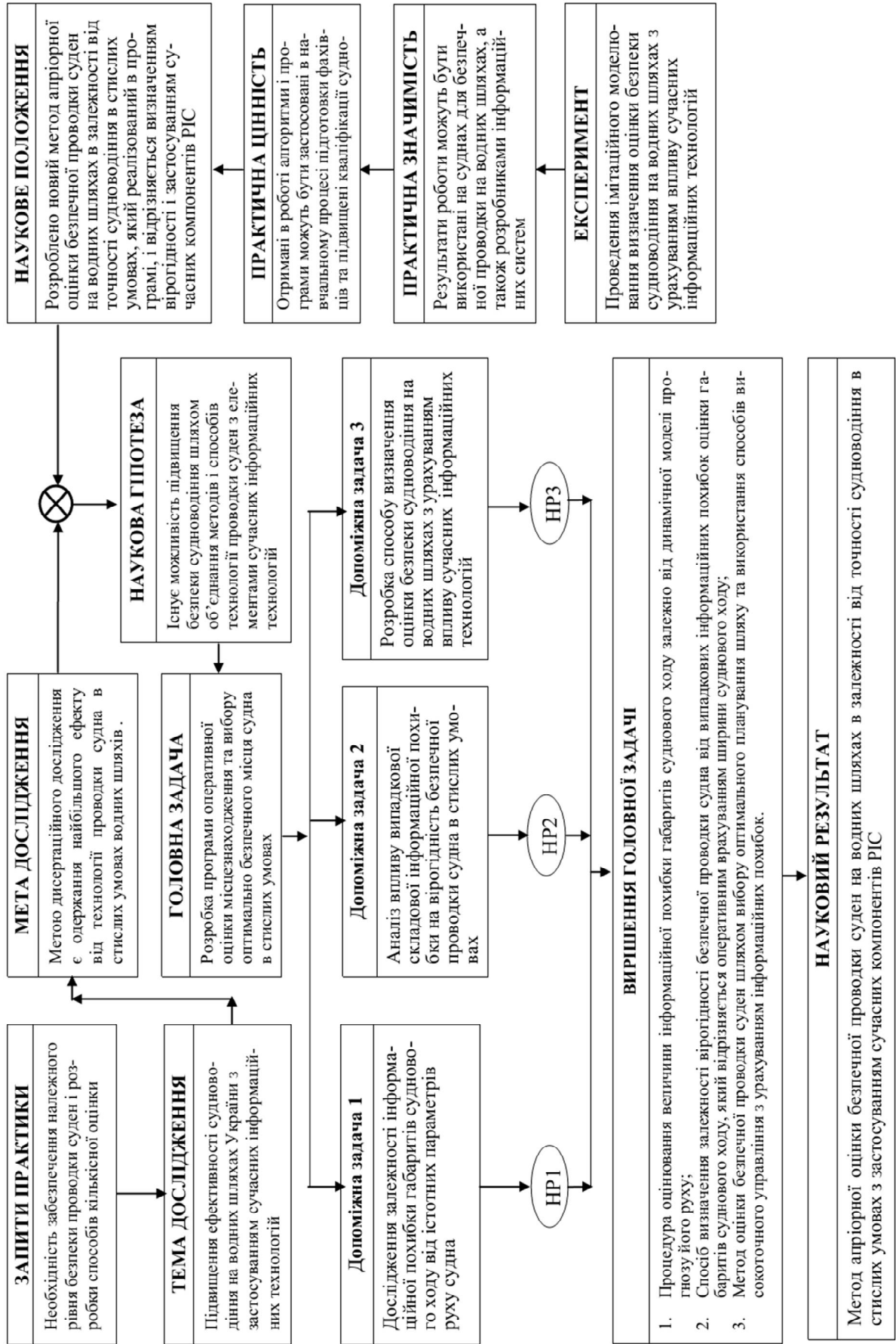


Рисунок 2.9 – Технологічна карта методологічного забезпечення дисертаційного дослідження

умовами. Її вирішення потребує визначення залежності розподілу інформаційної похибки бокового відхилення судна. Для цього потрібно визначити залежність величини інформаційної похибки та знайти аналітичні вирази.

Для рішення другої незалежної допоміжної задачі слід визначити, по-перше, залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки судна, яка характеризується типом закону розподілу похибки бокового відхилення судна від траєкторії руху, та, по-друге, сформулювати параметри характеристик водних шляхів, в яких планується проводка судна, з подальшою розробкою процедури її формалізації.

Третьою допоміжною задачею дослідження є розробка способу імітаційного моделювання визначення оцінки безпеки судноводіння на водних шляхах з урахуванням впливу сучасних інформаційних технологій

Для цього слід використати електронну карту району плавання, на яку програмним чином мають представити межі безпечної області плавання судна та плануєму траєкторія руху судна завданням маршрутом. В результаті мають формуватися дані для аналітичного обліку вірогідності безпечної проводки судна на ділянці водних шляхів.

Для третьої задачі необхідна розробка комп'ютерної програми, яка має забезпечити формування даних, що формалізують стислі умови водних шляхів проводки судна, та необхідні розрахунки для визначення вірогідності безпечного плавання. Цим визначається необхідність розробки наступних основних модулів комп'ютерної програми:

- модуль відображення на екрані монітору необхідної ділянки водних шляхів;

- модуль введення меж безпечної області плавання та плануємої траєкторії руху судна, використовуючи відповідну інформацію електронної карти;

- модуль розрахунку значень меж безпечної області та плануємої траєкторії руху судна.

- модуль розрахунку вірогідності безпечної проводки судна завданням маршрутом на водних шляхах.

В результаті проведення дисертаційного дослідження по кожній з складових незалежних задач були одержані відповідні наукові результати НР1, НР2 і НР3:

- науковим результатом першої допоміжної задачі НР1 є процедура оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу його руху;

- спосіб визначення залежності вірогідності безпечної проводки судна від випадкових інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу, який відрізняється оперативним врахуванням ширини суднового ходу є результатом НР2 другої допоміжної задачі;

- метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок є науковим результатом НР3 третьої допоміжної задачі.

Прийнята наукова гіпотеза про можливість підвищення безпеки судноводіння шляхом об'єднання методів і способів технології проводки суден з елементами сучасних інформаційних технологій.

Практична значущість проведеного дисертаційного дослідження полягає у тому, що його результати можуть бути використані на суднах для безпечної проводки на водних шляхах, а також розробниками інформаційних систем.

Дисертаційній роботі притаманна практична цінність, яка визначається тим, що одержані в роботі алгоритми і програми можуть бути застосовані в навчальному процесі підготовки фахівців та підвищені кваліфікації судноводіїв.

Одержані в дисертаційному дослідженні наукові результати визначають наукове положення роботи, що формуються наступним чином:

- вперше запропонована процедура оцінювання величини

інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу його руху;

- отримав подальший розвиток спосіб визначення залежності вірогідності безпечної проводки судна від випадкових інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу, який відрізняється оперативним врахуванням ширини суднового ходу;

- удосконалено метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального способу планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок.

Проведеному дисертаційному дослідженню властиве практичне значення, яке полягає в тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом проводки суден.

Наведемо стислий виклад методики проведення дисертаційного дослідження по темі дисертаційної роботи з характеристикою використаних для цього методів.

Згідно існуючим рекомендаціям по організації і проведенню наукових досліджень методами дедукції проаналізовано основні підходи по вирішенню проблеми забезпечення безпеки судноводіння, чим обумовлено вибір основного напрямку і теми дисертаційного дослідження.

Другим етапом дисертаційної роботи являється декомпозиція методами дослідження операцій головної задачі дисертації на три незалежні складові задачі. Також за допомогою теорії дослідження операцій забезпечується методологічне обґрунтування дисертаційної роботи.

При виконанні основної аналітичної частини дисертаційного дослідження слід визначити залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння, в якості якої доцільно вибрати стохастичну характеристику, від точності проводки судна, що характеризується типом закону розподілу похибки бокового відхилення судна від траєкторії та параметрами закону. Також необхідно

сформулювати параметри стислих умов водного шляху, в якому відбувається проводка судна, з подальшою розробкою процедури їх формалізації.

Для дослідження впливу похибки навігаційної інформації на вірогідність безпечного плавання судна на ВШ в стислих умовах, що являється другою незалежною допоміжною задачею дисертаційного дослідження, потрібно визначити залежність кількісної оцінки безпеки судноводіння від точності проводки судна, яка характеризується типом закону розподілу похибки бокового відхилення судна від траєкторії руху та параметрами закону. Після чого необхідно знайти аналітичні вирази щільності похибки бокового відхилення для законів розподілу випадкових похибок, які використовуються в теорії похибок навігаційних вимірювань.

Для розробки способу оцінки вірогідності безпечного плавання імітаційним моделюванням за допомогою електронної карти необхідно використати інформацію карти району плавання, на яку програмним чином наносяться межі безпечної області плавання судна та планована траєкторія руху судна обраною ділянкою водних шляхів, в результаті чого формуються дані для розрахунку вірогідності безпечної проводки судна в стислих умовах.

Вирішення дисертаційного дослідження потребує розробки комп'ютерної програми для формування даних та необхідних розрахунків оцінки безпечного плавання. Цим визначається необхідність розробки наступних основних модулів комп'ютерної програми: модуль відображення на екрані монітору необхідної електронної карти; модуль інтерактивного введення меж безпечної області плавання та програмної траєкторії руху судна; модуль розрахунку значень меж безпечної області та програмної траєкторії руху судна та модуль розрахунку вірогідності безпечної проводки судна завданням стислим маршрутом.

2.4. Характеристика РІС технологій щодо забезпечення безпеки судноплавства

РІС це є концепція інформаційної підтримки для забезпечення безаварійного судноплавства на ВВШ (Внутрішні Водні Шляхи), а також управління транспортними коридорами під час навігації, із можливістю підключення свого інтерфейсу до суміжних транспортних сервісів. Потенціал РІС сприяє судноплавству на водних шляхах зайняти кращі позиції в транспортній європейській мережі, що знайшло відображення в документах UNECE (United Nations Economic Commissions for Europe), а також в документах річкових комісій Європи. У 2005 році UNECE прийняв і затвердив до використання в країнах Європи РІС Директиву яка призначена до імплементації доволі різних інформаційних центрів в єдиних стандартах щодо використання ключових технологій в мережах на ВВШ. Такими технологіями є наступні:

Інформаційний сервіс фарватеру;

Інформація трафіку: а) тактична інформація;

б) стратегічна інформація;

Інформація щодо менеджменту трафіку:

а) локальний трафік менеджмент (СУРС), на шлюзах та мостах ;

б) планування трафіку;

Інформація, що допомагає попередженню зіткнень суден;

Інформація щодо транспортної логістики:

а) планування рейсу;

б) транспортний менеджмент;

с) менеджмент порту і терміналу;

д) вантажний та судновий менеджмент;

Законодавча інформація;

Статистична інформація;

Інформація щодо водних та портових зборів.

Усі вищеназвані технології залучені до одного з перспективних напрямків розвитку РІС – це менеджмент судноплавними коридорами, сприяючий формуванню представлення VTM (vessel traffic management) and TM (transport management) на судноплавних коридорах водних шляхів Європи і України для покращення позицій внутрішньої навігації в транспортній мережі. Попередній аналіз показує, що водні шляхи будуть розвиватися за принципом формування судноплавних коридорів.

Трафік менеджмент, включаючи шлюз та міст менеджмент, і транспортний менеджмент в транспортному коридорі потребує інтегральну мережу де виконавчий інформаційний сервіс для користувачів виступає інтерактивною часткою рейсового процесу планування. В разі коли під час рейсу планується перетинати багато об'єктів (шлюз, міст), різноманіття характеристик цих об'єктів дозволяє розробити базу даних для коридору і трафік менеджменту. Все це і визначає вимоги для розробки стратегії VTM, що призначена для оптимізації транспортної спроможності та забезпечення надійного прогнозу розрахунків часу перебування на різних етапах рейсу, а також оптимального використання часу руху на фарватері, в шлюзі та під мостом. Менеджмент руху судноплавним коридором має за мету створення спільної національної та європейської міжнародної сервісної мережі задля забезпечення суден навігаційною та іншою інформацією щодо безпечного та ефективного функціонування флоту. Менеджмент транспортного коридору передає додаткову інформацію для роботи існуючого РІС, для того щоб забезпечити покращення роботи серверу для користувачів на водних шляхах під час переходу. Очікується, що менеджмент сервіс транспортного коридору сприяє покращенню інформаційного забезпечення судна для підвищення ефективності виконання рейсового завдання на водних шляхах і взаємодії з логістичними центрами. Таким чином РІС призначенням в менеджменті коридорі є допоміжна функція в транспортному менеджменті і стає важливою частиною РІС Трафік Менеджменту.

Менеджмент Коридору це інформаційний сервіс, що об'єднує

адміністрацію фарватеру і користувачів на ВВШ, а також логістичні центри для оптимізації внутрішньої навігації в коридорі із мережею на ВВШ. Менеджмент коридору потребує розподілу інформації між адміністрацією та кооперацією державних і приватних партнерів, і є необхідною умовою для підтримки відповідного рівня навігаційної безпеки та використання існуючої інфраструктури.

Розглянемо три різних рівня Менеджменту коридору, а також різницю між виконавчими сервісами в цих рівнях виходячи із того, що вони побудовані не в ієрархічному порядку.

1. Менеджмент коридору це сервіс який включає можливість планування рейсу суден і забезпечується динамічною і статичною інформацією щодо інфраструктури.

2. Менеджмент коридору це сервіс який включає можливість розрахунку часу рейсу для його планування і менеджменту трафіку для отримання наступної інформації за трафіком:

а) розглянуте актуальне використання мережі на водних шляхах (н.п. час очікування);

б) розглянуте прогнозування на запланованому маршруті (н.п. час очікування в коридорі).

3. Менеджмент коридору це сервіс який допомагає транспортному менеджменту під час складання логістичних схем. Для менеджменту коридора, користувачі і спеціалісти операційного сервісу матимуть переваги від індивідуального інформаційного доступу для отримання інформації щодо міжнародного рейсу.

Користувачі матимуть можливість доступу до наступного типу інформації:

FIS : забезпечення інформацією від Фарватерного Сервісу, підключеного до єдиної європейської мережі або коридора;

TIS : забезпечення інформацією від Трафік Сервісу, підключеного до єдиної європейської мережі або коридора;

TM : забезпечення інформацією від Трафік Менеджмент Сервісу, підключеного до єдиної європейської мережі або коридора;

ST : забезпечення інформацією від Сервісу Статистичних Даних, підключеного до єдиної європейської мережі або коридора;

Оперативний Сервіс потребує таку інформацію яка відображає специфічні дані про судно: координати судна; габарити судна;

інформація про рейс судна та про вантаж судна.

Обмін приватною або економічною інформацією з приватними партнерами базується за правилами обов'язкової їхньої авторизації або легалізації. Інформація буде доступною лише для авторизованих користувачів з одиночного або контрольованого пунктах входу до системи. Забезпечення цією інформацією є прерогативою підрозділу PIC так званого інформаційного сервісу транспортної логістики.

Технічний Сервіс PIC. PIC базується на технічному Сервісі який спроможний полегшати обмін інформацією щодо:

Інформації яка стосується інфраструктури фарватеру:

Статичний фарватер і інформація інфраструктури, що представлена на ENC;

Динамічний фарватер і інформація інфраструктури, яка змінюється, це наприклад NtS, NtM, AIS;

Динамічна і Статична інформація щодо судна, це VTT сервіс;

Електронний звіт щодо рейсу та вантажу судна;

Технічний сервіс PIC базується на морському типі і має глобальний устрій:

ECDIS є стандартизований ІНО;

AIS є стандартизованою союзом ITU and комісією ІЕС. Порядок дотримання стандарту AIS було визначено ІМО і розроблено асоціацією IALA;

Стандарт EDIFACT опубліковано UN-CEFACT сумісно з IFTDGN повідомленням і частково компановано у вигляді ІМО FAL форм;

NtM послідовно відображає зміст керівних документів ІНО/ІМО призначених для передачі навігаційних попереджень.

В різних регіонах світу зустрічаються незначні регіональні відмінності в технічному сервісі PIC, які також стандартизовані і використовуються

Європейськими стандартами для технічного сервісу PIC є Inland ECDIS, ERI, Inland AIS and NtS.

В США та в Росії, PIC Технічний сервіс використовує такі стандарти як морський AIS and Inland ECDIS.

В табл. представлена інформація щодо використання стандартів в різних країнах світу.

Таблиця 2.7.- PIC Технічний сервіс в країнах світу

Функції	статична інформація інфраструктури	динамічна інформація інфраструктури	vessel traffic management	Електронний звіт рейсу та вантажу судна	Reference data
1	2	3	4	5	6
Стандарти морські	ECDIS (ІНО S52/ S57) (S100ff)	Nt Mariners (S-124)	AIS	EDIFACT	UN locodes/ IMO Number
Стандарти ЄЕС	Inland ECDIS	Notices to Skippers	Inland AIS	ERI	RIS Index ENI/Hull data
Стандарти США	Inland ECS	eMSI	AIS+ASM	tbd	Master docks
Стандарти РФ	Inland ECDIS	Notices to Skippers	AIS	tbd	UN locodes

2.5. Висновки за другим розділом

В другому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання чинників, що впливають на безпеку проводки суден на водних шляхах. Виконано обґрунтування теми наукового дослідження та його методологічного забезпечення. Проведена розробка технологічної карти дисертаційного дослідження, яка показує методологічну структуру дисертаційної роботи та її методологічне забезпечення.

Технологічна карта містить формулювання мети дисертаційного дослідження та його головної задачі, в ній показано розділення головної задачі на три складові задачі. Викладено гіпотезу наукового дослідження дисертації та визначено наукову новизну роботи, яка була одержана при рішенні складових задач дослідження.

У цьому розділі показано, що дисертаційному дослідженню притаманні значущість і практична цінність. Визначено основне наукове положення роботи та приведена стисла методика рішення задач дисертаційного дослідження, із зазначенням основних етапів дослідження з урахуванням теоретичних розробок та комп'ютерного моделювання.

В розділі дисертаційної роботи розглянуто питання концепції інформаційної підтримки для забезпечення безаварійного судноплавства на ВВШ, а також управління транспортними коридорами під час навігації.

РОЗДІЛ 3.

ОЦІНКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОГО ПЛАВАННЯ СУДНА В СТИСЛИХ УМОВАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІС

3.1. Методи трансформування навігаційної інформації за допомогою РІС індексації

Водний транспорт - складова частина єдиного транспортно-дорожнього комплексу країн Європи, має переваги в плані безпеки, економічності, екологічної чистоти і являє собою реальну альтернативу перевантаженої мережі автодоріг України та Європи.

Для забезпечення безпеки і ефективності транспортного процесу на водних шляхах (ВШ) проводиться робота, щоб зв'язати структурні елементи транспортного процесу єдиною архітектурою, для підвищення ефективності взаємодії з урахуванням інтермодальності перевезень. Це можливо тільки при впровадженні нових технологій роботи транспорту і застосуванні нових підходів до побудови транспортної мережі, що дозволить подолати ряд проблем.

Однією з них є необхідність тісної координації і взаємодії наземного, водного і повітряного видів транспорту на основі широкого впровадження логістичних підходів, автоматизованих систем управління перевізним процесом. Для цього і треба було створення річкових інформаційних служб (РІС). Забезпечення безпеки судноплавства і системи руху суден при інтермодальних перевезеннях на водних шляхах України та європейських держав гармонізуються за допомогою єдиного міжнародного підходу до річковим інформаційних служб (РІС) [36-40]. Гармонізовані РІС охоплюють водні шляхи на ділянках судноплавних річок, підхідних каналах, озерах, водосховищах і портових водах на територіях, що виходить за межі кордонів держав. У координаційних центрах зон охоплення РІС створюються

регіональні служби руху суден (СДС).

У складі РІС головний центр (ГЦ РІС), регіональний центр (РЦ РІС) та автоматичні пости (АП РІС) збирають, обробляють, оцінюють і поширюють інформацію про судноплавні шляхи, рух суден та перевози, застосовують технічні системи: радіозв'язок, мобільні системи передачі даних, ГНСЗ, Інтернет, IECDIS для внутрішнього судноплавства та системи автоматичного виявлення і відстеження судів, IAIC(для судноплавства на ВШ). Додатково РІС сприяють підвищенню безпеки та ефективності експлуатації суден за допомогою [41-42]:

- відстеження суден обладнаних системами, адекватними для передачі та прийняття доступної інформації РІС у зоні дії за допомогою AIS, встановлення зв'язку та реєстрація даних;

- інформаційну підтримку навігаційної безпеки при провідках суден шляхом передачі на борт судна гідрометеорологічної та гідрографічної інформації, відомостей про зміни в роботі та позицій засобів навігаційного обладнання (ЗНО), інформацію про стан руху й про роботи, впливаючи на безпеку руху суден в зоні дії РІС та представлену в електронному форматі на офіційному вебсайті РІС, з оновленням розміщеної на ньому інформації;

- сприяння безпеці судноплавства у відповідному регіоні шляхом організації руху суден, надання судноводіям рекомендацій, що стосуються черговості руху, часу початку руху, маршруту, швидкості та інтервалів руху, місця якірної стоянки;

- встановлення зв'язку між суднами, береговими організаціями та службами з питань, пов'язаних із забезпеченням безпеки руху суден і ефективності перевезень, сприяння службам транспортної логістики портів у забезпеченні ефективності перевезень на ВШ та створення бази даних РІС;

- взаємодія з відповідними службами ВШ інших країн, для забезпечення виконання завдань- шляхом обміну інформацією про судноплавство в зоні дії РІС, що здійснюється в установленому порядку, щодо збирання, обробки, поширення інформації відносно стану судноплавних шляхів, руху суден та

перевезення вантажів та пасажирів;

- організація професійної підготовки, навчання судноводіїв, операторів та персоналу РІС, а також користувачів РІС;

Радіообмін РІС із суднами, а також інформація про поточну судноплавну обстановку в зоні дії РІС повинні реєструватися та зберігатися на електронних носіях для їх подальшого використання: у ГЦ РІС -поточна судноплавна обстановка, у РЦ РІС -радіообмін із суднами.

Обмін електронними повідомленнями між РІС та суднами здійснюється за допомогою БС АІС.

Радіозв'язок між РІС та суднами здійснюється під час несення постійної радіовакти на оголошених робочих каналах у зоні дії РЦ РІС в діапазоні частот морської рухомої служби (смуги радіочастот 156,025-157,925 МГц та 160,625-162,025 МГц), згідно з правилами судноплавства у відповідній зоні у напрямках «берег -судно», «судно -берег», «судно -судно» здійснюється виключно. У разі відсутності радіозв'язку між судном та РІС передача повідомлень на судно здійснюється за допомогою АІС або через судна-посередники. Судноводії повинні підтвердити через засоби зв'язку одержання інформації від РІС.

Інформація про межі зони дії РІС, перелік послуг РІС, робочі канали радіозв'язку, перелік інформації, яку судна повинні передавати до РЦ РІС, розміщується на офіційному веб сайті РІС за допомогою електронних повідомлень судноводіям (NtS, notices to skippers). Інформація про зміну відомостей щодо РІС має бути своєчасно доведена до відома судноводіїв шляхом розміщення її на веб сайті РІС, передачі по ДВЧ-зв'язку або за допомогою NtS.

Під час заходження судна в зону дії радіозв'язку РІС судноводії встановлюють зв'язок з РЦ РІС, для надання РІС інформації про судно та отримання даних стосовно навігаційних умов плавання та питань, пов'язаних із безпекою руху суден. Судноводії повідомляють оператору РЦ РІС відомості: категорія (тип) судна; назва судна; місцезнаходження судна,

напрямок руху; номер судна за судновим реєстром, для морських суден - номер ІМО; дедвейт (повна вантажопідйомність); габарити судна або складу суден, що буксируються; маршрут судна; порт призначення; характер, кількість вантажу (для небезпечних вантажів - найменування речовини та клас); відомості про сигналізацію, необхідну під час перевезення небезпечних вантажів; кількість людей на борту судна; кількість контейнерів на борту.

РІС працюють на різних інформаційних рівнях. Інформація про фарватери (ІФ) містить статистичні та оперативні навігаційні та гідрометеорологічні дані про ВШ, які необхідні користувачам РІС для планування, здійснення і контролю за проводкою суден. ІФ носить односторонній характер: передається береговою службою судну або від берегової служби в офіс (користувача).

Інформація про рух включає відомості про судна в зоні РІС, можна поділити на тактичну і стратегічну. Інформація надається у вигляді тексту та графічного відображення. Тактична інформація про рух (ТІД) - це інформація, яка дозволяє судноводіям та операторам СДС негайно приймати рішення, що стосуються судноводіння в реальних умовах руху суден на обмеженому водному просторі. Тактична картина руху містить інформацію про місцезнаходження судна і важливу для судна інформацію про всі об'єкти, виявлених радіолокатором і відображених на електронній навігаційній карті і доповнюється зовнішньою інформацією про рух, що поставляється АІС. ТІД можна отримувати на борту судна і в центрі СДС.

Стратегічна інформація про рух (СІД) являє собою відомості, які допомагають користувачам РІС приймати середньострокові і довгострокові рішення. СІД покращує можливості прийняття рішень на стадії планування, забезпечуючи безпечне і ефективне плавання, готується в центрі РІС і передається користувачам на їх запит. Стратегічна картина руху охоплює всі відповідні судна в зоні РІС з їх характеристиками та місцем розташування, ці відомості зберігаються в базі даних і подаються в табличній формі або на

електронній карті. СІД про рух може надаватися центром РІС / СДС або може бути отримана в офісі.

Виявлення та відстеження суден: Під виявленням суднів розуміється отримання статистичної інформації про судно, в тому числі про його місцезнаходження і характеристики. Під відстеженням судів розуміється оновлення інформації, що стосується місця судна, і при необхідності, інформації щодо вантажу, умов перевезення і обладнання.

Суднам, що здійснюють плавання на ВІШ в зоні дії РІС, рекомендовано використовувати інформацію, яку надає РІС. Рішення щодо фактичного плавання і маневрування судна приймає судноводій з урахуванням інформації РІС.

З 2000 року важливу роль у розробці цих технічних стандартів відіграють експертні групи з РІС, які забезпечують гармонізовану розробку та підтримку стандартів РІС і діють у якості консультативних органів з питань стандартизації РІС таких організацій як: Європейська комісія, Центральна комісія судноплавства по Рейну, Дунайська комісія та ЄЕК ООН. Стандарти для технологій РІС, як Повідомлення судноводіям, Формат передачі електронних повідомлень були офіційно прийняті ЦКСР, ЄЕК ООН та Дунайською комісією. Передача електронних судових повідомлень є обов'язковою відповідно до вимог національних або міжнародних правил, компетентні органи повинні мати змогу отримувати стандартизовані електронні судові повідомлення з необхідними даними від суден, як це передбачає Регламент Комісії щодо електронних судових повідомлень [55-57].

При транскордонних перевезеннях інформація, що надається шляхом електронних судових повідомлень, передається компетентним органам прикордонної країни до прибуття суден на кордон. Адміністрації водних шляхів зобов'язані надавати повідомлення судноводіям у формі стандартизованих, зашифрованих та завантажуваних повідомлень відповідно до Регламенту Комісії щодо Повідомлень судноводіям.

Суднові повідомлення необхідні для служби стратегічної інформації про рух, для управління рухом суден, а також з метою запобігання аварійних ситуацій. Передача електронних повідомлень, будучи альтернативою друкованим або усним повідомленням, забезпечує обмін даними між суднами і центрами управління рухом різних адміністрацій. Всі описи повідомлень базуються на стандарті ЕДІФАКТ ООН. Для подання даних про перевезення і передачі повідомлень між адміністраціями у внутрішньому суднопластві використовуються повідомлення ERINOT (Electronic reporting international notification). Повідомлення ERINOT складено на основі передбаченого ЕДІФАКТ ООН повідомлення "Міжнародне повідомлення про відправку і перевезення небезпечних вантажів" (IFTDGN 98B). Воно сумісне з форматом повідомлень PROTECT 1.0, використовуваним в портах Північної Європи. Ця процедура забезпечує відповідність між морським і внутрішнім судноплаством в питаннях перевезень небезпечних і забруднюючих вантажів. Наявність деяких відкритих можливостей в повідомленні IFTDGN дозволило розширити формат ERINOT і використовувати його для передачі повідомлень про небезпечні вантажі.

Для передачі повідомлень з адміністрації на судно використовується формат ERI для повідомлення-відповіді ERIRSP. Формат ERIRSP є похідним від повідомлення ЕДІФАКТ ООН "APERAK". Застосування спеціальних відповідної класифікації та переліки кодів кодів в електронних повідомленнях дозволяє оптимізувати інформаційні потоки [55-57].

В багатьох країнах були впроваджені інтернет-сервіси для імплементації автоматичної системи «Повідомлень судноводіям» з використанням програмного забезпечення Notice to Skippers (NtS) повідомлень судноводіям. Більшість існуючих служб надають інформацію на національній мові. Повідомлення пов'язані з безпекою або важливими даними для планування рейсів. Наявність NtS на всіх мовах сприятиме підвищенню безпеки та конкурентоспроможності внутрішнього суднопластва. NtS це міжнародний стандарт поширення повідомлень

судноводіям на ВВШ, встановлений Центральною комісією судноплавства по Рейну та Регламентом Комісії (ЄС), що стосується технічної специфікації, це зазначено в статті 5 Директиви 2005/44 / ЄС Європейського парламенту та Ради річкових інформаційних служб (RIS) внутрішніми водними шляхами в межах Співтовариства.

На рис. 3.1. - Зображена структура забезпечення NtS.

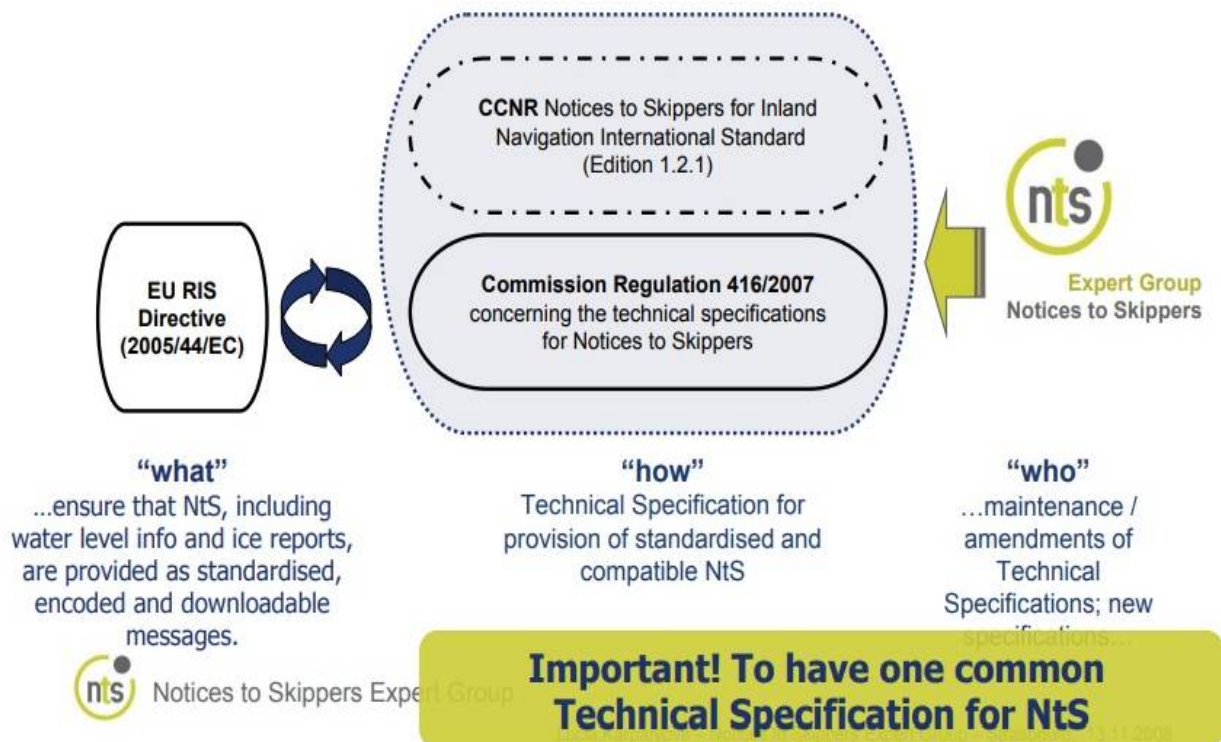


Рис. 3. 1. – Структури забезпечення NtS

Структури, використовуючі цей стандарт, інтегрують повідомлення судноводіям інших органів та країн в свої служби. Приймаючи участь сторони (органи) можуть узгодити процедуру передачі повідомлень XML безпосередньо або через сервіси «push» або «pull». 15.11.2011 експертна група NtS розробила та схвалила стандартизований метод обміну повідомленнями за допомогою технології веб-сервісу (WS). Загальна концепція веб-служб NtS - версія 1.0.3.0 - була впроваджена та діє в Австрії, Німеччині та Словаччині (з квітня 2014 р.). WS забезпечує більш простий і

безпечний спосіб обміну повідомленнями між судноводіями, а також приватними компаніями та додатками (наприклад, інтеграція відображення NtS в засобах перегляду ECDIS для внутрішнього судноплавства).

Зміст NtS:

Повідомлення для судноводіїв - це повідомлення з навігаційною інформацією для внутрішнього плавання про географічні об'єкти або ділянках водного шляху.

NtS мають такі інформаційні розділи (рис.3.2.):

- а). Ідентифікація повідомлення;
- б). Повідомлення про фарватер і рух;
- в). Повідомлення про рівень води, такі як:
повідомлення про рівень води; найменша глибина;
вертикальний зазор; статус загородження;
режим повідомлень;
прогнозований рівень води; прогнозована найменша глибина;
- г). Повідомлення про погоду.
- д). Повідомлення про льодову обстановку.

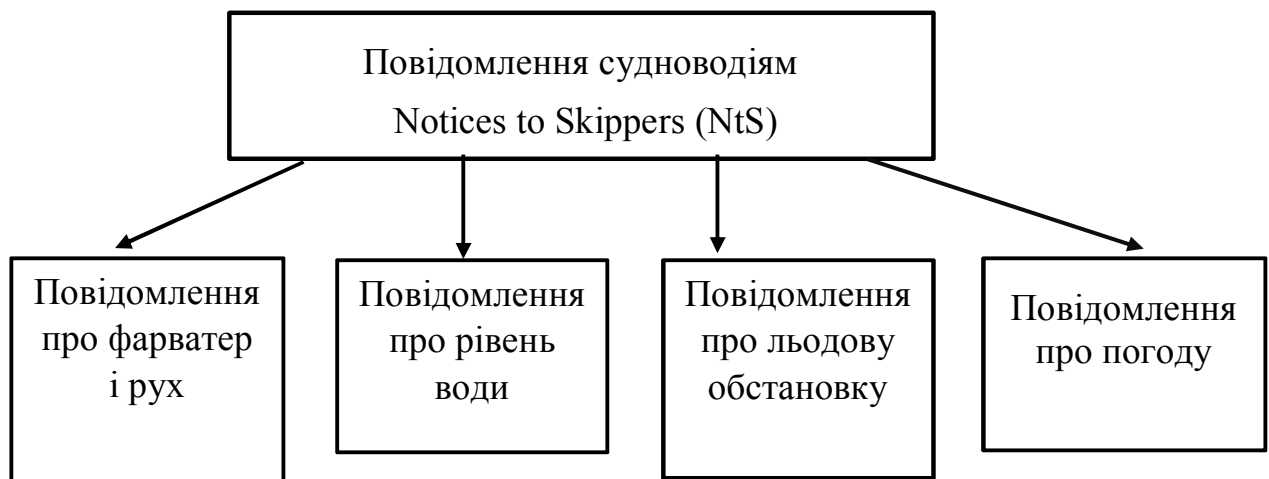


Рис. 3.2. – Типи повідомлень судноводіям

Елементи РІС повідомлень виглядають наступним чином (рис. 3.3.).

element RIS_Message

diagram

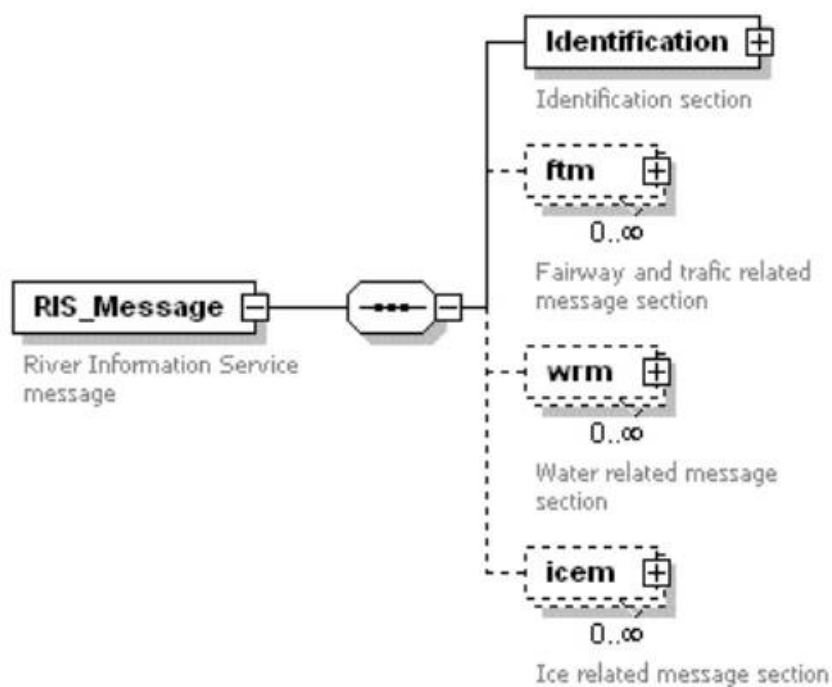


Рис. 3.3. – Елементи РІС повідомлення

На рис.3.4. зображена схема взаємозв'язку існуючих типів NtS.

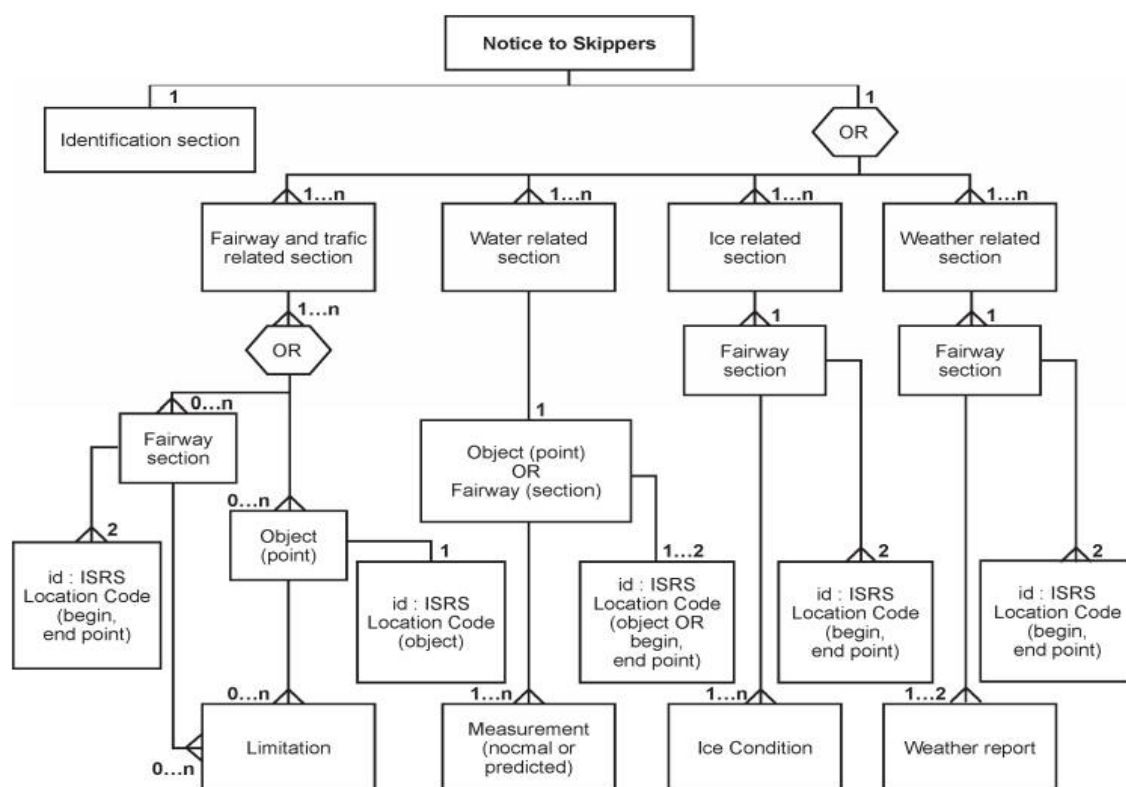


Рис.3.4. – Зображення схеми взаємозв'язку існуючих типів NtS

Стандартизоване повідомлення для судноводіїв в форматі XML містить 5 різних розділів:

- ідентифікація;
- повідомлення про фарватер і рух;
- повідомлення про рівень води;
- повідомлення про льодову обстановку;
- повідомлення про погоду.

В одному повідомленні NtS зазвичай заповнюються тільки два розділи: розділ ідентифікації і, щонайменше, один з наступних розділів (фарватер і рух, рівень води, льодова обстановка або погода).

Технічна специфікація NtS:

- автоматичний переклад змісту повідомлень(до 24 мов);

- надає стандартизовану структуру даних для інтеграції повідомлень в системі планування рейсу, які сумісні з навігаційними картами ECDIS для внутрішнього судноплавства;

- полегшує обмін даними між різними країнами;

- використовує стандартний словник в поєднанні зі списками кодів.

Міжнародний стандарт повідомлень судноводіїв сприяє підвищенню використання сучасних інформаційних технологій на борту суден на водних шляхах та, зокрема, поширення повідомлень судноводіям річковими інформаційними службами. Поширення повідомлень NtS без урахування кордонів і мовних зон сприяє підвищенню безпеки судноплавства та економічної ефективності. Міжнародний стандарт необхідний для забезпечення ефективного розподілу повідомлень судноводіям з боку річкових інформаційних служб.

У доповненні, ECDIS для внутрішнього судноплавства повинна одночасно знижувати робоче навантаження під час роботи на судні в порівнянні з традиційними інформаційними методами.

Режими поширення повідомлень судноводіям відповідно до стандарту можуть надаватися в Інтернеті (послуги вилучення) або поширюватися по

електронній пошті (послуги вилучення). «Pull services» інтернет-сервіси повинні надавати можливість вибору :

конкретної ділянки або певної частини водного шляху, що визначається по річці (милі або км) від початкової та кінцевої точки;

терміну дії;

дати публікації повідомлення;

NtS можуть бути відображені у вигляді простого тексту, побудованого з текстової маски та стандартизованих елементів мови (до 24 мов, доступних в стандартних перекладах довідкових таблиць, в тому числі болгарська, голландська, грецька, датська, естонська, німецька, іспанська, італійська, латиська, литовська, польська, португальська, румунська, сербська, словенська, словацька, угорська, хорватська, чеська, фінська, французька, шведська, англійська або російська.);

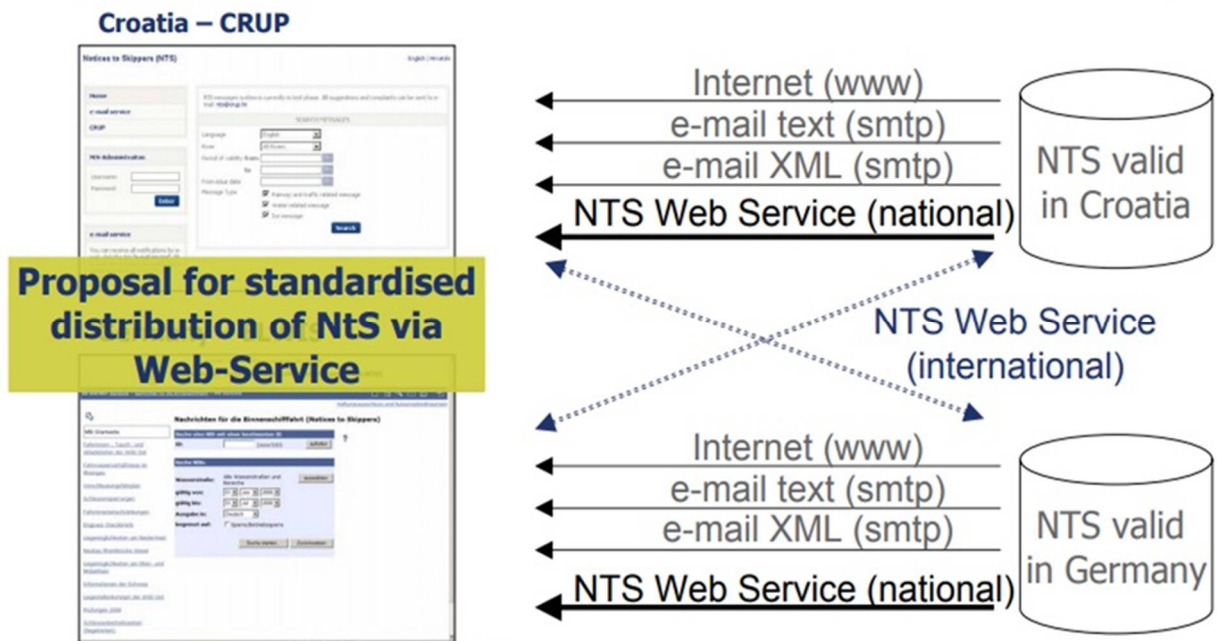


Рис. 3.5. – Веб-сервіси: специфікація и експлуатація

Розглянемо NtS в роботі, на рис. 3.6. - 3.8.

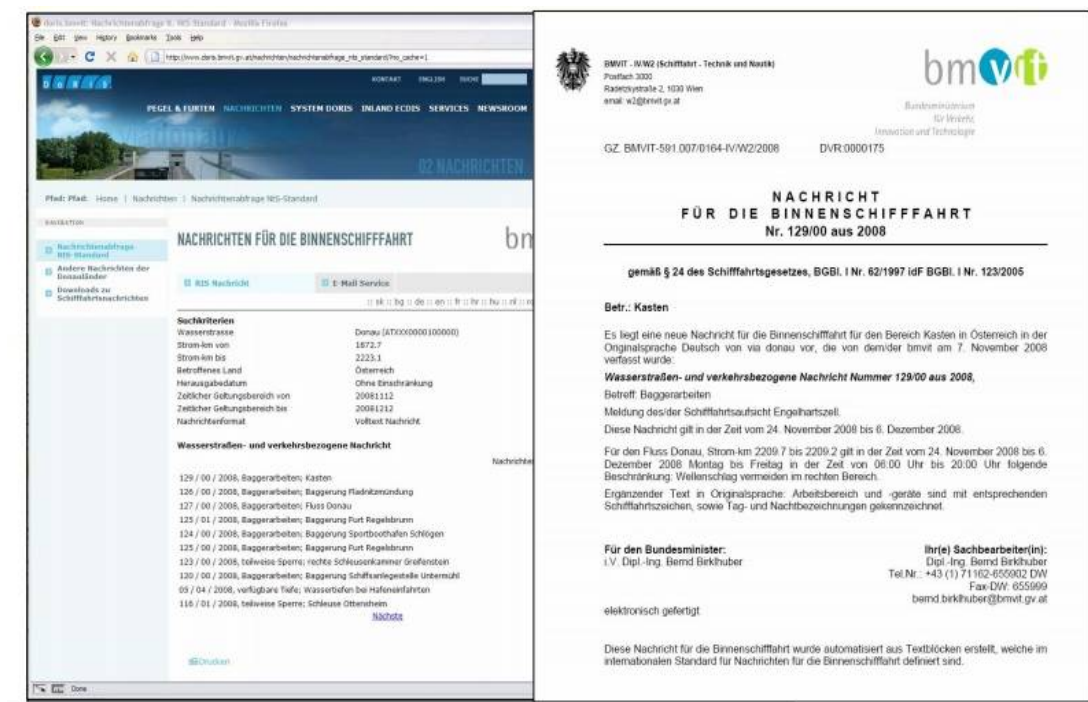


Рис. 3.6. – Робоча панель Notices to Skippers

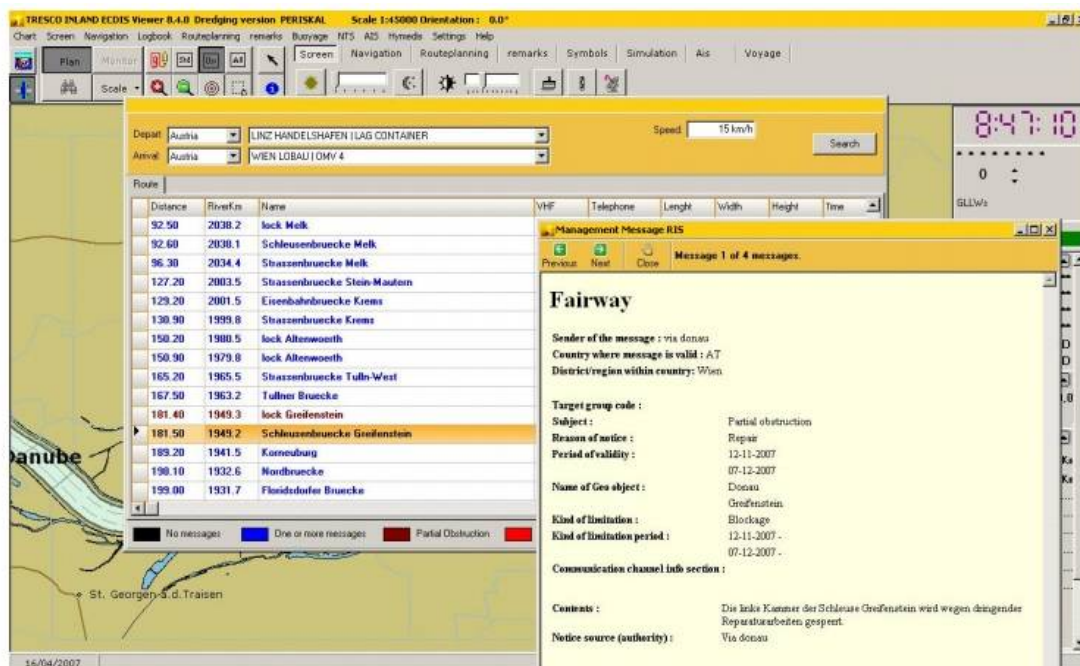


Рис. 3.7. – Робоча панель Notices to Skippers

Notices to Skippers

Portal
Messages
Search Messages
Subscription
Downloads
Scheduling
Water levels

Bandwidth
High Bandwidth
Low Bandwidth

Login...
Please enter your user ID and corresponding password to log on.
User ID:
Password:
Login
Reset password
Cookies have to be activated in order to log on.

Map of Flanders: 6/23/2014 - 6/30/2014

Map showing various locations in Flanders: Nieuwpoort, Zeebrugge, Oostende, Antwerpen, Herentals, Lommel, Mechelen, Turnhout, Genk, Hasselt, Lanaken, Zonhoven, Duffel, Broek, Wetteren, Dendermonde, Ruisbroek, Lembeek, and others.

List of Notices to Skippers : 6/23/2014 - 6/30/2014

Type: ☒ Fairway and traffic ☒ Urgent fairway and traffic ☒ Ice message ☒ Water related message ☒ Weather

From: 6/23/2014 Until: 6/30/2014 Object:

Title: **Search | Current messages**

	NTS no.	Title	From	Until
☐	2014/00000493/01 (WenZ)	Notice withdrawn - Verbindingskanaal te Nieuwpoort, St.-Jonissluis (Nieuwpoort) 2014/00000493/01 (WenZ)	6/23/2014	6/23/2014
☐	2014/00000534/00	Announcement - Kanaal Roesselaere-Leie km 16.0 (Ooigem)	6/23/2014	7/3/2014

Scheduling
sluis Genk
sluis Wiinegem
Sluizen te Evergem
Verbrande Brug
More

Water level (cm - TAW)
More

RIS Organisation
nv De Schepvaart
Havenstraat 44
3500 Hasselt
T 0800/30 440
T +32(0)11/29 84 00
F +32(0)11/29 85 65
e-mail: **RIS Hasselt**
Waterwegen en Zeekanaal
Nv
RIS Evergem
Ringvaartweg 1
9030 Manakerke
T 0800/30 440
T +32(0)9/253 94 71
e-mail: **RIS Evergem**

Рис. 3.8. – Приклади інструментів для відображення в Інтернеті

Робочі інструменти NtS можна розглянути на прикладі Австрійської веб-програми на рис. 3.9.

DORIS Nachrichten für die Binnenschifffahrt

Email: christoph.pisk@va-donau.at
Password:
Login
Registration e-mail service
Forgotten password
English (en)

Search for messages from other countries: ☒ Fairway and traffic related messages ☒ All message types ☒ Messages from other countries

The notices are retrieved directly from the authorities of the respective countries. In case the service is not available please visit the respective, national website, (see links next to the search mask)

Country: Germany Message type: Fairway and traffic related message (FTM)

Waterway: Valid from: 09.04.2014 Valid till: 09.05.2014

River km from: River km to: Date issue from: Date issue till:

Germany
Slovakia
Hungary
Croatia
Serbia
Romania
Bulgaria
France
Belgium
Netherlands
Czech Republic

Identification	Waterway section	Date issue	Valid from	Valid till	Text	Code	Info
621 / 00 / 2014, Clearance height; bulking work	Rhein (km 293.7)	09.04.2014	14.04.2014	14.07.2014	Text	Code	Info
619 / 00 / 2014, Blockage; bulking work	Mosel (km 78.4)	09.04.2014	09.04.2014	17.04.2014	Text	Code	Info
618 / 00 / 2014, Warning; fireworks	Weser (km 266.0 - 268.0)	08.04.2014	03.05.2014	03.05.2014	Text	Code	Info
617 / 00 / 2014, Announcement; event	Rhein (km 622.0 - 655.0)	08.04.2014	03.05.2014	04.05.2014	Text	Code	Info
616 / 03 / 2014, Blockage; lowering water level	Lahn (km 76.0), Lahn (km 83.2)	08.04.2014	21.04.2014		Text	Code	Info
614 / 00 / 2014, Partial obstruction; inspection	Weser-Datteln-Kanal (km 59.5)	08.04.2014	15.04.2014	15.04.2014	Text	Code	Info
613 / 00 / 2014, Partial obstruction; repair	Ruhr (km 2.8)	08.04.2014	15.04.2014	15.04.2014	Text	Code	Info
612 / 01 / 2014, No service; under water works	Elbe (Hafen Hamburg) (km 615.0)	08.04.2014	14.04.2014	14.04.2014	Text	Code	Info
609 / 00 / 2014, Blockage; work	Untere Havel/Wasserstraße (Spandau - Plaue) (km 55.6)	07.04.2014	07.04.2014		Text	Code	Info
608 / 00 / 2014, Blockage; event	Saale (km 37.8 - 39.0)	07.04.2014	12.04.2014	12.04.2014	Text	Code	Info

Рис. 3.9. – Зображення прикладу робочого дисплея NtS

NtS можуть бути надані для скачування та :

- a) у вигляді простого тексту;
- b) в якості тегів і значень;
- c) як машинозчитуваний XML-файл з мінімальним обсягом, який може бути переведений на мову користувача приймають додатком (спеціальне програмне забезпечення для повідомлень судноводіїв) з використанням довідкових таблиць або використано додатком, таким як планування рейсу, для подальших розрахунків.

Push services Повідомлення судноводіїв відповідно до цього стандарту можуть поширюватися по електронній пошті (по підписці):

у вигляді простого тексту;

в якості тегів і значень;

у вигляді машиночитаного XML-файла з мінімальним обсягом, який може бути переведений на мову користувача приймаючого додаток (спеціальне програмне забезпечення для повідомлень судноводіїв) з використанням довідкових таблиць або використано таких додатків, як планування рейсу або засіб перегляду ECDIS для внутрішнього судноплавства для подальших розрахунків.

Зображення входу в додаток NtS показано на рис. 3.10 - 3.11.

Subscription Notices to Skippers

If you have a user account, please [log on](#)

Registered users that do not have a user account

E-mail address:

Password: [\[Forgot password?\]](#)

Non-registered users

E-mail address:

Password:

Password (confirmation):

The minimum length is 6 and the maximum length is 16.
Each character can only be used 3 times.
A minimum of 1 special (non alphanumeric) characters must be used.

Рис. 3.10. – Приклад екрану NtS для передплатників

The screenshot displays a web form for managing user data. At the top, there are two tabs: 'User data' (active) and 'E-mail service'. The form is organized into three columns:

- Left Column:**
 - Email★**: Input field with 'robert.rafael@rsoe.hu'.
 - First name**: Input field with 'Robert'.
 - Address**: Input field with 'Elnök utca 1.'.
 - Country**: Dropdown menu showing 'Hungary'.
 - Telephone**: Input field with '+3613030168'.
- Middle Column:**
 - New password★**: Empty input field.
 - Last name**: Input field with 'Rafael'.
 - City**: Input field with 'Budapest'.
 - Company**: Input field with 'RSOE'.
 - Fax**: Input field with '+3614770549'.
- Right Column:**
 - Repeat new password★**: Empty input field.
 - Zip Code**: Input field with '1089'.
 - Default language★**: Input field with 'English'.

At the bottom, there are three buttons: 'Save', 'Cancel', and 'Delete account'.

Рис. 3.11. – Приклад управління аккаунта користувачем

Проведені дослідження застосування електронних суднових повідомлень на р.Дніпро, Дунай показали, що інформація щодо даних про судна та вантажі є надзвичайно важливою для усіх учасників процесу управління перевезеннями: адміністрацій, операторів шлюзів, аварійно-рятувальних служб, операторів портів, менеджерів флоту. Передача електронних повідомлень підтримує наступні служби: управління рухом, запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків, статистики та управління перевезеннями. Регламент Комісії щодо Електронних суднових повідомлень визначає повідомлення для інформації про рейс, вантаж, а також, про небезпечні вантажі, осіб на борту, сповіщення про прибуття та перед прибуттям, а також повідомлення для управління причалами.

Спосіб передачі повідомлень на р. Дніпро частково не відповідає Регламенту Комісії No 2019/1744. Повідомлення про рейс в УкрРІС передаються через ДВЧ-зв'язок (голосовий), а у деяких випадках – через загальнодоступну мобільну мережу (4G). Повідомлення містять інформацію про категорію вантажу (специфікація та кількість не повністю

повідомляються) і, якщо це стосується небезпечного вантажу, повідомляється його тип без уточнення кількості. Передача повідомлень є обов'язковою, але у проекті нового Закону про внутрішній водний транспорт передбачено більшу кількість інформації, що передається. Для збору та збереження повідомлень про рейси використовується електронний журнал (та база даних повідомлень). Отримані повідомлення про рейси також надаються організаціям, відповідальним за аварійне реагування та пошук і рятування. Передача повідомлень про рейс здійснюється на «вході» у річковий район. Відсутня інтелектуальна/автоматизована система зв'язку з «морськими портами», де доступна інформація про вантажі. Інформація АІС та журнал переданих повідомлень пов'язані. Шляхом геозонування АІС відбувається автоматична передача інформації про судна з журналу до нової ділянки річки – субцентру РІС, але система має часову дискретність на ділянках.

3.2. Метод динамічного відображення фарватеру на Inland ECDIS

З метою підвищення ефективності проводки суден на ВІШ України в зоні дії РІС, мають бути забезпечені необхідним обладнанням та системами ЕКНІС (ECDIS). Загальний склад радіо- та навігаційного обладнання суден, що здійснюють плавання на ВІШ в зоні дії РІС, визначається Правилами судноплавства на внутрішніх водних шляхах України [42-44,49].

Під ECDIS для судноплавства на ВІШ України - система відображення на електронних картах навігаційної інформації для судноплавства на морських та ВІШ, відповідно з європейським стандартом, прийнятим ЦКСР, ДК і ЄЕК ООН. ECDIS для внутрішнього судноплавства сумісна з морської ECDIS, що означає наступне: річкові судна, що ходять на морських шляхах за допомогою обладнання для ECDIS для внутрішнього судноплавства, отримують всю інформацію морської ENC.

Морські судна на ВІШ, застосовую обладнання морської ECDIS, не

отримують додаткову інформацію для внутрішнього судноплавства (сигнальні знаки на ВВШ). Морського та змішаного типу суднам рекомендується використовувати додаткові програмні бібліотеки для ECDIS, щоб отримувати картографічну інформацію ENC для ВВШ. ECDIS для ВВШ використовується в навігаційному та інформаційному режимах.

Під час використання ECDIS в навігаційному режимі, на відзнаку від інформаційного, додається радіолокаційна інформація про рух.

Система відображення електронних навігаційних карт для внутрішнього судноплавства (СВЕНКІ ВС) і додаткової інформації розроблена для сприяння безпеці та ефективності проводки суден і використовується для зменшення робочого навантаження під час судноводіння у порівнянні з традиційними методами навігації. СВЕНКІ ВС є основою для інших Річних Інформаційних Послуг [48-55] Специфікації продукту СВЕНКІ ВС для Електронних навігаційних карт для внутрішнього судноплавства та Виданні 2.4 Бібліотеки відображення даних для СВЕНКІ ВС. Видання 2.4 також містить Специфікацію продукту для батиметричних ЕНК ВС.

Регламент Комісії базується на результатах стандартизації Європейської експертної групи з СВЕНКІ ВС, Групи з гармонізації ЕНК для внутрішнього судноплавства та Експертної групи з СВЕНКІ ВС. СВЕНКІ для морського судноплавства та СВЕНКІ ВС базуються на схожих характеристиках програмного забезпечення, але використовують різні Каталоги характеристик, Переглядові Таблиці, Бібліотеки Символів та Процедури умовної символіки. Прикладні програми СВЕНКІ, що містять тільки Предметний Каталог та Бібліотеку відображення даних СВЕНКІ для морського судноплавства, не показують типи предметів, які було додано для внутрішніх водних шляхів. Міжнародна гідрографічна організація (МГО) визнала Групу з гармонізації електронних навігаційних карт для внутрішнього судноплавства компетентною Експертною групою з стандартизації СВЕНКІ ВС та включила її до робочої групи МГО з розробки майбутніх стандартів ЕНК.

Електронна карта, розроблена за стандартом СБЕНКІ є інформаційною системою, що не тільки забезпечує графічне відображення об'єктів, але й дозволяє своїм користувачам надавати інформацію про них. Існують принципові відмінності між оперативним використанням ЕНК для внутрішнього судноплавства та ЕНК для морського судноплавства. ІЕНС базується на морському стандарті ENC, доповненим спеціальною інформацією для використання при плаванні на ВВШ. Це означає, що судна типу «море-річка» на морській ділянці водних шляхів із застосуванням ІЕНС мають необхідну інформацію з морських ENC. Морські судна під час плавання на ВВШ із застосуванням морських ENC можуть отримати всю інформацію, яка присутня в бібліотеці морських шляхів, але не можуть отримати додаткову спеціальну інформацію стосовно річкових ділянок. ІECDIS використовує європейський стандарт для регулювання ІЕНС, а також для облаштування устаткування щодо відображення ІЕНС на дисплеї комп'ютера. Особлива увага приділяється Навігаційному блоку, де ІECDIS інтегрується з радаром на дисплеї комп'ютера.

Суднам типу «річка-море» рекомендується використовувати додаткову програму щодо отримання ІЕНС інформацію. ІECDIS повинен використовувати картографічну інформацію (ІЕНС, Стандарт ІНО S57 (ed.3.0)). Відображення інформації відповідає Стандарту ІНО S52 (ed.3.0).

Рекомендується відображати глибини ІЕНС (ізобати) на мілководді відповідно до осідання судна. Ізобати можуть бути відображені як відносно до референсної системи відліку, так і до актуальної.

ENC для ВВШ України підпорядковані єдиному європейському стандарту ІЕНС та устаткування для них. Карти ІЕНС базуються на розробках і рекомендаціях ІЕНГ. В ІECDIS можна використовувати навігаційний або інформаційний блок. В інформаційному блоці використовують ІЕНС без інформації про трафік з зображенням радарної картини. Навігаційний блок ІЕНС має найвищий рівень для виконання безпечної навігації. ІECDIS устаткування для навігаційного блоку повинно

бути сертифікованим компетентними органами. Навігаційний блок IENC повинен бути сертифікованим авторитетним органом на ВВШ.

Обмін статичною і динамічною інформацією щодо судна, а також обмін даними типу судно-судно або судно-берег під час рейсу виконується за допомогою суднового обладнання автоматичної ідентифікаційної станції (AIC). Отримана інформація на судні або на березі за допомогою AIC дозволяє автоматично відображати інформацію про позицію та ідентифікацію, пройдений маршрут судна на відповідному дисплеї (РЛС або IECDIS) і є додатковим джерелом навігаційної інформації. Усі судна, облаштовані AIC можуть отримувати статичні і динамічні дані від інших суден, а також AtoNs, які облаштовані AIC приладами, в тих місцях де є VHF покриття. IAIS може використовуватись спільно із IECDIS або РЛС для підсилення TTI і STI. Берегові базові станції збирають і передають до РІС центру суднові дані, для використання в TTI і STI, і передають термінову інформацію стосовно безпеки плавання на судна. Особливістю AIC є автономний режим, в якому використовується процедура SOTDMA (самоорганізований багаторазовий доступ із розділенням каналів за часом).
Типи AIC:

- a) AIC мобільні станції Клас А використовують на всіх морських судах за вимогами ІМО;
- b) AIC мобільні станції Клас В з обмеженими функціями, використовують на прогулянкових судах;
- c) Мобільні станції IAIS є похідними від мобільних станцій AIS Класу А в повній комплектації VDL рівня з додатковими функціями щодо навігації на ВВШ;
- d) Базові станції AIS, станції VDES, які включають берегові симплексні ретрансляційні станції;
- e) AIS навігаційні сигнальні станції для використання сигнального обладнання, такого наприклад як буї та бікони (AtoN).

IAIS це європейський стандарт для визначення та спостереження за

судном. Він повністю базується на морському стандарті AIS, але з додатковою функцією спеціальних повідомлень (ASM) для передачі інформації, щодо ВВШ. Деякі повідомлення мають бути інтегровані до AIS мережі, для того щоби вони могли бути відображені на дисплеї IECDIS. IAIS і морська AIS являються сумісними. Усі дані, що передаються в мережі AIS можуть бути отримані як морською, так і IAIS. Специфічна інформація щодо ВВШ може бути переданою і оціненою тільки за допомогою пристроїв IAIS. IAIS є інструментом для визначення та спостереження за суднами під час їх навігації з метою підвищення безпеки та ефективності, щодо навігаційної підтримки RIS операційних служб задля прийняття оперативних рішень на борту, таких як TTI and STI, TM (Traffic Management), VTS, LBM (Lock and Bridge Management), TP (Traffic Planning), CAS (Calamity Abatement Support), ITL (Information for Transport Logistics) і ILC (Information for Law Compliance). Морські AIC налаштовані відповідно до виконання конвенції SOLAS. Розглянемо інформаційні аспекти та критерії щодо використання IAIS на європейських водних шляхах:

1) Інформацію, що передається в мережі AIC можна розділити на такі категорії:

a) Статична інформація, така як наприклад номер судна, позивний, назва судна, тип судна.

b) Динамічна інформація, така як місцезположення судна с даними про точність його визначення.

c) Інформація, що стосується рейсу судна, така як наприклад довжина та ширина судна, небезпечний вантаж.

d) Специфіка для IAIS потребує наявності такої інформації як:

Стандартний ENI (European Vessel Number);

Тип і склад транспортного засобу (конвою);

Тип блакитного сигналу/вогню як ADN;

ETA (Estimated Time of Arrival) до шлюзу, мосту, терміналу або кордону.

2) Для передачі повідомлення мережею IAIS в ЄС використовують

такі ж самі параметри і таку ж саму структуру що і AIS мобільні станції Class A, які стандартизовані в ІМО для морської навігації (ІМО AIS). Поле з невизначеними параметрами визначається як «not available». Елементи із символом (*) повинні відображатись як морські судна.

3) При використанні ІАІS на ВВШ та виникненні змін капітан повинен надати таку інформацію на початок рейсу:

- Коректний навігаційний статус;
- Тип і склад транспортного засобу (конвою);
- Довжину та ширину судна;
- Категорію небезпечного вантажу;
- Осадку судна;
- Характер завантаженості судна;
- Порт призначення та ЕТА.

З 2018 р тільки на деяких ділянках Європейських ВВШ використовують електронну звітність, достатньо розроблену, стандартизовану, зрегульовану і введена в експлуатацію.

В Україні цей процес знаходиться в стані розробки.

ERI це є технічний сервіс RIS, що полегшує експлуатаційні можливості RIS такі як, STI (Strategic Traffic Information) TM (Traffic Management), CAS (Calamity Abatement Support), ST (Statistics), ILC (Law Compliance), CDH (Waterway Charges and Harbour Dues), а також TL (Transport Logistics).

1) ERI на ВВШ допомагає покращити електронний обмін даними EDI (Electronic Data Interchange) між партнерами з навігаційного сектору в мережі мультимодального транспорту, запобігаючи дублювання інформації щодо інформування про рейс як відповідальним робітникам, так і комерційним структурам.

2) Електронна звітність допомагає покращити безпеку судноводіння, а також зменшити вірогідність можливого зіштовхнення суден, і тому повинна бути обов'язковою.

3) Обмін даними ЕТА/RTA та іншими даними щодо рейсу за

допомогою Електронної звітності зменшує необхідність голосового спілкування через VHF зв'язок, а також виключає можливість отримання помилкової інформації щодо її вербального передавання.

4) ERI не тільки зменшує адміністративні перешкоди, а ще й звільняє від необхідності мати справу із фізичними документами.

5) ERI включає такі повідомлення:

a) судно – берегова адміністрація: рейсові повідомлення-транспортні повідомлення про стан судна щодо вантажу із юридичним супроводженням, там де потребує адміністрація. Повідомлення про час проходження шлюзів, мостів, а також трафік центрів.

b) адміністрація – адміністрація повідомлення включає інформацію про вантажний стан судна та із якого юридичного району в який судно слідує;

c) адміністрація – судно повідомлення в основному відображають характер відповідальності вищевказаних повідомлень і також можуть включати динамічну інформацію щодо стану фарватеру, наприклад NtS, або інформацію про зміни в рейсі.

Транспортна інформація передається компетентним органам про наміри щодо виконання рейсу і призначення судна, а також про специфіку вантажу або коли судно буде рухатись порожнім.

Інформація про коливання рівня води на ВШ важлива для безпеки судноплавства при плануванні та виконанні рейсів, особливо в трансгранічних районах. У зв'язку із застосуванням національних стандартів кодування інформації про рівень води (ФРН використовує «gleichwertiger Wasserstand» - Glw («рівнозначний рівень»), а Дунайська комісія рекомендує «Regulierungs Niederwasser» («Низький судноплавний і регуляційний рівень» - НСРУ)), які мають деякі відмінності при отриманні навігаційної інформації в результаті обробки даних водомірних постів одного басейну річка, прив'язаних до різних морів, що може сприяти виникненню інформаційної похибки.

Сучасні методики розрахункових додатків РІС дозволяють мінімізувати вірогідність похибки на ряді ділянок ВІШ під час функціонування РІС України, шляхом зниження впливу:

а) невизначеність єдиної висотної основи, сприяє помилкам у визначенні поправок до фактичних глибин, що знижує ймовірність безпечного плавання. Виявлені різні системи відліку призводять до значних помилок. 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);

с) 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 дискретно;

– критерії судноплавства потребують подальшого удосконалення. 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 на ВІШ України на базі річкових електронно-картографічних систем безумовно забезпечить підвищення рівня безпеки судноплавств.

Засоби навігаційного обладнання (ЗНО) автоматичної ідентифікаційної системи АІС забезпечує передачу інформації у підкріплення даних класичних

засобів навігаційного обладнання для маркування буїв, позначення місць уламків затонулих суднів та інших небезпек. Спеціальне АІС повідомлення про ЗНО включає інформацію про призначення, стан та позицію і передається береговою станцією АІС або спеціальною станцією, встановленою на буях або маяках. АІС для внутрішнього судноплавства використовує повідомлення про ЗНО, відповідно до Європейських правил судноплавства внутрішніми водними шляхами (ЄПСВВШ). Використання повідомлення АІС ЗНО для судноплавства на ВШ дозволяє інформувати про фактично встановлені ЗНО, або про місце відзначене, що віртуальним засобом навігаційного обладнання. Віртуальні засоби навігаційного обладнання (ВЗНО) можуть відображатися на карті СВЕНКІ та використовуватися для позначення місця небезпек до встановлення ЗНО. Судна, що обладнанні системою (СВЕНКІ ВС), можуть відображати інформацію, яку містить повідомлення АІС ЗНО для внутрішнього судноплавства, у вигляді символу на карті у повідомленій позиції ЗНО.

Дослідження проблеми розміщення об'єктів зовнішнього середовища та їх перетворення під сучасний метод річкової е-навігації на водних шляхах України, проводилися вітчизняними авторами проф. Л.Л.Вагущенко, проф.І.І.Гладких, проф.В.В.Паніним, проф. В.В.Дороніним [46-52].

Проведений аналіз показав, зростаючий науково обґрунтований підхід до даного напрямку. Публікації зарубіжних авторів по тематиці морської е-навігації, популярної серед виробників навігаційної апаратури, споживачів і спеціалістів, причетних до проводки суден і управління процесом, пов'язані з фундаментальними завданнями, які необхідно вирішити для досягнення основних цілей програм на міжнародному рівні і на рівні окремих держав.

У документі ІМО (MSC 85/26 /Add.1 Annex 20) перераховуються основні вимоги до реалізації та використання морської е-навігації, а також потенційні користувачі, згруповані за потребами. Визначені та описані ключові елементи е-навігації, що включають архітектуру, людський фактор, конвенції та стандарти, місце розташування судна.

За проектом ACCSEAS 2012.04–2015.02 проводилися практичні випробування морської берегової інфраструктури, які реалізують технології е-навігації. У Європейському Союзі ведуться науково-дослідні проекти в області е-навігації на гранти ЄС (Safe Sea Net) сформульовано ряд науково обґрунтованих рекомендацій щодо створення системи річкової е-навігації, впровадження якої на водних шляхах, сприяє підвищенню безпеки судноплавства.

Aids to Navigation (AtoN) AIS є одним з новітніх додатків технології AIS. Прийомовідповідач AIS може бути встановлений на маяку, бую, знаку огорожі, а також на інших стаціонарних і плавучих засобах або на морських платформах для передачі попереджувальних, навігаційних і метеорологічних даних судам і береговим станціям.

Система віддаленого моніторингу використовує веб-додаток для отримання даних AIS, ретрансюємі зі ЗНО, який розроблений для забезпечення сумісності з будь-якими новими та поточними системами допомоги навігаційних систем.

Блоки включають в себе антени VHF та GPS і поставляються з необхідними кабелями та роз'ємами, а також з усім необхідним апаратним і програмним забезпеченням для конфігурації, тестування і технічного обслуговування. ЗНО також можуть бути пов'язані з цілою низкою датчиків, які надають до хвилинних гідрологічних, метеорологічних та інших даних про навколишнє середовище на берегову станцію.

AMEC AIC СНТ складається з: основного блоку і монтажного комплекту AMEC (International Association for Measurement and Evaluation of Communication) пропонує два типи AIC ЗНО: перший (тип 1) тільки передавач AIS, другий (тип 3) - передавач / приймач, який дозволяє дистанційно керувати ним з мережі берегової станції.

Тип 1 - передає дані по слотах FATDMA, зазначеним в його конфігурації, і не має приймача. Слоти FATDMA повинні бути попередньо сконфігуровані базовою станцією.

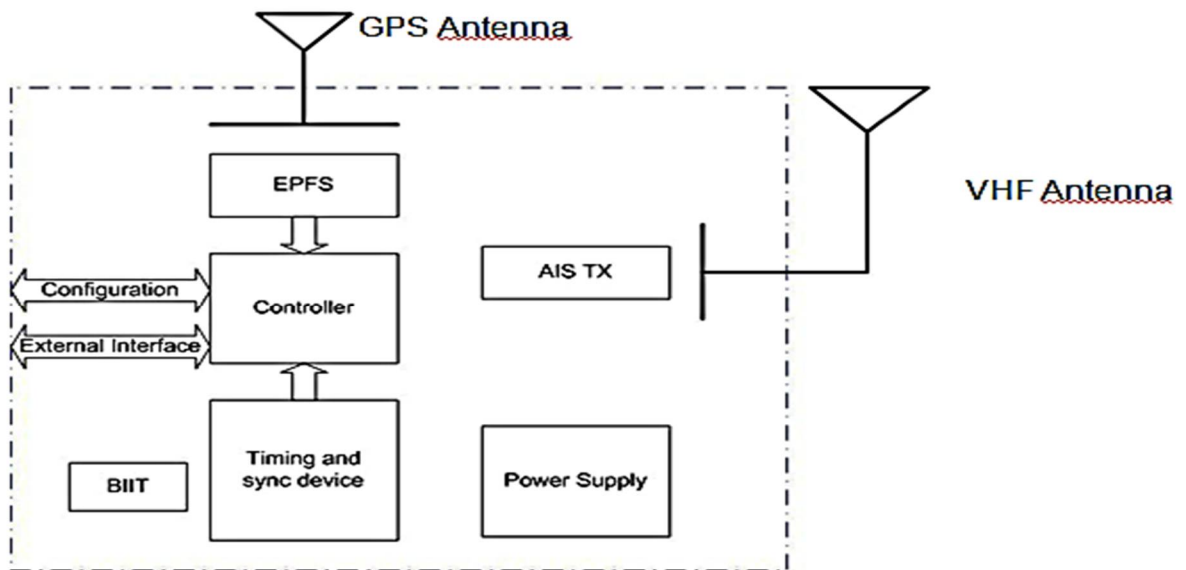


Рис. 3.12. - Блок-схема AIS AtoN типа 1

AIS ЗНО типу 1 - це передавальний пристрій, що використовує схему доступу FADMA (множинне доступу з фіксованим доступом). AIS AtoN налаштован на фіксовані часові інтервали AIS, для передачі повідомлень на мобільні станції AIS, працюючі в районі у відведені часові інтервали до AIS AtoN. Базова станція AIS працює в районі AIS AtoN і налаштована для здійснення необхідного бронювання слотів.

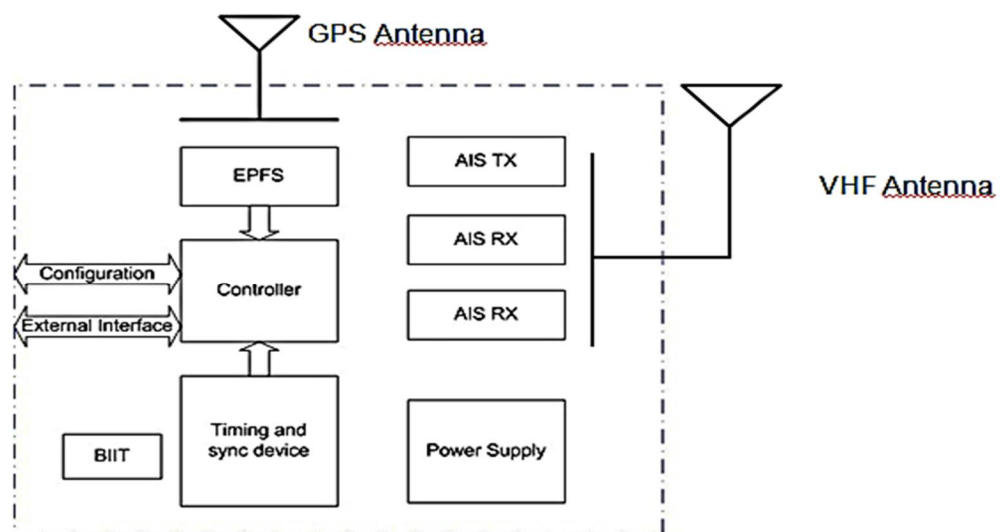


Рис. 3.13. – Блок-схема AIS AtoN типа 3 (передавач / приймач)

AIS типу 3 AtoN має можливість передачі та прийому, тому може використовувати схеми доступу FATDMA або RATDMA (множинний доступ підрозділу часу з випадковим доступом). Схема RATDMA дозволяє AIS AtoN внутрішньо розподіляти слоти для передачі повідомлень AIS без резервування з базової станції AIS. Можливість прийому AIS також дозволяє налаштувати AIS ЗНО типу 3 і запитувати його статус за допомогою повідомлень AIS, що надсилаються з берегової станції (відомої як конфігурація VDL). Розширення конфігурації VDL - це коли команди конфігурації та запиту передаються по «ланцюжку» станцій AIS AtoN до віддаленої станції поза межами прямого зв'язку з береговою станцією. Системи GNSS. AIS AtoN включає в себе внутрішній приймач GNSS, що підтримує систему GPS як стандарт. Конфігурація та стан трансивера відображається через ряд вкладок:

Реальна вкладка AtoN. Конфігурація AtoN включає MMSI, ім'я, тип, розміри, положення та параметри радіо;

Вкладка розклад повідомлень включає конфігурацію графіків повідомлень FATDMA або RATDMA;

Віртуальна вкладка AtoN складає конфігурацію віртуальних та / або синтетичних передач AtoN;

«Віртуальна AIS AtoN» передається як Повідомлення для AtoN, що фізично не існує. Віртуальні AIS AtoN використовуються, коли фізично неможливо або неприпустимо встановлення матеріальних AtoN на станції, (льодові умови, нові аварії кораблів і небезпеки і т.д.) Можливі сфери, в яких доцільно використовувати «віртуальні AIS AtoN» і можуть включати: Заміну існуючих буїв або розширення існуючої системи плавучих огорожень для покращення навігаційної безпеки;

забезпечення функціонування AtoN у разі тимчасового видалення фізичних AtoN;

Позначення нової небезпеки або перешкоди;

Зазначення глибоководних каналів;

Зазначення тимчасово рекомендованого судноплавного каналу;
Зазначення берегового примикання або іншої важливої цікавої особливості;
Розпізнавання зон гідрографічної зйомки;

Креслення закритих зон / радару із синтезованою апаратурою (SAR) або забруднених зон».

Вкладка статусу- це конфігурація джерела для інформації про стан AtoN;

Вкладка повідомлення про сповіщення-конфігурація неперіодичних повідомлень (наприклад, повідомлень про близькість судна);

GNSS. Відображає інформацію про силу сигналу та стан для приймача GPS приймача.

Подальший розвиток автономних AIS AtoN, що займаються класом Sealite, доступні у типах 1 або 3 та працюють у Міжнародному морському мобільному діапазоні УКХ, що дозволяє органам порту дистанційно контролювати стан установок AtoN у режимі реального часу.

Розроблені за допомогою технології третього покоління SRT MARINE TECHNOLOGY, рішення AIS від Sealite доступні інтегровано в межах ряду морських ліхтарів Sealite або як окремий пристрій для навігації (SL-AIS-C). Маяки середнього діапазону SL-155 можуть бути обладнані інтегрованими, малопотужними AIS типу 1 або 3 типу, за класом.

УКХ та GPS-антени для підтримки AIS встановлюються безпосередньо до маяка, що додатково поширює можливості в поліпшенні проформованості про морські області;

точний моніторинг позицій буїв у реальному часі за погодних умов;

динамічне маркування транспортних смуг;

позначення нових небезпек за допомогою функції віртуального проекту AtoN;

автоматичне оповіщення у разі несправності буя чи ліхтаря.

Розміщення ЗНО для отримання оптимального потоку навігаційної інформації при інструментальному методі навігації (ІМН) на внутрішніх

водних шляхах (ВВШ) пов'язане з виконанням вимог до щільності і якості розміщення ЗНО [52-53].

Проведений аналіз застосування ВЗНО р. Дніпро показав, що ЗНО Автоматичної ідентифікаційної системи (ЗНО АІС) «Укрморкартографія» (філія Державної гідрографічної служби «Держгідрографія») використовує ЗНО АІС, а також віртуальні ЗНО тільки у морській галузі. У цій галузі АІС є відповідним інструментом для позначення буїв та уламків затонулих суден. Спеціальне повідомлення АІС ЗНО передає місцезнаходження та призначення ЗНО, а також інформацію чи знаходиться буй у необхідному положенні, чи він був зміщений.

На р. Дніпро та р. Дунай такі ЗНО ще не працюють, але планується встановити. До тих пір, поки не будуть використовуватися прикладні програми для відображення ЕНК ВС, можливості віртуальних ЗНО обмежені.

Проведений аналіз складу інформації р. Дунай, поступаючий на судна показав, що навігаційна частина інформації складає приблизно 70-80 відсотків і має суттєвий вплив на безпеку провідки суден в стислих умовах.

Таблиця 3.1 – Розподіл навігаційної інформації в повідомленнях на ділянках р. Дунай [1,17].

№	склад інформації	р. Дунай	Нижній Дунай	Устя Дуная
		Вага відвідного інформаційного розділу		
1	Знаки навігаційного огороження	0,17	0,25	0,05
2	Інформація про глибини	0,13	0,13	0,16
3	Гідротехнічні роботи, впливаючи на габарити суднового ходу	0,42	0,47	0,37

Продовження Таблиці 3.1

4	Інформація стосовно аварійної ситуації	0,10	0,06	0,26
5	Інформація відносно правил плавання	0,10	0,10	0,16

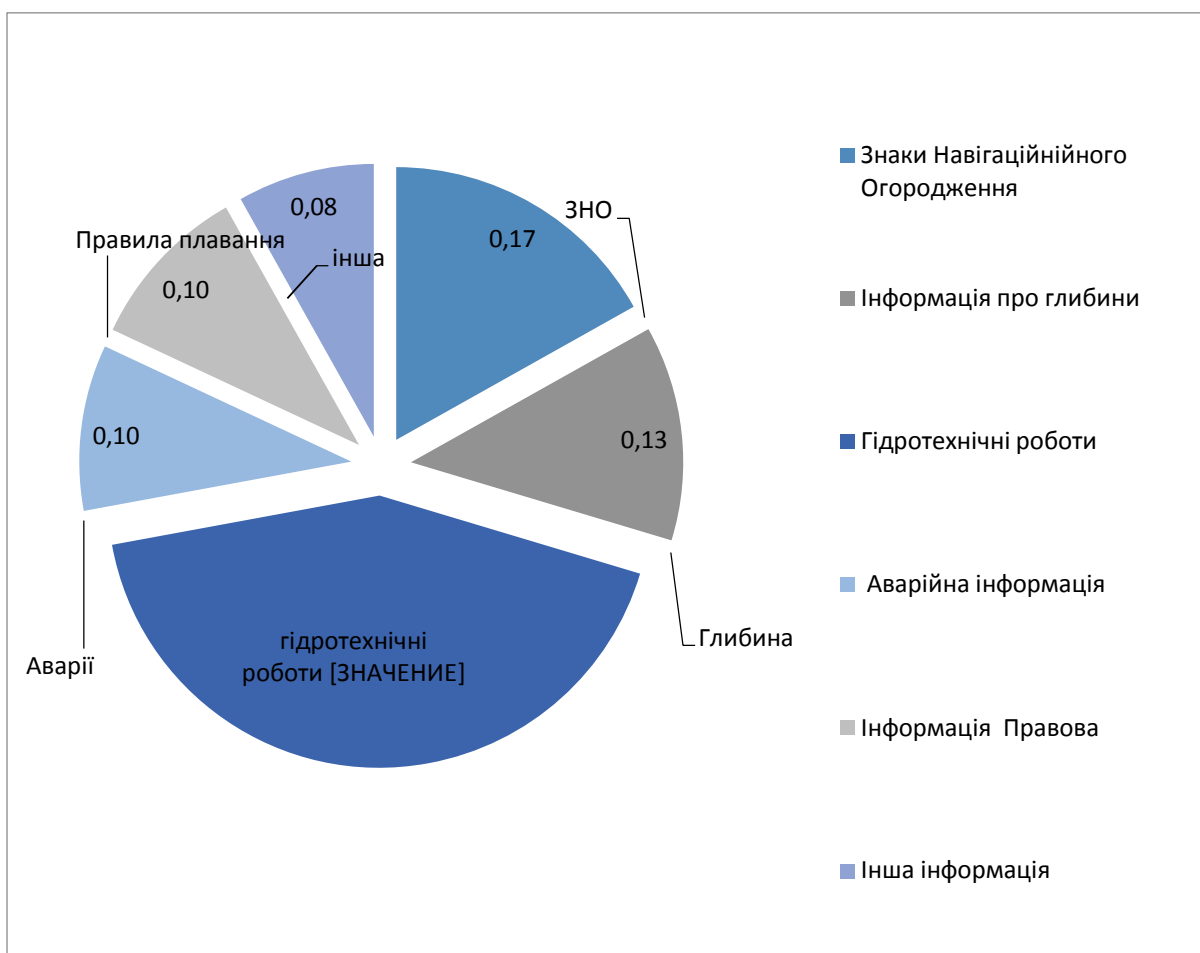


Рис. 3.14. – Розподіл навігаційної інформації в повідомленнях

Дослідження потоків навігаційної інформації в повідомленнях дозволили виявити залежність обсягу одержуваної в повідомленнях інформації від часу на розглянутому 144 годинном періоді на ділянці водного шляху.

$$Y = 0,7994x^2 + 8,8692x - 12,066,$$

де, x – години.

Надходженні навігаційної інформації в повідомленнях нерівномірно на розглянутом часовому періоді на ділянці водного шляху (Рис. 3.2).

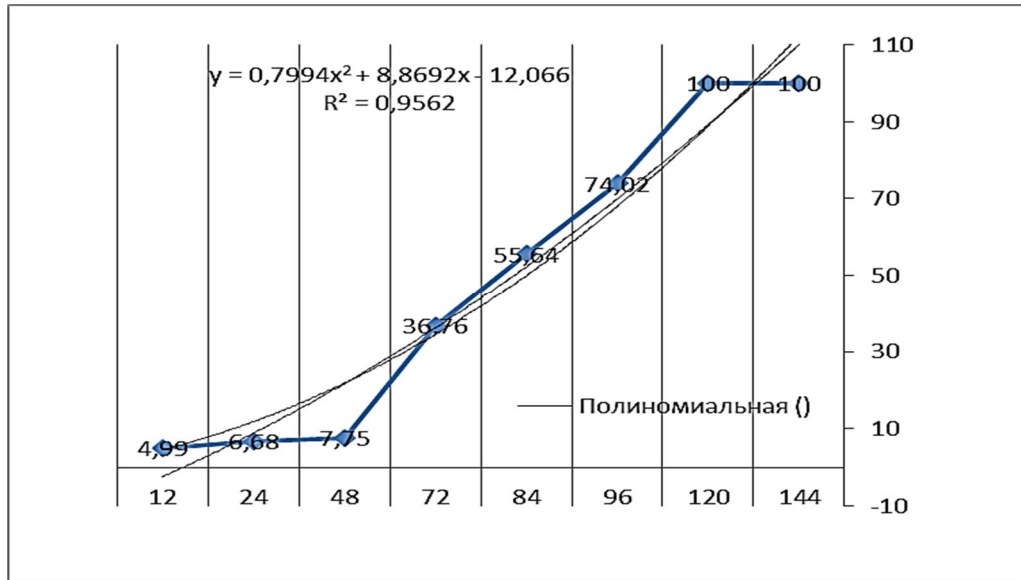


Рис. 3.15. – Розподіл навігаційної інформації за часом для ділянки водних шляхів

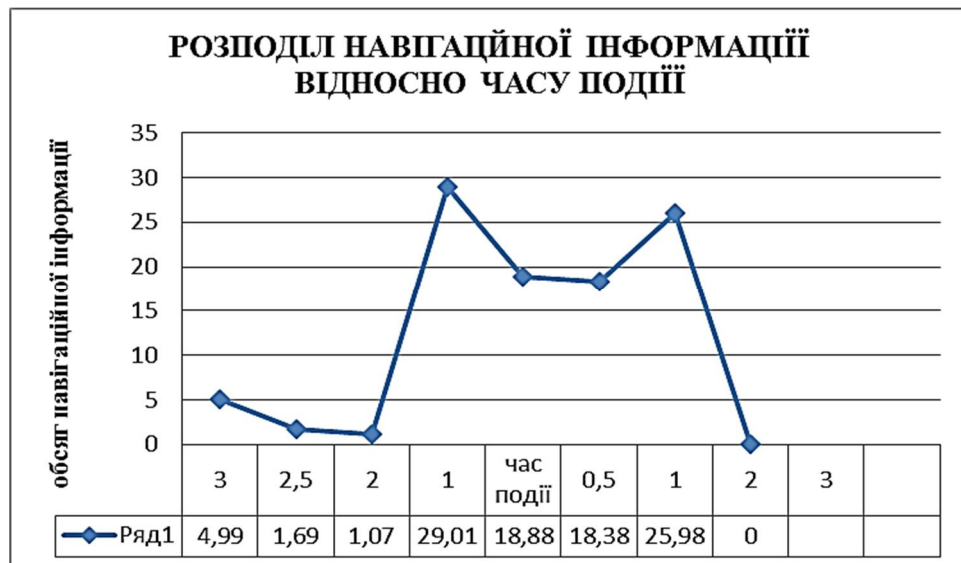


Рис. 3.16. – Розподіл навігаційної інформації в повідомленнях за часом на ділянці водного шляху(A1).

Таблиця 3.2 –Розподіл навігаційної інформації в повідомленнях за часом на ділянці водного шляху

ваговий коефіцієнт	0,091	0,182	0,318	0,864	0,955	1,000
доба	1	2	3	4	5	6



Рис. 3.17. – Розподіл надходження навігаційної інформації на ділянку водних шляхів.

Експоненціальний (або показовий) розподіл - абсолютно неперервний розподіл, що моделює час між двома послідовними зверненнями однієї події.

$$F(x; \lambda) = 1 - e^{-\lambda x}, ()$$

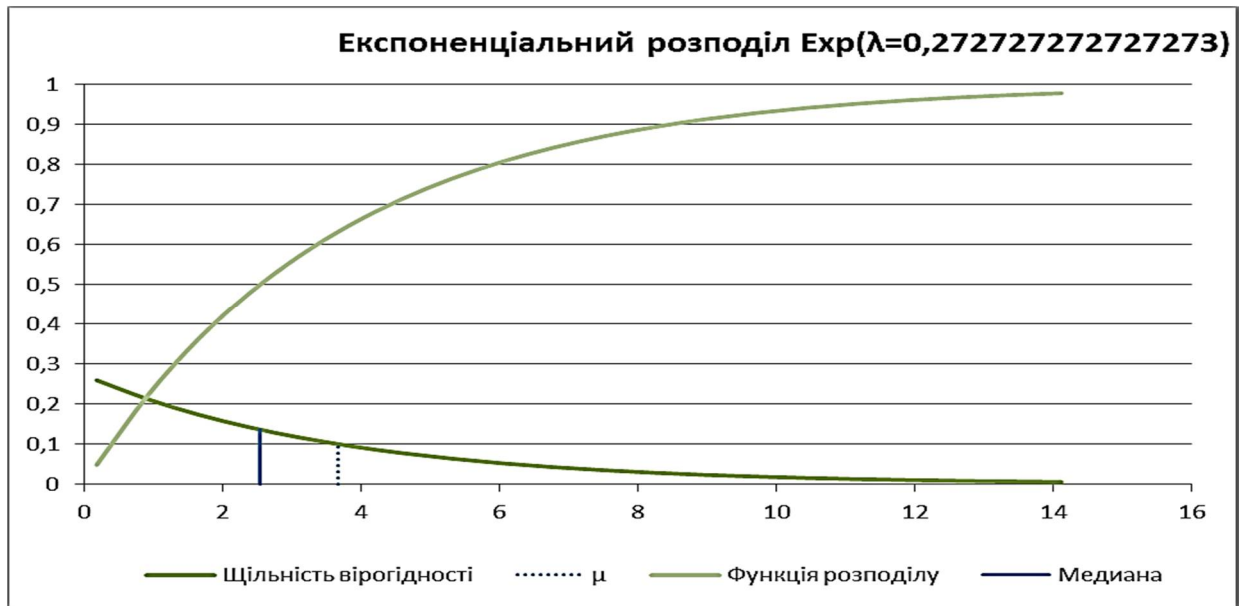


Рис. 3.18. – Графики функцій розподілу та щільності вірогідності для експоненціального закону розподілу похибок навігаційної інформації в повідомленнях за часом на ділянці водного шляху.

Таблиця 3.3 – Порівняльні характеристики для функцій розподілу похибок навігаційної інформації в повідомленнях

Закон розподілу	1. експоненціальний	2. нормальний	3. Фактичні дані
1	2	3	4
1	0,2387	0,3390	0,0900
2	0,4204	0,4294	0,1800
3	0,5588	0,5237	0,3200
4	0,6641	0,6166	0,8700
5	0,7443	0,7033	0,9600
6	0,8053	0,7797	1,0

Продовження Таблиці 3.3

Різниця між даними функцій розподілу відповідних законів	1-2.	1-3.	2-3.
1	2	3	4
1	0,0311	0,1487	0,2490
2	0,2624	0,2404	0,2494
3	0,4384	0,2388	0,2037
4	0,5725	-0,2059	-0,2534
5	0,6745	-0,2157	-0,2567
6	0,7522	-0,2047	-0,2303

Математичне очікування	0,4552	0,0003	-0,0064
Дісперсія	0,0735	0,0536	0,0697
Стандартне відхилення	0,2112	0,2090	0,2404

Аналіз підсумків показав, що похибки в на інтервалі часу 6 діб підлягають до розподілу закону Пуассона, який характеризує розподіл дискретного типу випадкової величини, що є числом подій, що сталися за фіксований час, за умови, що ці події відбуваються з деякою фіксованою середньою інтенсивністю і незалежно один від одного. Тому при оцінці інформаційної похибки габаритів суднового ходу слід розраховувати в припущенні до розподілу Пуассона з $\lambda = 1/\mu$ для обраної ділянки водних шляхів. Порівняльний аналіз розподілу обсягу навігаційної інформації в повідомленнях за складом дозволяє при прогнозуванні оцінити зміни навігаційної обстановки на ділянках водних шляхів.

При забезпеченні навігаційної безпеки руху в умовах високої інтенсивності і неоднорідності трафіку виникає необхідність інформаційної підтримки процесу прийняття рішень. Порівняльний аналіз розподілу обсягу

навігаційної інформації в повідомленнях за складом дозволяє при прогнозуванні оцінити очікуєміє зміни навігаційної обстановки на ділянках водних шляхів.

Порівняльний аналіз розподілу обсягу навігаційної інформації в повідомленнях за часом показав, що розподіл залежності інформаційної похибки габаритів суднового ходу від істотних параметрів руху судна на ділянці водних шляхів слід розраховувати в припущенні розподілу для експоненціального закону.

3.3. Синтез структури відображення навігаційно-інформаційної ситуації суден

Для аналізу процесів, які впливають на безпеку судноплавства, використовують натурно-експертні методи, що не завжди дає глибоку оцінку подіям, які відбуваються на водному шляху судна. Забезпечуючи надійність судноплавства, робота комплексу РІС для контролю руху суден супроводжується і регулюється національними та міжнародними нормативними документами та навігаційно-інформаційним забезпеченням водних шляхів. Вона відноситься до категорії складних і вимагає створення спеціальної методики проведення дослідження структури відображення навігаційно-інформаційної ситуації на водних шляхах України.

Морська практика характеризує процес забезпечення надійності судноплавства в територіальних водах України, та контроль навігаційно-інформаційного стану в стислих водах, як насичений інформацією, відмінною за способами і джерелами її формування, структурою і змістом. При цьому цілеспрямоване її використання має сприяти ефективному вирішенню навігаційно-інформаційних задач судноводіння на ВШ. Приблизно 40% аварій з суднами відбувається через неадекватність інформації циркулюючої на водних шляхах. При цьому безпечне управління рухом суден в прибережних і обмежених водах зв'язується з якісним,

своєчасним поданням і відображенням навігаційного інформаційного простору судноводіння.

Порівняльний аналіз методів і моделей, які сприяють забезпеченню навігаційної інформаційної безпеки судноплавства (ІБС), показав результати проведеного експертного порівняльного оцінювання їх якісних показників, виконанного вітчизняними вченими (проф.Мальцев А.С., проф.Вільський Г.Б.,) [62-63].

Поставлена мета дослідження визначає необхідність вирішення методологічних, теоретичних і практичних проблем інформаційного забезпечення транспортної системи на водних шляхах. Співвіднесеність теоретичних методів і моделей ІБС встановлюється методами - дедукції результатів наукових досліджень, концептуальним, математичним і імітаційним моделюванням, структурно-кількісним аналізом, а також графологічно-розрахунковими методами. Всі вони дозволяють виявити, визначити і обґрунтувати принципи формування, структуру, якість і циркуляційний обсяг інформаційного простору на водних шляхах, класифікувати і кластеризувати потоки інформації, висунути і обґрунтувати методологію оцінки інформаційної безпеки на маршруті руху судна. Методи математичного моделювання використовуються в розробці базових імовірнісних моделей небезпек, а емпіричні - для вивчення статистичних даних різних типів аварійності судів.

У методі «Метод спеціальної лоції» охарактеризовані умови плавання в межах розглянутого району з урахуванням морфологічних особливостей, гідрометеорологічних і навігаційних умов, що впливають на безпеку проводки суден на ВШ. Володіння положеннями «Загальною лоції» дозволяє судноводію за короткий термін адаптувати метод спеціальної лоції на незнайомій ділянці ВШ, для об'єктивності приймаємих рішень . «Лоцманський метод» (Глазомірний, Оглядовий метод) орієнтований на використання особистого досвіду судноводіїв, в судноплавній практиці на прибережних водних шляхах і обмежених умовах плавання. Застосування

прискорених засобів безперервного контролю місцяположення судна та використання особливостей методу спеціальної лоції, дозволяє судноводіям при сприятливих умовах забезпечувати надійність проводки. Недоліком методу більш низька точність визначення навігаційної інформації [71, 87,91].

Інструментальний метод навігації (ІМН) на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) це розрахунково-інструментальний, включаючий використання сукупності методів картографії, спеціальної лоції і особливостей судноводіння на ВВШ. У методі передбачається візуальний та інструментальний розгляд на лоцманських картах динаміки процесів руху суден по ВВШ і встановлення взаємозв'язків з поточним станом навігаційно-інформаційного поля судноводіння з кількісною оцінкою[50-53].

Штурманський метод в управлінні рухом судна - розрахунково-інструментальний, включаючий використання сукупності методів картографії, лоції і класичної навігації. У картографічному методі передбачається візуальний та інструментальний розгляд на навігаційних картах динаміки процесів руху суден по ВШ і встановлення взаємозв'язків з поточним станом навігаційно-інформаційного поля судноводіння з кількісною оцінкою. Сучасною оригінальністю методу є застосування, визнаної ІМО технології «Е-навігація», за допомогою якої здійснюється електронне картографічне відображення карт і позиції суден, виконання попередньої прокладки, контроль відхилень від заданого маршруту. Багатофункціональність методу дозволяє здійснювати обчислення оптимальних та безпечних курсів, попередження судноводія про небезпеки, ведення електронного судового журналу та розрахунок параметрів для управління та контролю рухом судна [59, 60,91].

Метод «абсолютної навігації » це подальший розвиток інструментальних методів з застосуванням сучасних технологій, коли традиційні результати навігаційних вимірювань доповнюються інформацією радіонавігаційних та супутникових навігаційних систем. Завдяки точності та малій дискретності обсервацій, низької вартості малогабаритних і надійних

приймачів GPS-метод став одним з основних навігаційних інструментів на кожному морському судні. Підвищена надійність методу забезпечується об'єднанням приймачів dGPS і GPS-систем NAVSTAR, ГЛОНАСС, Галілео, *BeiDou*. У багатьох складних ситуаціях комбінована інформація сприяє об'єктивності при прийнятті рішень.

«Модель автоматичної ідентифікації судна» застосовую інформаційний обмін між судовими та береговими електро- радіонавігаційними системами призначений для підтримки безпеки судноплавства за допомогою моніторингу морського трафіку. Модель підтримує обмін судовим статичним контентом, постачає на суб'єкти судноплавства навігаційні динамічні дані за допомогою радіохвиль діапазону ДВЧ / УКВ.

У «Методі векторного поля загроз руху суден» тимчасова залежність руху судна видається вектором-функцією, а радіус-вектор переміщення центру ваги судна, що описує в просторі годограф, відтворює криву інформаційної безпеки з зонами впливу небезпечних судноводінню факторів.

«Модель кластера інформаційної безпеки руху суден» використовується при менеджменті на ходовому містку. У моделі за допомогою алгоритму симетричній матриці кластерних відстаней між передумовами загроз і ризиками інформаційної безпеки судна виконуються класифікація і групування неоднорідних потоків морських даних, що вкрай необхідно для планування управління рухом.

Серед пріоритетних наукових інновацій «Модель інформаційного простору мореплавання», що відображає смислові категорії потоків інформації. У моделі формалізований процес обміну даними, з встановленою пріоритетністю потоків, їх внутрішнім взаємозв'язком і відносинами судна, як об'єкта інформаційної безпеки, до джерела відомостей і повідомлень.

У «Методі гарантованої інформаційної безпеки судноплавства» будуються математичні моделі ризиків судна з високою і низькою ступенем ймовірності прояви, які представляються математичними поверхнями інформаційної безпеки і вводяться в базу електронних моделей СУДС для

проведення порівняльного аналізу з поточним станом інформаційної безпеки реального часу руху.

У «Моделі ризиків судноплавства», за допомогою ідентифікаційної діаграми відображаються встановлені ризики інформаційної безпеки судна: «посадка на мілину»; «Зіткнення»; «Льодовий»; «техногенний» і «тероризм» ймовірність, прояви яких найбільша. За допомогою вбудованої матриці рівнів ризиків комплексно диференціюються загрози і ступеня ймовірності настання ризикових подій. При цьому модель виступає інструментом в розробці планів переходів судна в районах з високою аварійністю.

У «Моделі дефініції» і паспорта «Інформаційна Безпека Судна» зібраний керівний контент, що відноситься до безпеки оперування з бортовим вхідний і вихідний інформаційним документообігом, що дозволяє удосконалювати загальну систему безпеки судноплавства.

У моделі «РІС» є формалізований процес обміну даними на прибережних та внутрішніх ВШ, встановлена пріоритетність інформаційних потоків, їх внутрішній взаємозв'язок, і відносини судна та берегових об'єктів при формуванні поля інформаційної безпеки судна [70].

При проведенні порівняльної оцінки якісних показників використовувався метод експертних оцінок. Точність цих методів перевірена досвідом морської практики судноводіння, наглядом експертів капітанів суден.

Таким чином, існуючі методи і моделі, на основі яких формується інформаційний простір судноплавства і забезпечується управління рухом в прибережних і обмежених водах на ВШ, реалізують його на різних якісних ступенях з застосуванням відповідного суднового та берегово обладнання та методик аналізу та прогнозування тенденції зміни відповідного інформаційного простору без урахування особливостей суднових систем по ідентифікації небезпек на маршруті слідування, що знижує ефективність суднових систем регулювання, оскільки їх технічні засоби не завжди виявляють чинники загроз безпечному руху судна і не прогнозують ступінь

впливу інформаційної безпеки на водному шляху.

Для цілей РІС, сучасні річкові інформаційні системи складаються з однієї або більше узгоджених систем на основі інформаційних технологій (ІТ). Система ІТ - це сукупність людських ресурсів, апаратного та програмного забезпечення, засобів зв'язку і правил, що забезпечують виконання завдання обробки інформації.

Введення індексу РІС було призначено для вирішення проблеми сумісності програм. Індекс включає в себе реєстрацію всіх додатків, що мають відношення до РІС і надає користувачам відповідні данні, що стосуються навігації і планування рейсу на внутрішніх водних шляхах.

Системи, що використовують РІС індексацію (рис.3.19.):

1. ERDMS – система управління даними призначена для здійснення безпечного, ефективного та економічного збору, зберігання та використання даних. Метою є допомога людям, організаціям і зв'язаним об'єктам оптимізувати використання даних в рамках доцільності та регулювання, для прийняття рішень та дій, які максимізують вигоду для системи [45-47];

2. National Reference Database (Національна початкова база даних) – являє собою центри обробки даних, які виробляють компіляції критично оцінених даних, огляди стану кількісних знань в спеціалізованих областях і обчислення корисних функцій, отриманих із стандартних початкових даних;

3. VTT – є важливим компонентом РІС, сприяє підвищенню безпеки та ефективності внутрішнього судноплавства, підтримує бортову навігацію, управління рухом суден (VTM) з берега, ліквідацію наслідків стихійних лих, управління транспортом, збори на водних шляхах і портову інфраструктуру. Цей обмін інформацією підтримується АІС внутрішнього судноплавства, системою віщання, заснованою на передачі радіосигналів дуже високої частоти між судновими станціями АІС (мобільними станціями) і береговими станціями АІС. Кожен тип передачі стандартизований для передачі та прийому обладнанням АІС для внутрішнього судноплавства;

4. NtS – національні та місцеві влади, що відповідають за фарватер,

зобов'язані інформувати користувачів про проблеми, пов'язані з водними шляхами, які можуть вплинути на безпеку судноплавства. NtS служать для передачі інформації, такої як стан інфраструктури внутрішніх водних шляхів (мости, шлюзи тощо), несправні ЗНО, тимчасові блокування ділянок водних шляхів або інших типів інфраструктури, інформацію про рівень та глибину води, льодову інформацію та повідомлення про погоду. Міжнародний стандарт повідомлень судноводіїв надає стандартизований формат даних, який можна використовувати як для публікації повідомлень в інтернеті, так і для розсилки по електронній пошті;

5. ERI – вся необхідна інформація доступна в потрібний час і в потрібному місці, повідомлення адресовані зацікавленим сторонам для забезпечення швидкого відправлення з відповідними засобами контролю та спрощеними процесами водного транспорту. Інформація про дані судна та вантаж важлива для всіх, хто бере участь в транспортних операціях: влада, оператори шлюзів, аварійні служби, портові оператори й оператори флоту. Для цього створюються електронні системи судових повідомлень;

6. Inland ECDIS – це бортова комп'ютерна система для відображення електронних карт внутрішнього судноплавства, а також додаткової інформації про навколишнє середовище судна. Метою систем IECDIS є сприяння забезпеченню безпеки й ефективності внутрішнього судноплавства шляхом зменшення робочого навантаження судноводія та підвищення ситуаційної поінформованості. Системи ECDIS для внутрішнього судноплавства об'єднують повідомлення річкової інформаційної служби з декількома джерелами, такими як засоби AIS для внутрішнього судноплавства, в єдину систему;

RIS Index

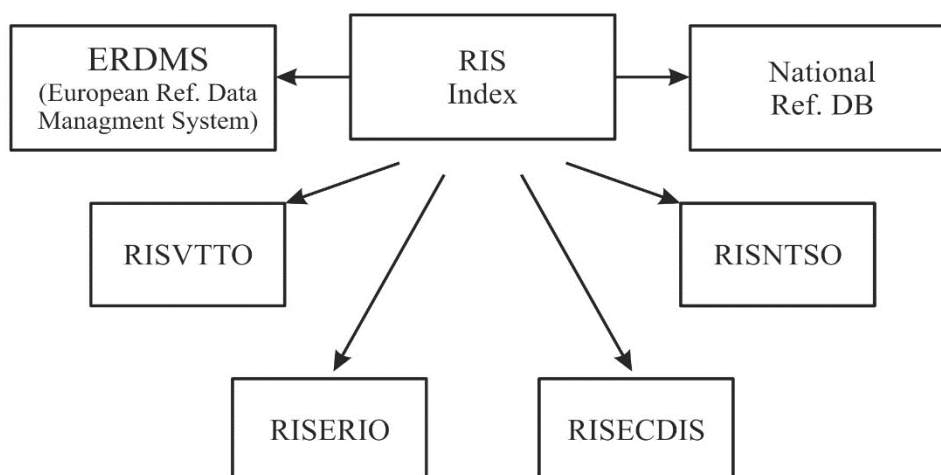


Рис. 3.19. – Системи, що використовують РІС індексацію

Індекс RIS являє собою список ISRS коду місцезнаходження з додатковою інформацією про об'єкти, таку як їх характеристики (назва, фарватер), обмеження (доступна глибина, дозвіл), час роботи тощо.

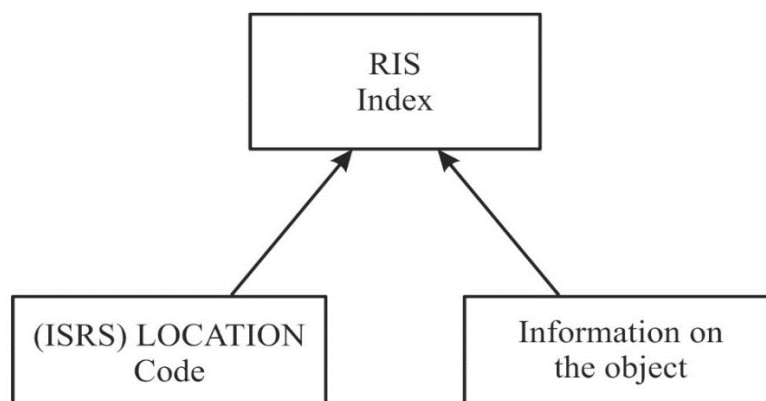


Рис. 3.20. – Базові елементи РІС індексу

Базовими елементами індексу РІС є наступні пункти (рис.3.21.):

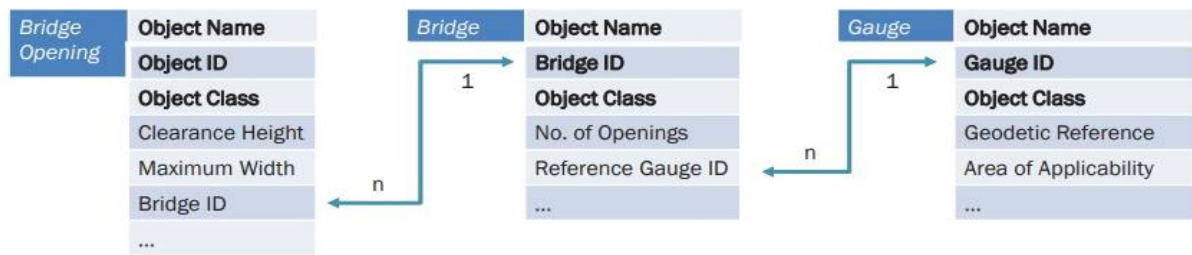


Рис. 3.21. – Зображення реляційної бази даних

ISRS код місця розташування об'єкта;

інформація про об'єкт, що містить: одну або кілька географічних посилань;

атрибути об'єктів.

Індекс PIC повинен містити всі об'єкти, які мають відношення до:

електронної звітності (пункти відправлення, навантаження, проходження, вивантаження та час прибуття);

ECDIS для внутрішнього судноплавства (всі об'єкти з атрибутом unlocd);

повідомлення судноводіям (всі об'єкти, на які можуть вплинути NtS);

AIS для внутрішнього судноплавства (інформація про рівень води, передається через AIS для внутрішнього судноплавства).

Індекс RIS дозволяє країнам виконувати мінімальні вимоги до даних, як зазначено у RIS Directive 2005/44/EC Article 4(3)(a), де, зокрема, повинні бути представлені наступні дані:

водний шлях зі вказівкою індикатора відстані;

обмеження для суднів або составів по довжині, ширині, осадці та надводному борту;

час роботи обмежувальних конструкцій, зокрема шлюзів і мостів;

розташування портів та перевалочних пунктів;

довідкові дані для показників рівня води, що відносяться до навігації.

Об'єкти, які мають кодуватися першими та пріоритетні представлені в таблицях (табл.3.4., табл.3.5.).

На думку експертів, наступні об'єкти (табл. 3.4.) можуть мати додаткову цінність для конкретних цілей, але вони не вимагаються в оновленому

Додатку I до Директиви 2005/44 / ЄС. Таким чином, на даний час їх інтеграція до індексу RIS не є обов'язковою.

Таблиця 3.4. -Об'єкти, які мають кодуватися першими.

			ETA / ETD reporting	Logistics transhipment					
Object class	Chapter	Object Name ⁴	Electronic Reporting (ERI)		Inland ECDIS	Vessel Tracking & Tracing (VTT)	Notices to Skippers (NIS)	Voyage / route planning	Navigation
Priority Objects									
bridge(A)	G.1	All types of bridges			X	X	X	X	X
C_AGGR()	G.1	Bridge Area	X		X	X	X	X	X
cblohd (L)	G.1.8	Overhead Cable			X		X	X	X
pipohd (L)	G.1.9	Overhead Pipe			X		X	X	X
hrbare(A)	G.3.9	Harbour Area	X	X	X	X	X	X	X
hrbbsn(A)	G.3.10	Harbour Basin	X	X	X	X	X	X	X
prtare(A)	G.3.15	Port Area	X	X	X	X	X	X	X
termnl(P, A)	G.3.19	All types of Terminals	X	X	X	X	X	X	
lokbsn(A)	G.4.3	Lock Basin			X	X	X	X	X
lkbspt(A)	G.4.4	Lock Basin Part			X	X	X		
C_AGGR()	G.4.3, 4.4	Lock Area	X		X	X	X	X	X
excnst(P, A)	G.4.8	Exceptional Navigational Structure			X		X	X	X
achare(P, A)	M.1.1	Anchorage Area	X	X	X		X	X	X
achbrt(P, A)	M.1.2	Anchorage Berth	X	X	X		X	X	X
berths(P,L,A)	M.1.3	Berth without Transhipment / Fleeting Areas (O)	X		X	X	X	X	X
berths(P,L,A)	M.1.4	Transhipment Berth (O)	X		X	X	X	X	X
trnbsn(P, A)	M.4.5	Turning Basin			X		X		X
wtwgag(P, A)	I.3.4	Waterway Gauge			X	X	X	X	X
dismar(P)	L.3.2	Distance mark along waterway axis			X		X		X
rdocal(P, L)	Q.2.1	Radio Calling-in Point (notification point)	X		X			X	

Таблиця 3.5. – Таблиця додаткових об'єктів

			ETA / ETD reporting	Logistics transhipment					
Object class	Chapter ⁵	Object Name ⁵	Electronic Reporting (ERI)		Inland ECDIS	Vessel Tracking & Tracing (VTT)	Notices to Skippers (NtS)	Voyage / route planning	Navigation
Additional Objects									
buaare (P,A)	E.1.1	Built-up Areas (O)							
buisgl (P,A)	E.1.2	Buildings of Navigational Significance (O)							
ponton(A)	G.3.11	Landing Stage, Pontoon	X		X			X	
morfac (P,L,A)	G.3.12	Mooring Facility							
hulkes(A)	G.3.14	Permanently Moored Vessel or Facility (O)	X		X			X	
refdmp (P)	G.3.17	Refuse dump			X			X	
bunsta(P, A)	G.3.2	Bunker / Fuelling Station	X		X		X	X	X
vehtrf(P, A)	G.3.20	Vehicle Transfer Location			X			X	X
cranes (P,A)	G.3.4	Crane (O)							
FERYRT (L), feryrt (L)	L.2	All types of ferries			X		X		X
chkpnt(P, A)	R.1.1	Check Point	X		X			X	
sistat	R.2	Signal Stations			X	X		X	X
wayp	n.a.	Waypoint	X					X	
spec_con	n.a.	Special construction					X		X
pas	n.a.	Passage Points	X					X	
trafp	n.a.	Traffic points (first reporting point)	X					X	
junction	n.a.	End of waterway / Junction	X					X	
riscen	n.a.	RIS Centre	X	X		X	X	X	

Основні елементи індексу RIS

У табл. 3.4. зведені основні елементи індексу RIS. Його потрібно читати спільно з електронними таблицями "Індекс RIS" та "RIS_INDEX_waterway_network" у шаблоні індексу RIS (надається у форматі .xlsx).

Таблиця. 3.6. – Основні елементи індексу RIS

Elements	Brief Description	Remark
Columns A - R Official ISRS Location Code and Index data	These elements are the core elements of the RIS Index	
Columns S - U Additional RIS data	The columns S - U, which are marked white in the template, contain additional RIS data	
Columns V - AF Restrictions (if not provided in an IENC ⁶)	The columns V - AF can be used to provide the information on restrictions, which are caused by an object (e.g. a bridge or a lock)	
Columns AG - AP Reference data for gauges	The reference data of gauges is very important for the safety of navigation and for voyage planning	
Columns AQ - AU Operation times	The operation times of locks, movable bridges and other pieces of infrastructure (e.g. offices of waterway authorities, harbour masters, police, bunker services, fresh water supplies, refuse dumps, terminals, berths, pontoons) are important for voyage planning	
Columns AV - BQ Additional data on restrictions	The columns AV - BQ provide a possibility to enter additional data on restrictions (e.g. additional possibilities of vessel dimension combinations)	
Columns BR - CA Additional operation times	The columns BR - CA provide a possibility to enter additional data on operation times (e.g. for certain types of ships)	
Columns CB - CF Maintenance data	The columns CB - CF contain the maintenance data of the RIS Index	

Елементи та атрибути індексу RIS:

Обов'язкові: Інформація повинна бути надана будь-якому випадку;

Умовні: Інформація повинна бути надана, якщо вона існує (наприклад, якщо причал має ім'я);

Необов'язкові: Інформація може бути надана, оскільки є корисною для надання RIS.

Застосування: Шаблон індексу RIS версії 2.0.

Просторові зв'язки між об'єктами. Просторові дані (географічні дані, годинне) - дані о просторових об'єктах та їх наборах. Просторові дані

складають основу інформаційного забезпечення геоінформаційних систем.

Сукупність просторових даних, записаних (збережених) тим чи іншим чином, називається просторовою базою даних (англ. Spatial database). Сучасні просторові БД організовуються на платформі спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє зберігати, накопичувати і обробляти (включаючи, просторовий аналіз) всі компоненти просторових даних у вигляді логічно єдиної БД.

Більшість сучасних СУБД підтримують так звані просторові розширення - геометричні типи даних і просторові індекси. Наприклад, MySQL підтримує наступні типи даних:

- Точка (Point);
- Відрізок (Linestring);
- Багатокутник (Polygon);
- Набір крапок (MultiPoint);
- Набір відрізків (MultiLinestring);
- Набір багатокутників (MultiPolygon);
- Колекція типів (GeometryCollection).

Геометричні примітиви зберігаються в БД в бінарному вигляді, проте можуть бути представлені в текстовому вигляді в форматі WKT, наприклад:

```
POINT(15 20)
LINESTRING(0 0, 10 10, 20 25, 50 60)
POLYGON((0 0,10 0,10 10,0 10,0 0),(5 5,7 5,7 7,5 7, 5 5))
MULTILINESTRING((10 10, 20 20), (15 15, 30 15))
GEOMETRY COLLECTION(POINT(10 10), POINT(30 30),
LINESTRING(15 15, 20 20)).
```

Структура просторових даних. Просторові дані зазвичай складаються з двох взаємопов'язаних частин: координатних й атрибутивних даних. Встановлення зв'язку між цими частинами називається геокодуванням.

Координатні дані визначають позиційні характеристики просторового об'єкта і описують його місце розташування у встановленій системі

координат.

Атрибутивні дані представляють собою сукупність непозиційних характеристик (атрибутів) просторового об'єкта і визначають смисловий зміст (семантику) об'єкта та можуть містити якісні або кількісні значення.

Сховище довідкових даних об'єкта являє собою наступне:

1. Кожен рядок представляє об'єкт;

2. Кожен стовпець є атрибутом:

Унікальний ідентифікатор об'єкта;

Назва об'єкту;

Клас об'єкта;

Широта;

Довгота;

База даних неструктурованих файлів (Flat File Database) включає в себе наступні особливості:

Всі об'єкти змішані в одній таблиці;

Відповідні символи додані в таблицю;

Єдиний формат всіх об'єктів;

Об'єкти поділяють символи всіх інших об'єктів.

Таблиця. 3.7. – Закодована інформація в неструктурованих файлах

RIS Index	Object ID	Object Name	Object Class	No. of Openings	Clearance Height	Maximum Width	Geodetic Reference	Area of Applicability	Many more
	xxx	xxx	Gauge	---	---	---	xxx	xxx	...
	xxx	xxx	Bridge	xxx	---	---	---	---	...
	xxx	xxx	Bridge Opening	---	xxx	xxx	---	---	...

Плюсом такої бази даних є - неможливо перекодувати заявлену ефективність. Міняти інформацію можуть тільки персонал з техобслуговування. Початковий і зовнішній ключі зберігаються в атрибутах

об'єктів. Закодована інформація містить у собі таблицю з даними (табл. 3.7.).

Реляційна база даних (Relational Database), включає в себе наступні особливості (рис.3.21.):

Об'єкти, розділені на кілька таблиць, кожна з яких представляє окремий клас об'єктів;

Кожна таблиця складається з символів тільки певного класу об'єктів;

Додаткова таблиця з ім'ям Index використовується для швидкого пошуку об'єктів;

Індекс складається з первинних ключів кожного об'єкта.

Просторова база даних (Spatial Database), включає в себе наступні особливості (рис. 3.22.):

Додатковий просторовий індекс;

Запити та маніпуляції в залежності від місця розташування;

Кожен об'єкт з відповідною формою;

Мережа може бути побудована з багатовимірними формами як геометрична модель реального світу.

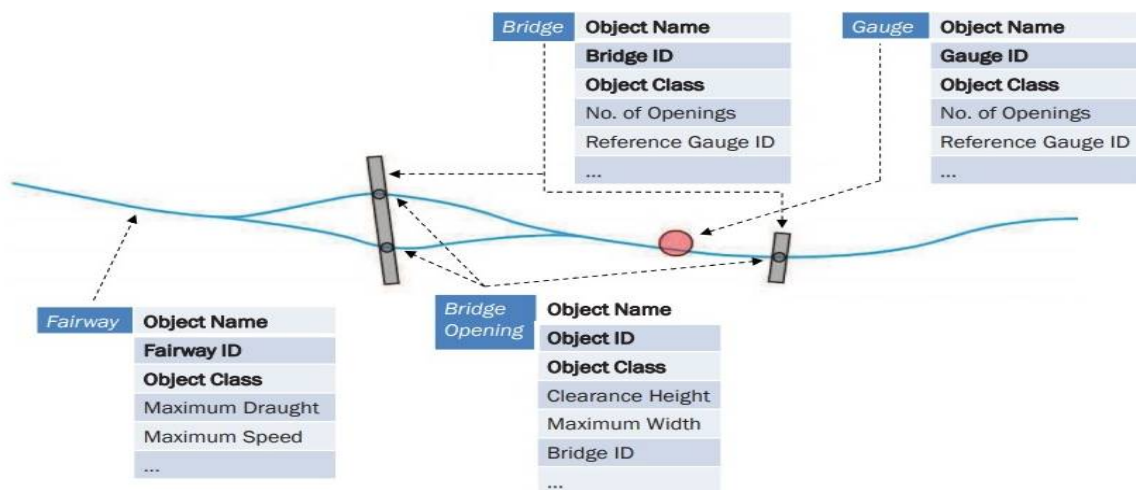


Рис. 3.22. – Зображення просторової бази даних

RIS COMEX є останнім з декількох великих проектів, пов'язаних з координуванням RIS по всій Європі. Управління коридором – це наступний крок у розвитку річкових інформаційних служб, які описані PIANC та

прийняті в Директивах ЄС щодо RIS для підвищення безпеки, ефективності та надійності внутрішнього судноплавства, включаючи позитивний вплив на захист навколишнього середовища (рис. 3.23.). Схему експлуатації RIS COMEX розглянемо на рисунку 3.24.

COMEX Reference Network Model

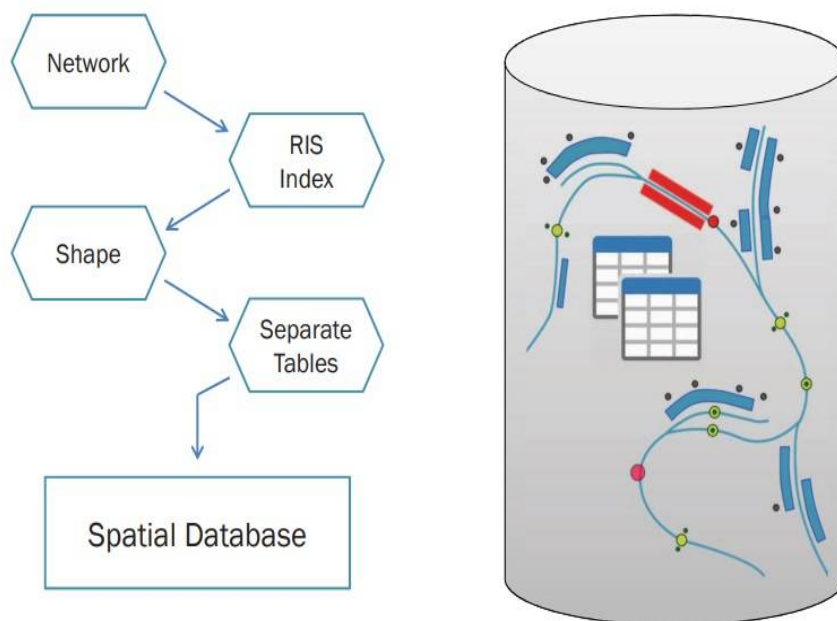


Рис. 3.23. – Робота довідково-інформаційної мережі RIS COMEX

COMEX Services

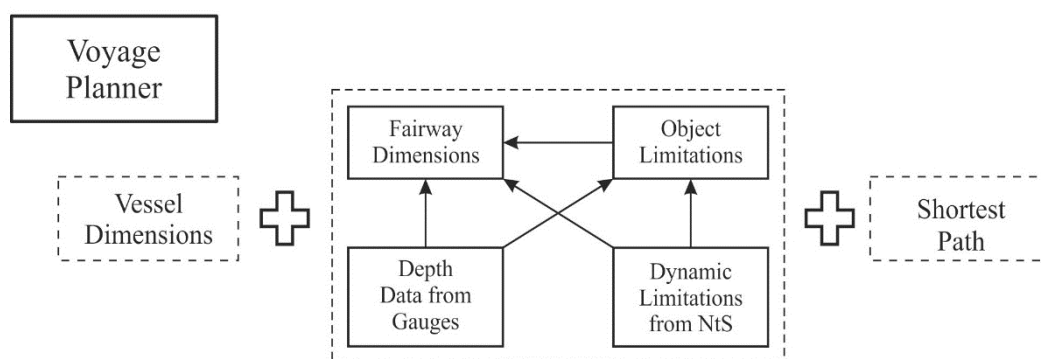


Рис. 3.24. – Процедура роботи RIS COMEX

Нові технології (IoT, A.I., 5G, розпізнавання об'єктів, нові датчики) можуть підтримувати RIS для реалізації нових послуг. Роглянемо технічне рішення мережі моніторингу AtoN на рис 3.25.

Technology decision*

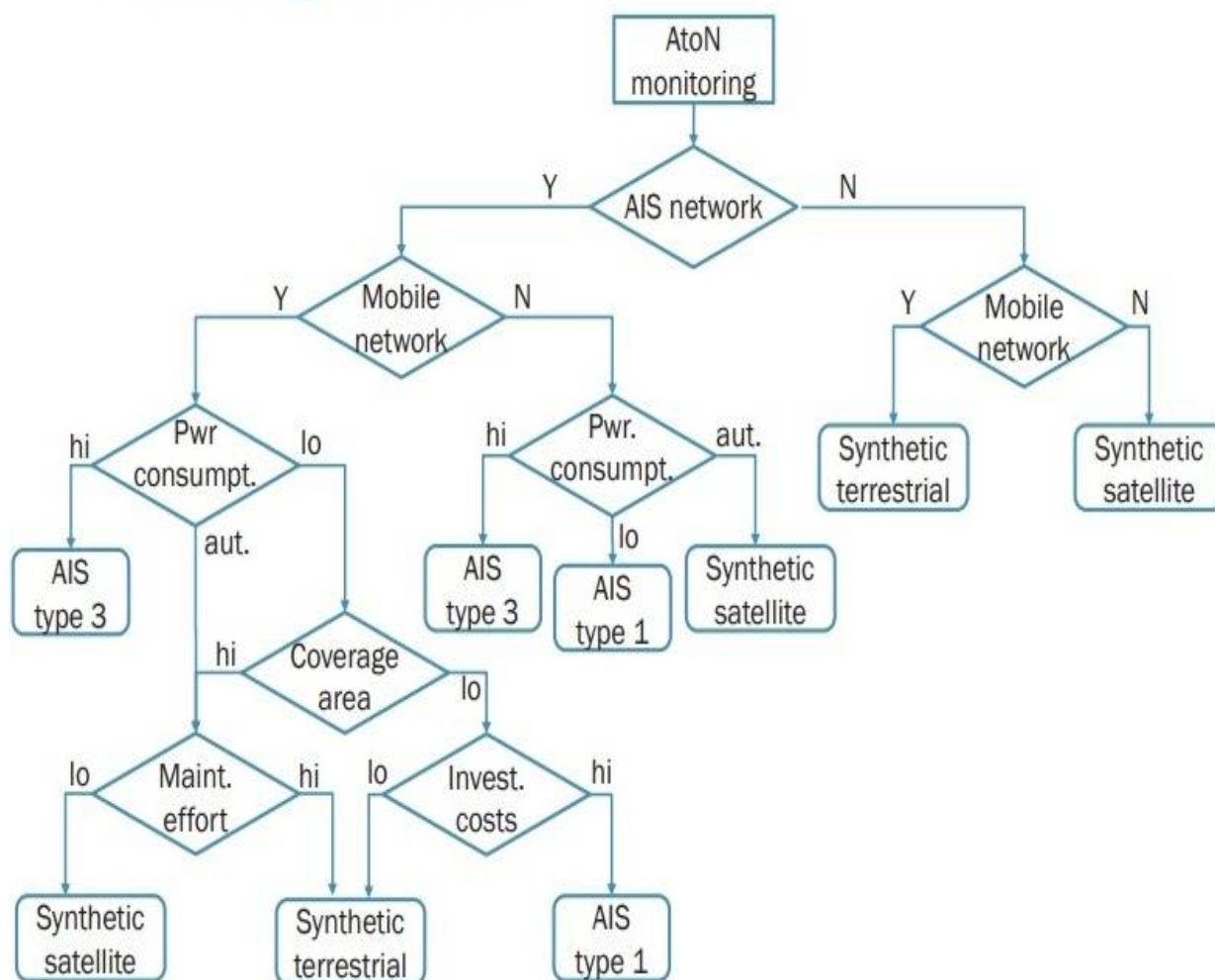


Рис. 3.25. – Технічне рішення мережі моніторингу AtoN

Архітектура РІС повинна бути визначена таким чином, щоб створювані прикладні системи РІС були ефективними, розширюваними та могли взаємодіяти з іншими компонентами РІС або системами для інших видів транспорту. В результаті розробки архітектури РІС повинні бути створені єдині умови для всіх прикладних систем РІС, що забезпечують підвищення експлуатаційних якостей, корисності й ефективності окремих компонентів.

Розширення берегової інфраструктури AIS для внутрішнього судноплавства;

поправка до існуючого управління даними AIS для надання конкретних повідомлень AIS AtoN;

зміна вже робочого середовища для управління, забезпечення та моніторингу AIS AtoN;

Внесення змін до бортової системи ECDIS для внутрішнього судноплавства у співпраці з виробниками ECDIS для внутрішнього судноплавства з метою отримання конкретних повідомлень AIS AtoN і їх візуалізації у бортовій системі.

Оскільки об'єкти в індексі RIS збігаються з об'єктами електронних навігаційних карт для внутрішнього судноплавства (IENC), було вирішено слідувати положенням стандарту IECDIS для внутрішнього судноплавства, зокрема Керівництву з кодування ENC для внутрішнього судноплавства. Зважаючи на фактичний стан виробництва ENC для внутрішнього судноплавства в Європі, стандарт ECDIS для внутрішнього судноплавства є загальним об'єднанням. В якості основи кодування використовується видання 2.3.6 Керівництва з кодування внутрішнього судноплавства ENC. В ENC для внутрішнього судноплавства атрибут [unlocd] використовується для заповнення коду розташування ISRS. Для деяких об'єктів в Inland ENC поки неможливо призначити код місця розташування ISRS, оскільки для них не існує атрибута [unlocd]. Обов'язкові атрибути для цих об'єктів будуть змінені в більш високих версіях стандарту ECDIS для внутрішнього судноплавства, відповідно, в Керівництві з кодування Inland ENC. Таким чином, забезпечується зворотна сумісність. Узгодження об'єктів Індексу RIS з ENC для внутрішнього судноплавства дозволяє реалізувати інструменти управління, відповідно перетворювачі ENC - RIS для внутрішнього судноплавства, які в автоматичному чи напівавтоматичному режимі дозволяють ефективно підтримувати Індекс RIS на національному рівні тільки на основі Inland ENC. Цей підхід також дозволяє проводити перевірки

якості на національному рівні, перш ніж індекс RIS буде представлений в Європейське управління довідковими даними.

Місцезнаходження об'єктів кодується за допомогою коду положення та приєднується до об'єкта додатком NtS з індексом RIS. Код положення об'єкта не повинен надаватися для geo_objects в розділі fairway_section. Повне ім'я об'єкта складається з його коду позиції, коду типу й імені. Щоб полегшити роботу редакторів NtS, в інструментах редактора NtS може бути реалізовано наступне відображення, що підтримує редакторів при пошуку / виборі відповідних об'єктів на основі коду функції RIS Index або коду типу NtS (табл. 3.8.) [47].

Таблица 3.8. - Відповідність функціонального коду RIS Index і NtS

Function Code	Function Code Meaning	Type Code	Type Code Meaning
—	—		
BUAARE	E.1.1 Built-Up Areas		to be selected by editor
BUISGL	E.1.2 Building of Navigational Significance		to be selected by editor
brgare	G.1.1 - G.1.6 Bridge Area [C_AGGR()]	BRI	bridge
bridge_5	G.1.1 Bascule Bridge	BRO	bridge opening
bridge_1	G.1.2 Bridges with Bridge Arches	BRO	bridge opening
bridge_1	G.1.3 Fixed Bridge	BRO	bridge opening
bridge_4	G.1.4 Lift Bridge	BRO	bridge opening
bridge_12	G.1.5 Suspension Bridge	BRO	bridge opening

Продовження Таблиці 3.8.

bridge_3	G.1.6 Swing Bridge	BRO	bridge opening
cblohd	G.1.8 Overhead Cable	CAB	cable overhead
pipohd	G.1.9 Overhead Pipe	PPO	pipeline overhead
bridge_7	G.1.12 Drawbridge	BRO	bridge opening
bunsta	G.3.2 Bunker / Fuelling Station	BUS	Bunker / Fuelling Station
cranes	G.3.4 Crane		to be selected by editor
hrbare	G.3.9 Harbour Area	HAR	harbour
hrbbsn	G.3.10 Harbour Basin	HAR	harbour
ponton	G.3.11 Landing Stage, Pontoon		to be selected by editor
morfac	G.3.12 Mooring Facility	MOO	mooring facility
hulkes	G.3.14 Permanently Moored Vessel or Facility		to be selected by editor
prtare	G.3.15 Port Area	HAR	harbour
refdmp	G.3.17 Refuse Dump	REF	refuse dump
termnl	G.3.19 Terminal	TER	terminal
trm01	G.3.19 RORO-terminal	TER	terminal
trm03	G.3.19 Ferry-terminal	TER	terminal
trm07	G.3.19 Tanker-Terminal	TER	terminal
trm08	G.3.19 Passenger Terminal	TER	terminal

Продовження Таблиці 3.8.

trm08	G.3.19 Passenger Terminal	TER	terminal
trm10	G.3.19 Container Terminal	TER	terminal
trm11	G.3.19 Bulk Terminal	TER	terminal
vehtrf	G.3.20 Vehicle Transfer Location	BER	berth
lokbsn	G.4.3 Lock Basin	LKB	lock basin
lkbspt	G.4.4 Lock Basin Part	LKB	lock basin
lokare	G.4.3 / G.4.4 Lock Area [C_AGGR()]	LCK	lock
excnst	G.4.8 Exceptional Navigational Structure	SLI	ship lift
		TUN	tunnel
		CBR	canal bridge
gatcon	G.4.9 Opening Barrage	BAR	weir
		FLO	flood gate
wtwgag	I.3.4 Waterway Gauge	GAU	tide gauge
FERVRT_2	L.2.1 Cable Ferry	FER	ferry
FERVRT_1	L.2.2. Free Moving Ferry	FER	ferry
feryrt_4	L.2.3. Swinging Wire Ferry	FER	ferry
dismar	L.3.2 Distance Mark along Waterway Axis	RIV	river
achare	M.1.1 Anchorage Area	ANC	anchoring area
achbrt	M.1.2 Anchorage Berth	BER	berth
berths_3	M.1.3 Berth / Fleeting Areas	BER	berth
berths_1	M.1.4 Transshipment Berth	BER	berth
trnbsn	M.4.5 Turning Basin	TUR	turning basin
		CAN	canal
		FWY	fairway

Продовження таблиці 3.8.

rdocal	Q.2.1 Radio Calling-In Point (notification point)	REP	reporting point
chkpnt	R.1.1 Check Point	BCO	border control
sistat_8	R.2.1 Traffic Sistas — Bridge Passage	SIG	signal station
sistat_6	R.2.2 Traffic Sistas — Lock	SIG	signal station
sistat_10	R.2.3 Traffic Sistas — Oncoming Traffic Indicator	SIG	signal station
sistat_2	R.2.4 Traffic Sistas — Port Entry and Departure	SIG	signal station
pas	Passage Points		to be selected by editor
riscen	RIS centre	VTC	vessel traffic centre
specon	Special Construction		to be selected by editor
trafp	Traffic Points (first reporting points)	REP	reporting point
junction	Waterway node / end of waterway / Junction		to be selected by editor
waypt	Waypoint		to be selected by editor

Legend:

green	Direct match (1:1 relation)
yellow	matching example, other TypeCodes possible (1:n relation)
blue	no direct match / to be selected by editor

Кодування лімітуючих періодів. Період обмеження повинен бути закодований наступним чином:

- date_start
- date_end
- time_start
- time_end
- interval_code

Оскільки період обмеження дуже важливий для планування рейсу, він повинен бути закодований відповідно прикладу, який вказано в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. - Лімітуючі періоди

Limitation period	date_start	date_end	time_start	time_end	Interval_code
2005-01-01, 07:00 to 2005-01-31, 20:00	20050101	20050131	0700	2000	Continuous (C)
2005-01-01 to 2005-01-31, each day from 07:00 to 20:00	20050101	20050131	0700	2000	Daily (M)
2005-01-01 to 2005-01-31, every working day (Monday to Friday) from 07:00 to 20:00	20050101	20050131	0700	2000	Monday to Friday (M)
2005-01-01 to 2005-01-21, each week from Monday 07:00 to Friday 20:00	20050103	20050107	0700	2000	Continuous (C)
	20050110	20050114	0700	2000	Continuous (C)
	20050117	20050121	0700	2000	Continuous (C)
2005-01-01 to 2005-01-31, each day from 07:00 to 20:00 with the exception of 2005-01-06	20050101	20050131	0700	2000	Daily (M)
	20050106	20050106			With the exception of (M)

Статус імплементації NtS в Європі

Як приклад розглянемо деякі країни в яких успішно імплементовано NtS (рис. 3.26.).

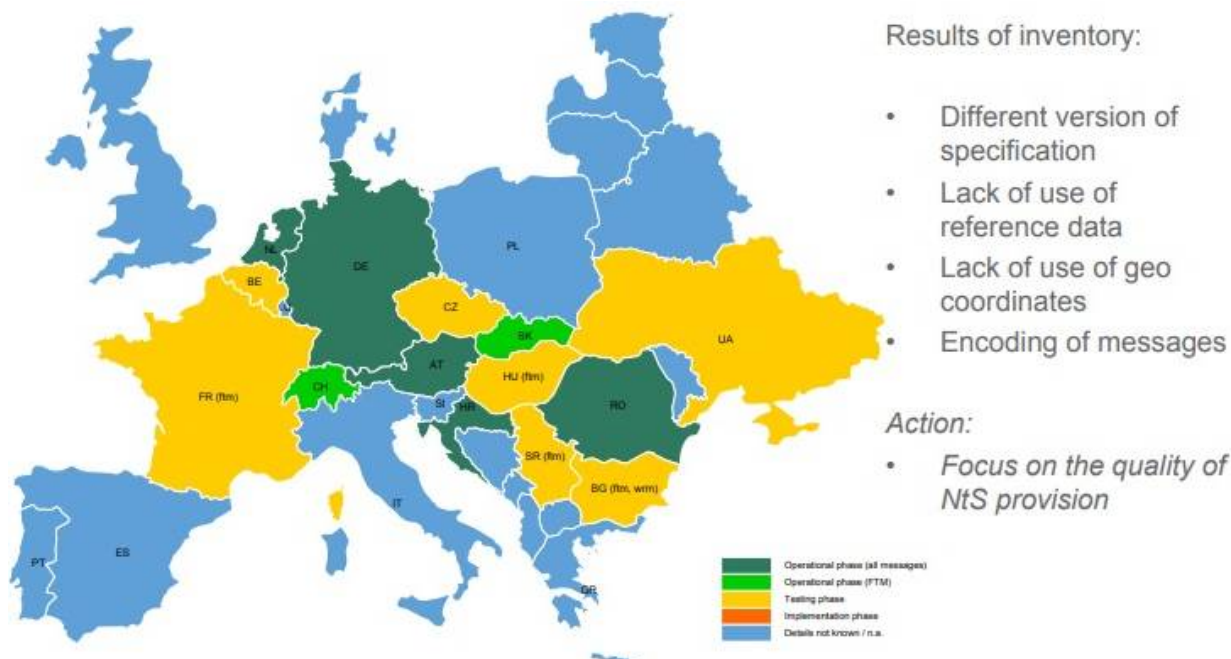


Рис. 3.26. – Імплементація NtS в Європі

Австрійські сповіщення судноводіям надаються Верховним навігаційним керуванням і *viadonau* від імені австрійського міністерства транспорту, інновацій і технологій відповідно до міжнародного стандарту. Новий додаток «Notices to Skippers Edition 3.0» було введено в дію в березні 2011 року в рамках проекту IRIS Europe II.

Стандартизовані повідомлення для судноводіїв надаються в повнотекстовому форматі на німецькій, англійській, французькій та голландською мовами та в кодовому форматі (теги та значення) на всіх 24 мовах стандарту. Також доступні машинозчитувані повідомлення в форматі XML. В Австрії публікуються стандартні повідомлення про фарватер і рух, повідомлення про рівень води та повідомлення льодової обстановки. Крім того, доступні розширені льодові звіти й огляд інформації про фарватер, включаючи стан шлюзу й інформацію про мілководні ділянки (не стандартизовані).

Веб-сайт пропонує можливість підписатися на послугу повідомлення судноводіїв по електронній пошті. Стандартизований веб-сервіс NtS (1.0.3.0) був впроваджений в 2011 році. Після успішного етапу тестування пошук і відображення NtS з Німеччини та Словаччини були включені в австрійському веб-додатку NtS. Щоб зробити повідомлення для судноводіїв ще доступнішими для користувачів, додаток для смартфонів «DoRIS mobile» є безкоштовно для пристроїв Apple й Android з травня 2014 року. DoRIS mobile - це ініціатива *viadonau* спільно з австрійським міністерством транспорту в рамках фінансується ЄС проект TEN-T IRIS Europe 3.

Фламандські водні шляхи. 25 травня 2010 року Фландрія офіційно представила NtS відповідно до Edition 2.0 (XSD Edition 3.2). Сам веб-сайт доступний на чотирьох мовах (голландська, французька, німецька та англійська), з ним можна ознайомитися за адресою.

Карта Фландрії на першій сторінці показує всі актуальні повідомлення, що дають негайне уявлення про поточну ситуацію на фламандських водних шляхах. Користувачі також можуть зареєструватися та вказати свої переваги

(включаючи період часу), щоб отримувати тільки ті повідомлення, які їм цікаві. Крім повідомлень шкіперам, відвідувачі можуть також подивитися час роботи шлюзів і мостів, і в найближчому майбутньому буде доступна інформація про рівень води.

Валлонські водні шляхи. Повідомлення для судноводіїв були адаптовані до директиви RIS в Валлонії. Повідомлення для судноводіїв на внутрішніх водних шляхах Валлонії доступні для скачування на 4 мовах (французька, голландська, англійська, німецька), а також в форматі XML. Список розсилки повідомлень також доступний будь-якому користувачеві, який бажає підписатися.

Існує проект для відображення на карті Валлонії відповідних повідомлень NtS, що дають в реальному часі статус поточної і майбутньої ситуації з водних шляхів в Валлонії (розширені запити). На веб-сайті, можна знайти гідрологічну інформацію, таку як рівень води, а також інформацію про експлуатацію інфраструктури (графік роботи шлюзів, мостів тощо).

Льодова обстановка та режими розвантаження будуть доступні найближчим часом. Інформацію можна отримати по електронній пошті або факсом, також вона транслюється по радіо та телебаченню в діапазоні УКХ, публікуються на різних сайтах.

Площа річки Вестершельдт. Повідомлення для судноводіїв здійснюються в районі річки Вестершельдт (RIS Gemeenschappelijk Nautisch Beheer - GNB) відповідно до Регламенту Комісії (ЄС) № 416/2007 та повністю інтегруються в існуючий портал RIS. Орган управління RIS GNB має можливість створювати повідомлення для судноводіїв за допомогою розширеного та зручного у використанні Редактора повідомлень. Користувачі мають можливість запитувати повідомлення для судноводіїв у вигляді сітки за допомогою безлічі наданих критеріїв вибору. Повідомлення судноводіїв показані на інтерактивній карті в якості додаткової функції і доступні в форматах HTML, XML і PDF. Повідомлення для списку розсилки судноводіїв загальнодоступні. Користувачі можуть підписатися на список

розсилки.

Найбільш часто використовується для інформування судноводіїв в районі річки Вестершельдт - це існуючі повідомлення BASS («Повідомлення в річку Шельдт» і «Взаємні публікації»). Вони доступні на порталі RIS (FIS), а також можуть автоматично перетворюватися та поширюватися у вигляді повідомлень NtS в залежності від вимог органу RIS GNB.

Інформаційна система IVS відповідає за відстеження інформації, пов'язаної з рейсом. Ця система також має можливість інформувати своїх користувачів за допомогою спеціальних повідомлень.

Інтеграція з іншими системами / сторонніми організаціями можлива через веб-сервіси «Notices to Skippers». Файли та документація WSDL доступні на сайті.

Протягом багатьох років орган GNB використовує Центральну брокерську систему (CBS) для обміну інформацією, повідомленнями різного типу з морськими портами та сусідніми органами влади в районі Вестершельдта. CBS також готова обмінюватися повідомленнями між залученими партнерами.

Впровадження річкової інформаційної системи BULRIS на болгарській ділянці річки Дунай почалося в 2010 році. Вона розроблена відповідно до Директиви 2005/44 / EC по PIC, а технічні специфікації BULRIS відповідають правилам Комісії 414/2007, 415/2007, 416/2007, 164/2010. Notice for Skippers - це підсистема BULRIS, реалізована відповідно Standard Edition 3.0. Введення, публікації, зміна повідомлень здійснюються через веб-інтерфейс, доступний з відповідними правами користувача. Система підтримує послугу вилучення за допомогою веб-сайту, а також пропонує послугу розсилки по електронній пошті при підписці. Реалізуються такі повідомлення: повідомлення про фарватер і рух (FTM), повідомлення про рівень води (WRM), льодові повідомлення (ICEM) і повідомлення про погоду (WERM).

Стандартизовані повідомлення для судноводіїв надаються в усіх трьох форматах, визначених у стандарті: повнотекстовий формат німецькою,

англійською, французькою та голландською мовами, формат коду (теги та значення) на всіх 24 мовах стандарту та машинозчитуваний XML-формат. Система також надає веб-сервіс, що дозволяє зовнішнім системам шукати та витягувати повідомлення у вигляді XML, використовуючи ті ж критерії пошуку, що і в сервісі pull.

Додаток «Notices to Skippers» було впроваджено в Хорватії як частина CRORIS (Хорватські річкові інформаційні служби), яке було ініційовано Міністерством транспорту та інфраструктури та виконано Центром розвитку внутрішнього судноплавства. Проект почався в 2003 році. Повідомлення для судноводіїв надаються чотирма офісами капітана порту на внутрішніх водних шляхах Хорватії (Осієк, Вуковар, Славонський Брод, Сисак) для всіх судноплавних внутрішніх водних шляхів в Хорватії (Дунай, Сава, Драва та Купа). Додаток Notices to Skippers в Хорватії розроблено відповідно до міжнародного стандарту Центральної комісії судноплавства по Рейну (ЦКСР). Поточний додаток заснований на Випуску 3.0. У хорватських повідомленнях для судноводіїв доступні три типи повідомлень: повідомлення про фарватері і рух (FTM), повідомлення про рівень води (WRM) і льодові повідомлення (ICEM). Крім хорватського, вся інформація доступна на 11 іноземних мовах: англійській, болгарській, голландською, німецькій, румунською, російською, словенською, сербською, угорською, французькою та чеською. На веб-сайті можна підписатися на послугу «Notices to Skippers» для тих, хто хоче отримувати регулярні оновлення по електронній пошті.

VNF надає повідомлення судноводіям відповідно до стандарту на веб-сайті (в розділі *Avis à la batellerie*). Це стосується географічної інформації та актуальної інформації, такої як обмеження (зміни рівня води) і блокування навігації. Ця інформація може бути отримана за місцем розташування. Повідомлення судноводіям доступні у Франції з 2003 року, вони можуть відправляти повідомлення по факсу або електронною поштою у текстовому форматі. З кінця 2007 року французьке додаток Notices to Skippers може генерувати повідомлення в форматі XML на основі європейського стандарту,

переданого поштою. Крім того, Франція розробила різні інструменти на веб-сайті VNF:

- користувачі можуть ознайомитися з повідомленнями судноводіям на карті;
- планувальник маршрутів, який враховує повідомлення судноводіїв, доступний з серпня 2010 року.

Федеральне управління водних шляхів і судноплавства надає повідомлення судноводіям відповідно до стандарту «Notices to Skippers» на веб-сайті. Стандартизовані німецькі повідомлення судноводіям надаються в форматі коду (теги та значення) на мовах: голландською, німецькою, хорватською, чеською, французькою, англійською, угорською, польською, румунською та словацькою. На сайті також є можливість підписатися на послугу ELWIS-Abo. Ця послуга є безкоштовною та надає повідомлення, пов'язані з фарватером і рухом, повідомлення про воду та льодові повідомлення по електронній пошті (з вкладеним файлом повідомлень в форматі XML або без нього). Також, здійснюється обмін даними з Австрією та Словаччиною.

Сповіднення судноводіям в Україні поширюються УКХ-трансляцією. Необхідно розробити програмне рішення для надання повідомлень NtS через веб-інтерфейс.

Конфіденційність і безпека інформації роботи NtS:

(1) Компетентні органи вживають необхідні заходи для забезпечення конфіденційності, цілісності та безпеки інформації, що спрямовується відповідно до вимог цього стандарту. Вони повинні використовувати таку інформацію тільки для цілей передбачуваних послуг: для боротьби з лихами, прикордонного контролю, митниці.

(2) Угода про обмін по захисту конфіденційності між усіма залученими державними та приватними сторонами має бути укладена для нових заявок на основі Рекомендації 26 ЄЕК ООН, яка містить приклад «Типової угоди про обмін» в загальних рисах.

Метод кодування Document-literal wrapped використовується для веб-служби NtS, оскільки він дозволяє виконувати перевірку за схемою XML, а імена операцій, певні в специфікації WSDL, використовуються безпосередньо як імена тегів XML в SOAP повідомлення.

Інформація про версію веб-служби NtS складається з двох розділів: версія самої веб-служби; версія схеми NtS.

Сам розділ веб-служби складається з двох частин: основна версія веб-служби; додаткова версія веб-служби.

Експертна група NtS визначила технологію веб-сервісу як відповідний засіб для надання повідомлень судноводіям.

Однією з цілей концептуальної схеми є забезпечення балансу між гнучкістю та надійністю кінцевого веб-сервісу. Параметри фільтра, представлені в запитах, по суті є критеріями, зазначеними в стандарті NtS. Це здається доступним, враховуючи варіанти використання веб-служби, і в той же час обмежує складність реалізації.

Основним результатом є контакт для веб-служби, в якому зазначаються запити і відповіді. Споживачі веб-служби можуть розраховувати на договір з використанням міжнародного стандарту WSDL. Кожна держава-член має запровадити одну або кілька веб-служб для різних типів повідомлень NtS (FTM, WRM, ICEM, WERM) і надати їх через Інтернет («Служба повідомлень NtS»). Технічні деталі реалізації NtS WS, наприклад Вибір відповідних даних, додатків і платформ не входить у сферу застосування цієї специфікації і знаходиться у веденні кожної окремої держави-члена.

Щоб визначити безпечний зв'язок, потрібно розглянути різні аспекти безпеки та цілі захисту. Залежно від обставин пріоритет різних аспектів безпеки та ступінь їх виконання можуть відрізнятися. Також здійсненність певної міри може бути обмежена можливостями технічної реалізації. В контексті NtS вся інформація є публічною. Тому кожен провайдер повинен сам вирішити, наскільки цей аспект буде реалізований в його сервісі.

3.4. Висновки за третім розділом

В третьому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання аналізу методів трансформування навігаційної інформації за допомогою PIC та методу динамічного відображення фарватеру на Inland ECDIS. Приведені чиники впливаючі на оцінку ризиків з урахуванням навігаційної інформації в повідомленнях на ділянці водного шляху.

Одержані дані відносно закону розподілу похибки навігаційної інформації в повідомленнях на ділянці водного шляху. Проведений аналіз складу інформації на ділянках водних шляхів р. Дунай, поступаючий на судна показав, що має суттєвий вплив на безпеку провідки суден в стислих умовах. Одержано аналітичні вирази для обсягу і часу трансформування навігаційної інформації на ділянці водного шляху.

Таким чином в розділі дисертаційної роботи представлені матеріали і методи, які необхідні для вирішення першої допоміжної задачі дисертаційного дослідження. Порівняльний аналіз розподілу обсягу навігаційної інформації в повідомленнях за часом показав, що розподіл залежності інформаційної похибки габаритів суднового ходу від істотних параметрів руху судна на ділянці водних шляхів слід розраховувати в припущенні розподілу для експоненціального закону.

Зміст третього розділу опубліковано в роботах [3,6].

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУР ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПРОХОДЖЕННЯ ВОДНИМИ ШЛЯХАМИ В СТИСЛИХ УМОВАХ

4.1. Процедура формалізації основних параметрів для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна водними шляхами в стислих умовах

Оцінка вірогідності безаварійної проводки судна водними шляхами в стислих умовах визначення вірогідності того, що судно не зіткнеться з іншими суднами або небезпеками, не сяде на мілину. Рух судна характеризується шириною його маневреної смуги з безпечною глибиною та висотою. Ширина цієї смуги визначається впливом значного числа чинників випадкової природи, таких як гідрометеорологічні та морфологічні умови, гідродинамічні взаємодії судна з фарватером, надійність і точність прогнозу руху судна під впливом управляючих дій і виникаючих гідродинамічних реакцій, погрішності визначень місця судна з урахуванням повноти обсягу необхідної навігаційної інформації на борту судна протягом допустимого часу. В обмежених умовах водного шляху під впливом управляючих дій навкруги лінії наміченого шляху з'являються бічні відхилення. Оцінка вірогідності морської аварії P при плаванні в обмежених водах, при підході до портів визначається як відношення числа аварійних випадків n до загального числа N всіх можливих проходів за певний період:

$$P = n / N, \quad (4.1)$$

Вірогідність безпечного плавання P_H визначається надійністю системи, яка рівна добутку вірогідності безпеки кожного елементу системи ($P_{Ш}$, P_C і $P_{Л}$)

$$P_H = P_{Ш} * P_C * P_{Л}, \quad (4.2)$$

де $P_{\text{ш}}$ - вірогідність безпеки водного шляху;

$P_{\text{с}}$ - вірогідності безпеки судна;

$P_{\text{л}}$ - вірогідність надійності людини (судноводія).

У дослідженнях [59-61,66-71,84,87] розглядаються питання оцінки вірогідності безпеки водного шляху з урахуванням основних габаритів водного шляху, що дозволяє застосувати моделі розглянуті у пункті

$$P_{\text{н}} = P_{\text{в}} * P_{\text{т}}, \quad (4.3)$$

$$P_{\text{в}} = f(V_{\text{ф}}/V_{\text{п}})$$

$$P_{\text{т}} = f(H_{\text{т}}/T_{\text{с}})$$

де $P_{\text{в}}$ - вірогідність безпеки на водному шляху з урахуванням безпечної ширини $V_{\text{ф}}$ водного шляху та ширини $V_{\text{п}}$ полоси руху судна;

$P_{\text{т}}$ - вірогідність безпеки судна водному шляху з урахуванням безпечної глибини $H_{\text{т}}$ ділянки водного шляху та осадки $T_{\text{с}}$ судна;

Приймаючи, що сумарна погрішність найкоротшої відстані між судном і небезпекою має для великих погрішностей практично двосторонній експоненціальний розподіл вірогідності (Лапласа) з нульовим середнім і середнім квадратичним відхиленням m_D чисельна оцінка навігаційної безпеки визначається виразом:

$$P(\Delta D \leq D) = \Phi(Y), \quad (4.4)$$

Для часто повторюваних статистичних даних аварійності на водних шляхах застосовується двомірна щільність нормального розподілу моделі запропонованої К. Гаусом для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин, а у випадку малої повторюємості, закону розподілу вірогідності випадкових величин Пуассону.

$$P = \iint_{Z_1} f(x, y) \partial x \partial y \quad (4.5)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp \left[- \left(\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right) \right]. \quad (4.6)$$

$$F(x, y) = e^{-\mu_x} \sum_{n=1}^{[x]} \frac{\mu_x^n}{n!} \cdot e^{-\mu_y} \sum_{m=1}^{[y]} \frac{\mu_y^m}{m!} \quad (4.7)$$

де

μ_x, μ_y - математичне сповідання;

σ_x, σ_y - їх дисперсія.

$$P_H = 1 - \exp (D_{min}/M)^2$$

В роботі [77] запропоновано модель формування випадкових величин навігаційних вимірювань, що відрізнявся від моделі запропонованої К. Гаусом для обґрунтування нормального закону розподілу вірогідності випадкових величин. В результаті цього в судноводінні стали розглядати випадкові похибки, які підкорялися змішаним розподілам вірогідності, відмінним від закону Гауса (хоча граничним змішаним розподілом є як раз нормальний закон) [29,65,74-77]. Прийнята гіпотеза про змішаний розподіл похибок добре пояснює експериментальні дані по похибкам навігаційних вимірювань, гістограми яких мають в крайніх розрядах надмірне число членів, що суперечить в якості гіпотези використовувати розподіл Гаусу. Змішані закони розподілу похибок якраз мають «хвости». Недоліком моделей змішаного розподілу є те, що вони не можуть застосовуватися до опису систем залежних випадкових величин. Дослідження авторів показують, що проблема опису систем залежних випадкових величин може бути розв'язана за допомогою узагальненого закону розподілу Пуассона, що використовує як базовий нормальний розподіл.

У дослідженні [74] розглядаються питання законів розподілу вірогідності похибок навігаційної вимірювань початкової вибірки, яка є сумішшю маргінальних вибірок нормально розподілених похибок з різною дисперсією. Отримана процедура оцінки ефективності координат судна з урахуванням змішаних розподілів похибок початкової вибірки. Отримані аналітичні вирази функції розподілу випадкових величин змішаних законів.

Для опису випадкових похибок навігаційних вимірювань з «хвостами, що обважнюють», в роботі [77] пропонуються змішані закони розподілу двох типів і узагальнений пуассонівський закон розподілу. Ступінь відмінності вказаних законів розподілу від закону Гауса характеризується ексцесом розподілу. Шляхом порівняння кривих нормованої щільності змішаних законів розподілу з узагальненим пуассонівським законом розподілу, що мають однаковий ексцес, показано, що при значеннях істотного параметра змішаних законів більше шести нормована щільність змішаного закону співпадає з нормованою щільністю узагальненого пуассонівського закону.

У роботах [59,70] для опису випадкових похибок вимірювань навігаційних параметрів запропоновано узагальнений законом розподілу Пуассону із базовою щільністю Гаусу. Показано, що такому розподілу притаманні «тяжкі хвости» і воно може бути використано для опису системи залежних випадкових похибок. Приведені результати перевірки статистичних гіпотез двох вибірок, які показують перевагу узагальненого закону розподілу Пуассону перед нормальним розподілом. Одним з найважливіших напрямів підвищення безпеки судноводіння в стислих водах є розробка і використання систем управління рухом суден (СУРС - RIS), задачею яких є організація безпечного судноплавства, цьому напрямку присвячені роботи [49- 53].

Проведені дослідження вітчизняними вченими проф.Алексійчуком М.С., Ворохобіним І.І., Міюсовим С.М. [72], із застосуванням імітаційного моделювання оцінки вірогідності проводки судна стислим маршрутом за допомогою двох різних моделей, одна використовувала двомірну щільність

розподілу векторіальної похибки судна, а інша базується на одновимірній щільності похибки його бокового відхилення. Здійсненне порівняння одержаних результатів вірогідностей і підтвердило правомірність використання оцінки вірогідності проводки судна більш простою моделлю з використанням одновимірної щільності похибки його бокового відхилення.

Для оцінки рівня навігаційної безпеки проводки суден на водних шляхах стислих умовах в роботах [66-71,90] проведені дослідження комбінованого методу оцінки навігаційної безпеки. Рішення задач підвищення навігаційної безпеки пов'язано з оцінкою рівнів навігаційних ризиків і прийняттям рішення на використання ресурсів, які парирують навігаційні ризики, це означає вибір оптимальних рішень для максимального віддалення від статичних і динамічних небезпек. Навігаційна безпека проводки суден є якісна характеристика складної організаційно-технічної системи судноводіння, яка включає велику кількість пов'язаних між собою підсистем: судно, навігаційно-гідрографічні та гідро-метеорологічні умови, судноводіїв, інформаційні системи. Для оцінки рівня навігаційної безпеки проводки суден необхідні засоби, які враховують основні властивості організаційно-технічної системи судноводіння з урахуванням різноманіття зв'язків між окремими елементами цієї системи. За своїм характером властивості системи судноводіння можуть бути детермінованими або стохастичними. При детермінованому характері елементів системи судноводіння, оцінка рівня навігаційної безпеки плавання проводиться методами теорії систем. При цьому використовуються математичні моделі руху суден, в яких враховується сукупність гідродинамічних і механічних сил, що впливають на судно [96,75]. Модель керованого руху судна описується системою нелінійних диференціальних рівнянь виду

$$\dot{X}(t) = F(X, t)X(t) + W(X, t)V(t) + B(X, t)U(t)$$

де: X - вектор лінійних і кутових прискорень судна;

$F(X, t)$ - матриця системи, що включає гідродинамічні коефіцієнти даного типу судна, гідродинамічні сили, сили тяжіння і моменти, прикладені до судна, аеродинамічні сили та їх моменти;

$W(X, t)$ - матриця випадкових збурень, які впливають на надводну і підводну частини судна;

$B(X, t)$ - матриці управління;

$X(t)$ - вектор станів, що включає вектор лінійної і кутової швидкостей;

$V(t)$ - вектор випадкових збурень, які впливають на судно;

$U(t)$ - вектор управління.

Даний підхід за своєю суттю є детермінованим, тому що випадкові фактори в кожному циклі моделювання розглядаються як детерміновані, а з подальшим циклом змінюються. В рамках класичної теорії систем проводяться дослідження для формування формалізованої моделі управління судна судноводієм, яка включає етап оцінки обґрунтованості прийняття рішення на маневр, виконання і контроль виконання маневру з урахуванням можливих невизначеностей, надійності та своєчасності отриманої інформації навігаційних систем. Іншим сучасним аналітичним підходом до опису поведінки якісно складної організаційно-технічної системи є уявлення цієї системи байєсівської мережею. Байєсова модель судноводіння є орієнтований граф спеціального виду, в якому вершини графа - основні характерні події, що відображають проявлення закономірних властивостей складної системи судноводіння:

стан системи- морфологічні та гідрометеорологічні умови, навігаційно-гідрографічні умови, здатність судноводія оцінювати навігаційну обстановку і приймати рішення . Ребра графа байєсівської моделі являють собою логічні зв'язки між подіями в вигляді кон'юнкції, диз'юнкції і інверсії.

Декомпозиція подій, включених в граф, повинна проводитися до глибини статистичної незалежності їх між собою. Використання основних правил булевої алгебри логіки дозволяє отримати логічне рівняння здійснення

головного, а в принципі і будь-якої події байєсівської моделі системи судноводіння:

$$y(t) = i \cdot (\& \tilde{y}_k) \cdot (\vee \tilde{y}_\partial),$$

$\&_{k \in k_i}, y_k k_i \in \Phi_i$ — кон'юнктивні умови;

$\vee_{\partial \in \partial_i} \tilde{y}_\partial$ — диз'юнктивні умови.

Перехід від логічного рівняння функціонування якісно складної системи судноводіння до ймовірнісної функції [69] забезпечується використанням аксіом Колмогорова приймає вид ймовірність складної навігаційної ситуації для типової байєсівської моделі судноводіння має вигляд

$$\begin{aligned} P_H = & (Q_8)P_9(Q_{10})(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} + P_1(Q_2)(Q_3)P_4(Q_8)P_{14} + \\ & + (Q_8)P_{10}(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} + P_2(Q_3)P_4(Q_8)P_{14} + (Q_8)P_{11}(Q_{12})P_{13}P_{14} + \\ & P_3P_4(Q_8)P_{14} + (Q_8)P_{12}P_{13}P_{14} + P_8P_{14} - P_3P_4(Q_8)P_{12}P_{13}P_{14} - \\ & P_3P_4(Q_8)P_{11}(Q_{12})P_{13}P_{14} - P_2(Q_3)P_4(Q_8)P_{11}(Q_{12})P_{13}P_{14} - \\ & P_2(Q_3)P_4(Q_8)P_{12}P_{13}P_{14} - P_2(Q_3)P_4(Q_8)P_{10}(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} - \\ & P_3P_4(Q_8)P_{10}(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} - P_1(Q_2)(Q_3)P_4(Q_8)P_{10}(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} - \\ & P_1(Q_2)(Q_3)P_4(Q_8)P_{11}(Q_{12})P_{13}P_{14} - P_1(Q_2)(Q_3)P_4(Q_8)P_{12}P_{13}P_{14} - \\ & P_1(Q_2)(Q_3)P_4(Q_8)P_9(Q_{10})(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} - \\ & - P_2(Q_3)P_4(Q_8)P_9(Q_{10})(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14} - P_3P_4(Q_8)P_9(Q_{10})P_9(Q_{11})(Q_{12})P_{13}P_{14}, \end{aligned} \quad (4.8.)$$

де ,

P_4 - ймовірність здійснення складного події, що характеризує навігаційно-гідрографічні умови району плавання (P_1, P_2, P_3 - ймовірності появи приватних подій);

P_8 - ймовірність здійснення складного події, що характеризує гідрометеорологічні умови району плавання (P_5, P_6, P_7 - ймовірності появи

відповідних окремих подій);

P_{13} - ймовірність здійснення складного події, що характеризує технічний стан судна як складної системи ($P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}$ - ймовірності появи окремих подій);

P_{14} - ймовірність виникнення ситуації, обумовленої впливом факторів, що не залежать від судноводія.

$Q_1 = 1 - P_1$ - ймовірність виникнення ситуації ризику явища, обумовленої впливом факторів.

Кількісна оцінка рівнів навігаційного ризику можлива, якщо відомі статистичні закони здійснення основних подій, включених в Байєсовську модель судноводіння, які можуть бути отримані за результатами експлуатації суден або за допомогою спеціальних експериментів на навігаційних тренажерах.

Крім отримання аналітичних виразів і кількісних величин рівнів навігаційних ризиків, що є досить важливим результатом в теорії безпеки судноводіння, стохастичні байєсовські моделі судноводіння є основою для обґрунтування раціонального використання ресурсів в інтересах управління навігаційними ризиками.

Ситуаційний підхід з використанням байєсовських моделей судноводіння відображає стохастичний характер багатьох факторів, що впливають на ефективність вирішення завдань судноводіння, і дозволяє оцінювати та прогнозувати рівні навігаційних ризиків судноводіння на водних шляхах.

Особливості методу ситуаційного управління наступні [65-71]:

- вимагає великих витрат на створення попередньої бази знань про об'єкт управління, його функціонуванні та способах управління ним. Ці витрати доцільні тільки тоді, коли традиційні шляхи формалізації опису об'єкта управління і процедури управління застосувати неможливо.

- опис ситуацій, що складаються на об'єкті управління (поточних ситуацій), має бути виконане на такій мові, в якій відображалися б усі

основні параметри зв'язку, що необхідні для класифікації цього опису і зіставлення йому однокрокового рішення з управління;

- класифікація ситуацій, об'єднання їх в класи при виконанні однокрокових рішень відбувається на суб'єктивній основі, так як первинна інформація про відповідність тієї чи іншої поточної ситуації того чи іншого рішення виходить від експертів. Система як би підсумовує знання окремих експертів і стає носієм колективного досвіду людей, а отже, має властивість суб'єктивізму знань;

- системи ситуаційного управління не можуть оптимізувати сам процес управління. Вони орієнтовані лише на таке управління, коли досягнуті результати будуть не гірші кращих результатів, які могла б отримати людина. При цьому, результати, що видаються системою, краще людських (тому що відсутній фактор «емоцій» людини, втрата знань і навичок з часом без процедури відновлення). В основі методу ситуаційного управління перебуває поняття семіотичної моделі і взагалі методів семіотичного управління. У тому, що в таких методах використовується саме дана модель, полягає головна відмінність від традиційних методів теорії управління, в основі котрих лежить якась формальна модель. Він істотно доповнює імітаційні методи аналізу навігаційної безпеки плавання.

При розгляді руху суден в стислих умовах та об'єднання чинників в групи з урахуванням вірогідності повторення вираз (4.3.) набуде вигляду (4.9.).

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

P¹- можливість проходки суден в межах рекомендованих габаритів суднового ходу;

P²- можливість контролю місцезнаходження суден відповідно виникаючим умовам на ділянці;

P³- можливість проходки суден в межах рекомендованого суднового ходу з урахуванням ймовірності, характеризуюча технічний стан судна;

P⁴- ймовірність, характеризуюча вплив гідрологічних умов району на глибину та ширину смуги руху суднового ходу;

P⁵- ймовірність, характеризуюча вплив чинників на габарити суднового ходу протягом даної ділянки;

P⁶- ймовірність, характеризуюча вплив чинників на функціональність берегових та плавучих ЗНО суднового ходу;

P⁷- ймовірність, характеризуюча вплив чинників на радіолокаційні ЗНО суднового ходу;

P⁸- ймовірність, характеризуюча повторюваність сприятливій видимості ;

P⁹- ймовірність, характеризуюча зміну гідрологічних характеристик (рівня води, швидкості течії);

$$P_H = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9, \quad (4.9.)$$

де P_i ($i = 1 \div n$) — ймовірності скоєння відповідних подій, включених в граф логіко-ймовірнісної моделі судноводіння на водних шляхах. Загальна вираз для навігаційної безпеки для проходки суден на водних шляхах, який проявляється в разі нездійснення хоча б одного з окремих подій, набуде вигляду

$$P_H = (Q_9) + P_9(Q_4) + P_4(Q_7)P_9 + P_4P_7(Q_8)P_9 + P_4(Q_6)P_7P_8P_9 + P_4(Q_2)P_6P_7P_8P_9 + \\ + P_2(Q_3)P_4P_6P_7P_8P_9 + P_2(Q_5)P_3P_4P_6P_7P_8P_9 + (Q_1)P_2P_3P_4P_6P_7P_8P_9, \quad (4.10.)$$

Розглянутий ситуаційний метод оцінки навігаційної безпеки плавання на водних шляхах, який враховує основні властивості якісно-складної організаційно-технічної системи проходки суден в стислих умовах. При визначенні максимального значення рівня навігаційного ризику використовувалася диз'юнктивна модель, яка визначає рівні ризику при

невиконані хоча б однієї події, включеної в модель ризику; ймовірності виникнення небезпечних навігаційних ситуацій істотні навіть при низьких значеннях ймовірностей обумовлюючих їх окремих подій.

При равнопараметрічному способі завдання окремих ймовірностей внесок кожної події буде визначатися його положенням в графі логіко-ймовірнісної моделі, що дозволяє отримати кількісну оцінку структури розглянутої предметної області.

Підвищення достовірності результатів моделювання може бути досягнуто з урахуванням морфологічних та інформаційно -навігаційних особливостей ділянок водних шляхів та фактичних чисельних оцінок відповідних ймовірностей. Таким чином, сукупність методів імітаційного моделювання та методів моделювання з використанням байесовських мереж дозволяє оцінити навігаційні ризики на водних шляхах.

$$P_{\text{НБ}} = P_{\text{Н}} * P_{\text{І}} \quad , \quad (4.11.)$$

де

$P_{\text{І}}$ - ймовірність, характеризуюча зміну інформаційного складу навігаційного поля ділянки водних шляхів. Загальна вираз навігаційної безпеки для проводки суден, який враховує (4.1.3.) зміну інформаційного складу навігаційного поля ділянки водних шляхів, набуде вигляду

$$P_{\text{НБ}} = P_{\text{В}} * P_{\text{І}} * P_{\text{Т}} \quad , \quad (4.12.)$$

Для обґрунтування запропонованого методу необхідно проаналізувати вибір критеріїв оцінки навігаційної безпеки на ВШ в стислих умовах.

4.2. Процедура оцінки вірогідності безаварійної проводки судна водними шляхами в стислих умовах

Для кількісної оцінки навігаційної безпеки проводки суден на водних шляхах виконано аналіз застосовуваних критеріїв. Пропоновані критерії умовно можна розділити на дві основні групи. Перша група включає критерії, що враховують статистику аварійності і збитків, друга група - критерії, що оцінюють оперативну навігаційну обстановку. Критерії першої групи, представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Критерії надійності судноплавства.

	Аналітична форма запису	Назва
1	$K_Q = A/Q$	Характеризує відношення кількості аварій A , при перевезенні даного виду вантажу, до перевезеного вантажу Q
2	$K_{QL} = A/(Q \cdot L)$	За обсягом виконаної роботи, тобто за кількістю аварій A до перевезеного вантажу Q на відстань L
3	$K_L = A/L$	Характеризує відношення кількості аварій A , при перевезенні 1 тону даного виду вантажу на відстань L
4	$K_N = A/N_C$	Характеризує відношення кількості аварій A , к типу суден N_C в складі флоту
5	$K_{NL} = A/(N_C \cdot L)$	Характеризує відношення кількості аварій A , к типу суден N_C в складі флоту та пройдений відстані в розглянутий період.
6	$K_O = R/A$	Показник тяжких аварій, характеризує відношення збитків R на аварію.
7	$K_N = 365 \cdot A / (N_C \cdot T_{\Sigma} \cdot \tau)$	Безрозмірний коефіцієнт надійності судноплавства з урахуванням коефіцієнта ходового часу τ , періоду експлуатації T_{Σ} , періоду експлуатації, складу флоту N_C , аварійності за рік.

Продовження Таблиці 4.1

8	$D = N_A \cdot 10^6 / (n_A \cdot L_A \cdot 365)$	Безрозмірний коефіцієнт пригод, з урахуванням коефіцієнта аварій n_A на ділянці довжиною L_A та добовою інтенсивністю руху N
9	$d_i = D_i / D_{\min}$	Безрозмірний коефіцієнт пригод, характеризуючий відношення даного виду пригод до обраного у розглянутий період
10	$K_r = f(t)$	Коефіцієнт готовності з урахуванням часу напрацювання на відмову.

Перевагою критеріїв даної групи є те, що на підставі даних статистики аварійних подій можна виділити причино-наслідковий зв'язок і оцінити вплив різних чинників на аварійність, визначити величину збитків і розробити заходи для зниження рівня аварійності. Розглянуті критерії дають оцінку минулих подій, так як умови судноводіння змінюються швидше, ніж накопичення статистики аварій. Тому дані критерії не дозволяють оцінювати поточну навігаційну обстановку і приймати необхідні оперативні заходи.

Таблиця 4.2 Критерії навігаційної безпеки.

№	Аналітична форма запису	Назва
1	$Y = D / m_D$	Відношення дистанції до небезпеки D к СКП ОМС m_D .
2	$Y = 0.5 \cdot B_{\Phi} / \sigma_x$	Відношення півширини фарватеру B_{Φ} до величини бічного ухилення судна σ_x .
3	$Y = B_{y3} / 2M$	Відношення ширини вузкості B_{y3} до величини СКП ОМС $2M$.
4	$K = H - T_C$	Величина кліренсу K оцінюється запасом води під днищем судна з осадкою T_C на глибині H .
5	$Y = H / T_C$	Відношення глибини H до величини осадки T_C .

Продовження Таблиці 4.2

6	$K_I = f(\Delta H_i)$	Інформаційні критерії, що враховують обсяг інформації, що надходить ΔH_i .
7	$U = B \cdot H \cdot R \cdot S \cdot C$	Узагальнений критерій, що показує зв'язок коефіцієнтів, що враховують ширину суднового ходу B , глибину H , радіус кривизни R , дальність видимості S і особливості гідрології C .

Узагальнений критерій 6 запропонований проф. Земляновським Д.К. показує вірогідний зв'язок коефіцієнтів, що враховують ширину суднового ходу B , глибину H , радіус кривизни R , дальність видимості S і особливості гідрології C на ділянці. Однак цей критерій не враховує повноту інформації, що надходить, при використанні технічних засобів навігації.

Тому необхідно уточнити коефіцієнт для різних типів суден і складів, тому що будуть змінюватися коефіцієнти B , R , C . Інформаційні критерії 5 дозволяють оцінити повноту інформації, що надходить і доповнюють критерії 1-3. Величина кліренсу показує запас води під днищем, але не оцінює наближення до небезпеки. Критерій 2 не враховує ширину судна, в результаті оцінка виходить завищеною. Тому для оцінки навігаційної безпеки скористаємося критеріями 1,3. Одним з недоліків критеріїв є те, що вони не враховують повноту інформації, що надходить на борт судна внаслідок зростаючого обміну з береговими інфраструктурами. Для зменшення впливу вищевказаного недоліку пропонується ввести коефіцієнт повноти навігаційної інформації K_I .

Для моделювання оцінки небезпек зіткнення або навалів використовуються методики з застосуванням «зони навігаційної безпеки» навколо кожного судна. В трудах Фудзії і Танака, проф.Цимбала М.М., проф.Мальцева А.С., Бурмака І.О. та великої групи вчених [18-25] були проаналізовані та получили подальший розвиток питання ЗНБ. Узагальнюються концепції двомірних моделей для оцінки безпеки провідки

судна - зон навігаційної безпеки (ЗНБ) судна, що подаються об'єктами геометричних форм: лінійні, прямокутні, багатокутні, кругові, еліптичні та їх класифікація за цілями, завданнями, призначенням, зовнішнім і внутрішнім чинникам, точкам додатки до судна. Удосконалюються узагальнені вирази і параметри моделей ЗНБ. Аналізуються кількісні характеристики різних геометричних форм ЗНБ. Найкращою геометричною формою ЗНБ визнається еліптична. Конфігурація ЗНБ, як єдина абстрактна суцільна деформиєма середина, що рухається з судном, дозволяє представляти поля різних навігаційних параметрів, вирішувати завдання адаптації і визначення керуючих впливів по забезпеченню заданого рівня безпеки проводки суден на водних шляхах в стислих умовах. В концепції двомірної моделі зони навігаційної безпеки (ЗНБ), що моделює простір навколо судна пропонується методика адаптації параметрів ЗНБ шляхом формування зони для визначення безпечної відстані до небезпеки та можливого бічного відхилення в залежності від типу та водотоннажності судна з урахуванням конструктивних особливостей та району плавання (ЗНБ) [64].

Еліптична ЗНБ була вперше запропонована професором Fujii, де a , b - велика і мал піввісь еліпса ЗНБ. Професором Мальцевим А.С. була досліджена відстань до небезпек, $D_{об}$.

Відстань $D_{об}$ задовольняє наступній нерівності:

$$D_{об} \geq S_L + m_D + S_{пр} + S_{трм} + S_{нз} + D_{ост}, \quad (4.13)$$

де

S_L - відстань від місця навігаційного мостика до носового габарита корпусу судна;

m_D - СКП способу визначення відстані до небезпеки;

$S_{пр}$ - відстань, яку пройде власне судно за час ухвалення рішення;

$S_{трм}$ - гальмовий шлях, який проходить судно до повної зупинки,

$S_{нз}$ - навігаційний запас;

$D_{\text{ост}}$ - відстань від небезпеки, на якій зупиниться судно.

Значення S_L і m_D - відомі судноводієві. Величину $S_{\text{пр}}$ можна розрахувати по формулі:

$$S_{\text{пр}} = V_0 \cdot t_{\text{пр}},$$

де

V_0 - поточна швидкість;

$t_{\text{пр}}$ - час прийняття рішення.

З нерівності (4.13) по значенню $S_{\text{трм}}$ отримуємо $V_{\text{без}}$, яка повинна бути менше текучої V_0 .

Якщо $V_{\text{без}}$ визначати по рухомому об'єкту, то формула (4.13) прийме вигляд:

$$S_{\text{трм}} = D_{\text{об}} - S_L - m_D - S_{\text{пр}} - S_{\text{нз}} - S_{L_{\text{ц}}} - m_{D_{\text{ц}}} - S_{\text{прц}} - S_{\text{трмц}} \quad (4.14)$$

де

$S_{L_{\text{ц}}}$ - відстань від антени РЛС до крайньої носової точки іншого судна;

$m_{D_{\text{ц}}}$ - СКП визначення відстані до небезпеки іншого судна;

$S_{\text{прц}}$ - відстань, яку пройде інше судно за час прийняття рішення;

$S_{\text{трмц}}$ - гальмівний шлях, який пройде інше судно.

Складовими частинами, які визначають $V_{\text{без}}$ з урахуванням характеристик повороткості, будуть ті ж, що і по критерію шляху, з різницею, що замість величини $S_{\text{трм}}$:

$$D_{\text{об}} \geq S_L + m_D + S_{\text{пр}} + \ell_1 + D_{\text{ост}} + S_{\text{нз}}. \quad (4.15)$$

У результаті вирішення отримано моделі розрахунку $V_{\text{без}}$ по значенню $D_{\text{об}}$.

Визначення ширини смуги руху при однорядном русі на прямолінійній ділянці:

$$B_{\Pi} = Lc \sin C + Bc \cos C, \quad (4.16)$$

$$C = \alpha + \beta + \gamma$$

де

B_{CX} - ширина суднового ходу на прямолінійній ділянці (м),

$D_{об}$ - частина водного простору, необхідна для безпечного проходу судна, м.

$\Delta B_{ГР}$ – відстань від ізобати гарантованої глибини до межі смуги руху (м);

$\Delta B_{МП}$ – відстань між смугами руху (м), - залежить від гідродинамічної взаємодії корпусів суден та морфологічних умов.

C, α, β, γ - кути дрейфу, відповідно, сумарний, під впливом аеродинамічної складової, гідродинамічний під впливом течій та хвильової (град.)

Визначення ширини суднового ходу при двухрядном русі на прямолінійній ділянці: де

$$B_{CX} = B_{\Pi 1} + \Delta B_{ГР 1} + B_{\Pi 2} + \Delta B_{ГР 2} + \Delta B_{МП} \quad (4.17)$$

$$\Delta B_{МП} = B_c \cdot K$$

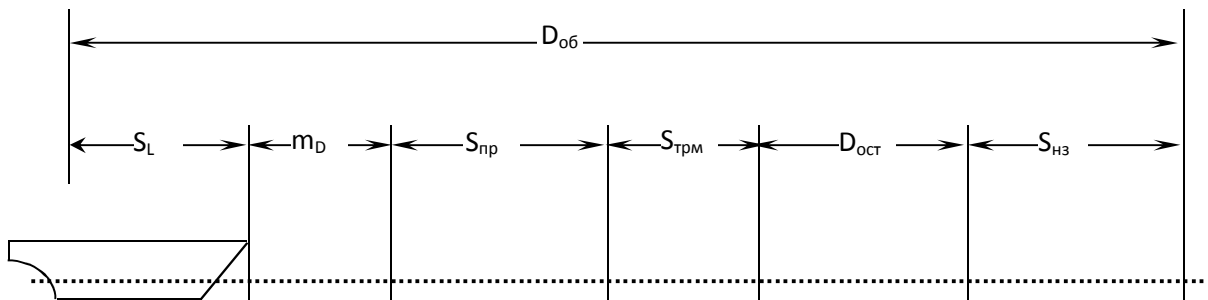


Рисунок. 4.1. Рух судна при виявленні нерухомої небезпеки

З розробок останніх років варто відзначити, що для оцінки безпечної провідки суден застосовуються одномірні та комплексні моделі [32,41,53,59,62,84].

Одномірна модель для оцінки безпеки проходки судна лімітуючої ділянкою водного шляху в межах смуги руху з урахуванням зміни рівня води.

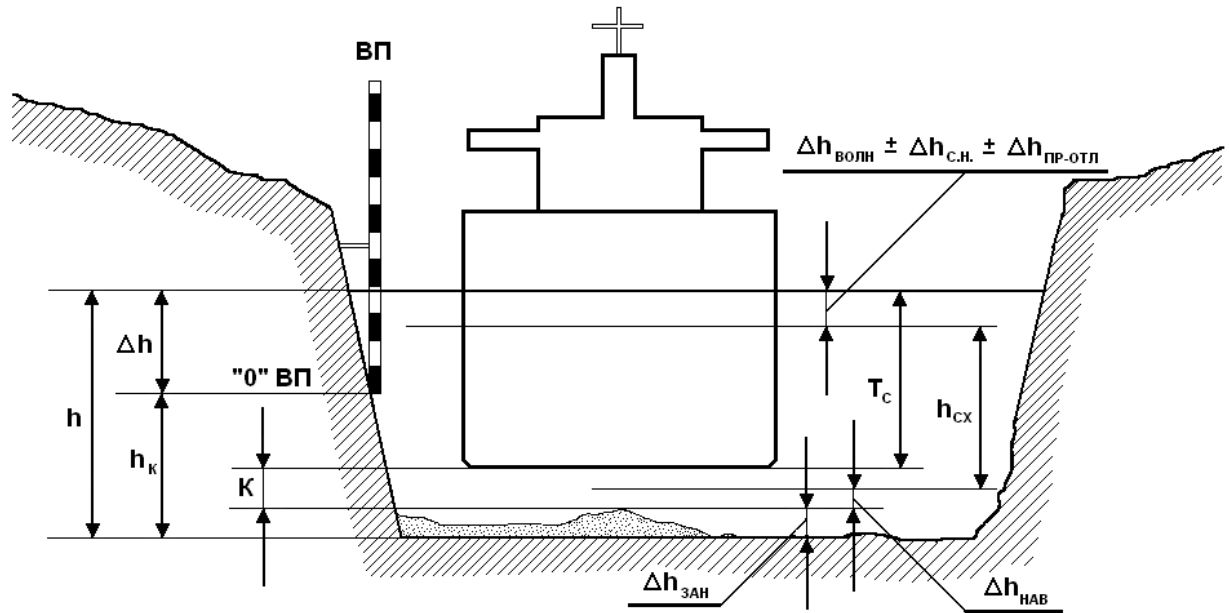


Рисунок 4.2.- Складові одномірної моделі для оцінки безпеки проходки судна з урахуванням зміни рівня води

Розрахунок глибини на лімітуючих ділянках в межах смуги руху:

$$h = h_K + \Delta h \quad (4.18)$$

$$h_{CX} = h - \Delta h_{волн} - \Delta h_{нав} \pm \Delta h_{с.н.} - \Delta h_{зан} \pm \Delta h_{пр-отл} \quad (4.19)$$

$$T = T_c + \Delta T_{нав} \quad (4.20)$$

$$K = h_{CX} - T \quad (4.21)$$

де

T - осадка судна на ходу, (м)

$\Delta T_{нав}$ -сумарна величина зміни осадки судна на ходу, (м):

$\Delta h_{с-н}$ - величина сгіно-нагіних явищ, (м)

$\Delta h_{нав}$ - запас води з урахуванням морфології дна, (м)

$\Delta h_{волн}$ - запас води з урахуванням висоти хвилювання h_v (м)

Δh - поправка, що вводиться за рахунок показань водомірного поста, (м).

K – кліренс - відстань між найнижшої крапкою корпусу судна (суднового обладнання) и найвищої крапки поверхні дна, (м)

Отримані результати досліджень в області безпеки судноводіння визначають нові підходи для розробки алгоритмів функціонування систем навігації, управління судном і забезпечення надійності мореплавання.

Варто відзначити, що для оцінки безпеки проводки суден водними шляхами в стислих умовах з урахуванням розглянутих критеріїв одномірної та двомірної моделей важливою складовою є прогнозування коливання рівня водної поверхні.

4.3. Побудова математичної моделі для прогнозування коливання рівня водної поверхні

У даному розділі розглянемо найбільш придатні математичні моделі, які дозволять відобразити динамічний стан водної поверхні під час дії зовнішніх сил.

Математична модель реального об'єкта, процесу або системи зазвичай представляється у вигляді системи функціоналів:

$$\Phi_i(X, Y, Z, t) = 0, \quad (4.22)$$

де

X – вектор вхідних перемінних, $X=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]t$;

Y – вектор вихідних перемінних, $Y=[y_1, y_2, y_3, \dots, y_n]t$;

Z – вектор зовнішніх впливів, $Z=[z_1, z_2, z_3, \dots, z_n]t$;

t – координата часу.

Кінематична модель (рис. 4.3.)

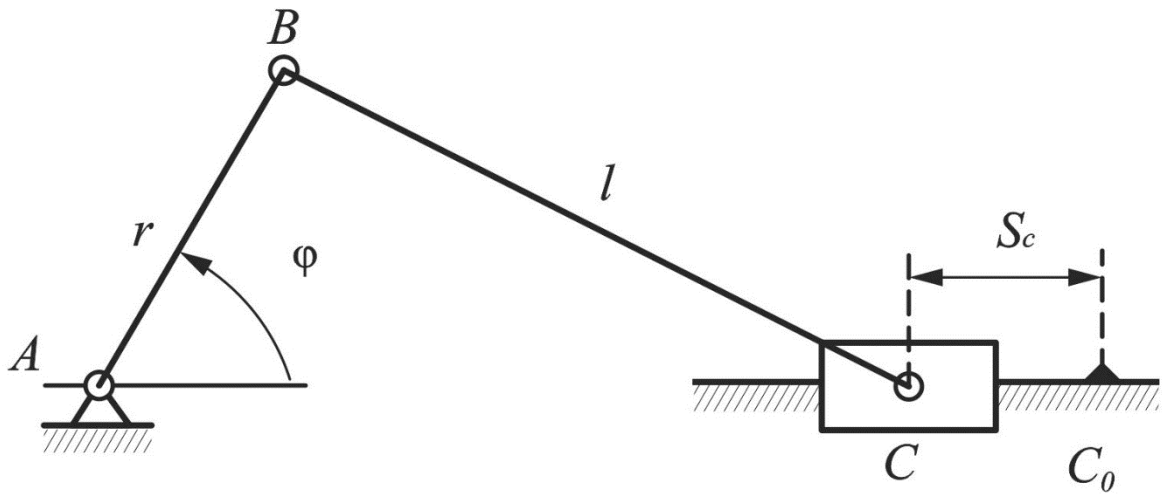


Рис. 4.3. – Кінематична модель

$$\begin{cases} S_c = \gamma \left(1 - \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi \right); \text{ рівняння руху механізму} \\ V_c = \frac{d\varphi}{dt} \gamma \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right); \text{ рівняння для швидкості руху} \\ A_c = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \gamma \left(\cos \varphi + \frac{\lambda}{2} \cos 2\varphi \right); \text{ рівняння для прискорення} \end{cases}$$

$$\int_b^a f(x) dx \approx \sum_{i=1}^{n+1} f(x_i) \Delta x_i; \quad (4.23)$$

де

$x_i = a$ – нижня межа інтегрування;

$x_{n+1} = b$ – верхня межа інтегрування;

n – число відрізків, на які розбитий інтервал інтегрування (a, b) ;

Δx_i – довжина елементарного відрізка;

$f(x_i)$ – значення підінтегральної функції на кінцях елементарних відрізків інтегрування.

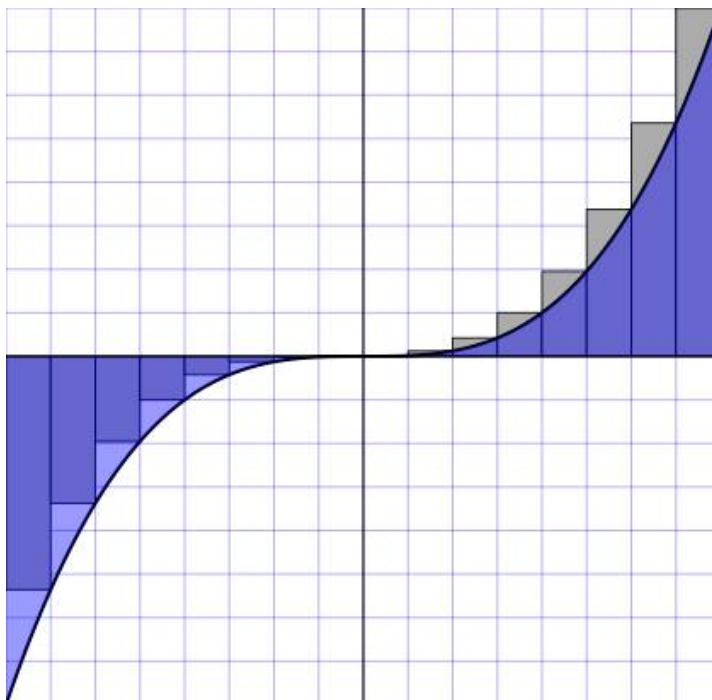


Рисунок. 4.4. – Значення підінтегральної функції

Необхідно вирішити систему рівнянь у вигляді $A\vec{x} = \vec{b}$, де:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad \vec{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix} \quad (4.24)$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + \cdots + a_{n1}x_n = b_1 \\ a_{n1}x_1 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases} \quad (4.25)$$

Перепишемо рівняння у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}x_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \\ \dots \\ a_{(n-1)1}x_1 + a_{(n-1)2}x_2 + \dots + a_{(n-1)(n-1)}x_{n-1} \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{n(n-1)}x_{n-1} + a_{nn}x_n \end{array} \right. = \begin{array}{l} -a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n + b_1 \\ -a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n + b_2 \\ \dots \\ -a_{(n-1)n}x_n + b_{n-1} \\ b_n \end{array} \quad (4.26)$$

В j -м рівнянні ми перенесли в праву частину всі члени, що містять x_i , для $i > j$. Цей запис може бути представлено у наступному вигляді:

$$(L+D)\vec{x} = -U\vec{x} + \vec{b}, \quad (4.27)$$

де D означає матрицю, у якій на головній діагоналі стоять відповідні елементи матриці A , а всі інші нулі; тоді як матриці U і L містять верхню і нижню трикутні частини A , на головній діагоналі яких нулі.

Після вибору відповідного початкового наближення ітераційний процес будується за наступною формулою:

$$(L+D)\vec{x}^{(k+1)} = -U\vec{x}^{(k)} + \vec{b}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4.28)$$

Значення x послідовно обчислюються перетворенням системи:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1^{(k+1)} = c_{12}x_2^{(k)} + c_{13}x_3^{(k)} + \dots + c_{1n}x_n^{(k)} + d_1 \\ x_1^{(k+1)} = c_{21}x_1^{(k+1)} + c_{23}x_3^{(k)} + \dots + c_{2n}x_n^{(k)} + d_2 \\ \dots \\ x_n^{(k+1)} = c_{n1}x_1^{(k+1)} + c_{n2}x_2^{(k+1)} + \dots + c_{n(n-1)}x_{n-1}^{(k+1)} + d_n \end{array} \right. \quad (4.29)$$

де

$$c_{ij} = -\frac{a_{ij}}{a_{ii}}, \quad d_i = -\frac{b_i}{a_{ii}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.30)$$

Таким чином, i -тая компонента наближення обчислюється за формулою:

$$x_i^{(k+1)} = \sum_{j=1}^{i-1} c_{ij} x_j^{(k+1)} + \sum_{j=i+1}^n c_{ij} x_j^{(k)} + d_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (4.31)$$

Умова закінчення ітераційного процесу Зейделя при досягненні точності ε в спрощеній формі має вигляд:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon \quad (4.32)$$

Умова збіжності:

$$|a_{ii}| > \sum_{j \neq i} |a_{ij}|$$

$$\left. \begin{aligned} 0,80x_1 + 0,10x_2 + 0,10x_3 &= 1840, \\ 0,20x_1 + 0,70x_2 + 0,10x_3 &= 1860, \\ 0,05x_1 + 0,05x_2 + 0,90x_3 &= 236. \end{aligned} \right\} \quad (4.33)$$

Умова збіжності виконується:

$$\left. \begin{aligned} |0,80| &> |0,10| + |0,10|; \\ |0,20| &> |0,20| + |0,10|; \\ |0,90| &> |0,05| + |0,05|. \end{aligned} \right\}$$

$$x_1 = \frac{1}{0,80}(1840 - 0,10x_2 - 0,10x_3);$$

$$x_2 = \frac{1}{0,70}(1860 - 0,20x_1 - 0,10x_3),$$

$$x_3 = \frac{1}{0,90}(236 - 0,05x_1 - 0,05x_2).$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= 2300,000 - 0,1250x_2 - 0,1250x_3, \\ x_2 &= 2657,1429 - 0,2857x_1 - 0,1429x_3, \\ x_3 &= 262,2222 - 0,0556x_1 - 0,0556x_2. \end{aligned} \right\}$$

На відміну від систем лінійних рівнянь для систем нелінійних рівнянь невідомі прямі методи рішення.

При вирішенні систем нелінійних рівнянь використовуються ітераційні методи. Їх ефективність залежить від вибору початкового наближення (початкової точки), тобто вектора:

$$\bar{X}^0 > [x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0] \quad (4.34)$$

Преобразуємо систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0, \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0, \\ \dots \\ f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \right. \quad (4.35)$$

до виду:

$$\left\{ \begin{aligned} x_1 &= \varphi_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \\ x_2 &= \varphi_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \\ \dots \\ x_n &= \varphi_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \end{aligned} \right. \quad (4.36)$$

або:

$$x_i = \varphi_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), i = \overline{1, n} \quad (4.37)$$

Вибираємо початкове наближення:

$$\bar{X}^0 = [x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0] \quad (4.38)$$

Знаходимо наближені значення коренів використовуючи значення змінних $k-1$:

$$x_i^k = i(x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, x_3^{k-1}, \dots, x_n^{k-1}), \quad (4.39)$$

Ітераційний процес пошуку припиняється як тільки виконається умова по всім змінним (табл. 4.3):

$$|x_i^j - x_j^{k-1}| \leq \varepsilon, j = \overline{1, n}. \quad (4.40)$$

$$y_i = f(x), i = \overline{0, n}. \quad (4.41)$$

Таблиця 4.3– Умови по всім змінним

i	x	y
0	x ₀	y ₀
1	x ₁	y ₁
2	x ₂	y ₂
...	...	...
i	x _i	y _i
...	...	...
n	x _n	y _n

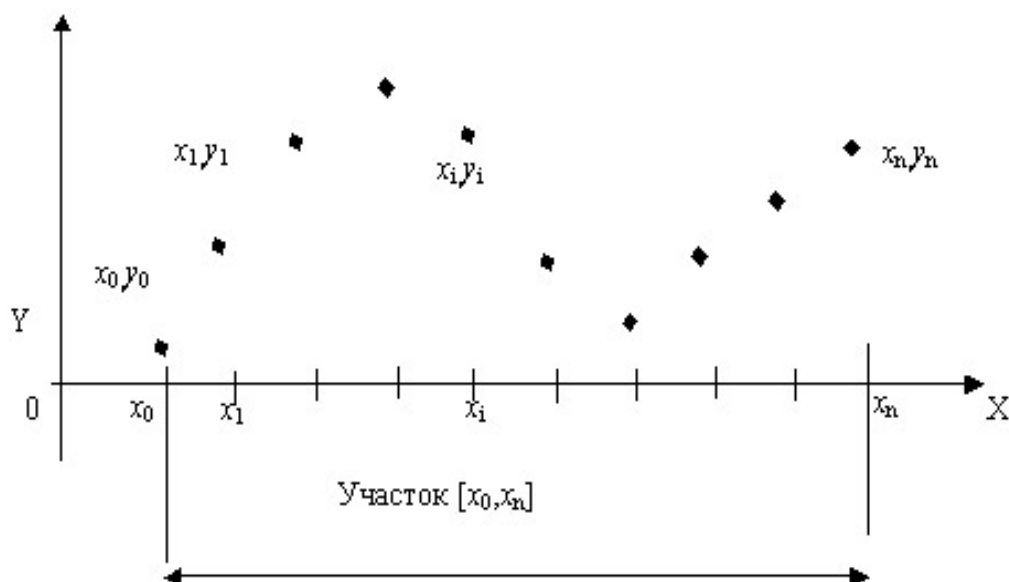


Рисунок. 4.5. – Графік ділянки інтерполяційної численної n (x_i, y_i - вузлові точки)

Для функції, заданої таблично, побудуємо інтерполяційний многочлен ступеня n , який проходить через всі вузлові точки таблиці:

$$P_n(x) = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + a_2 x^{n-2} + \dots + a_{n-1} x^1 + a_n x^0 + a_n, \quad (4.42)$$

В результаті, в будь-якій іншій проміжній точці X_k , розташованій усередині відрізка $[x_0, x_n]$, виконується наближена рівність $P_n(x_k) = f(x_k) = y_k$.

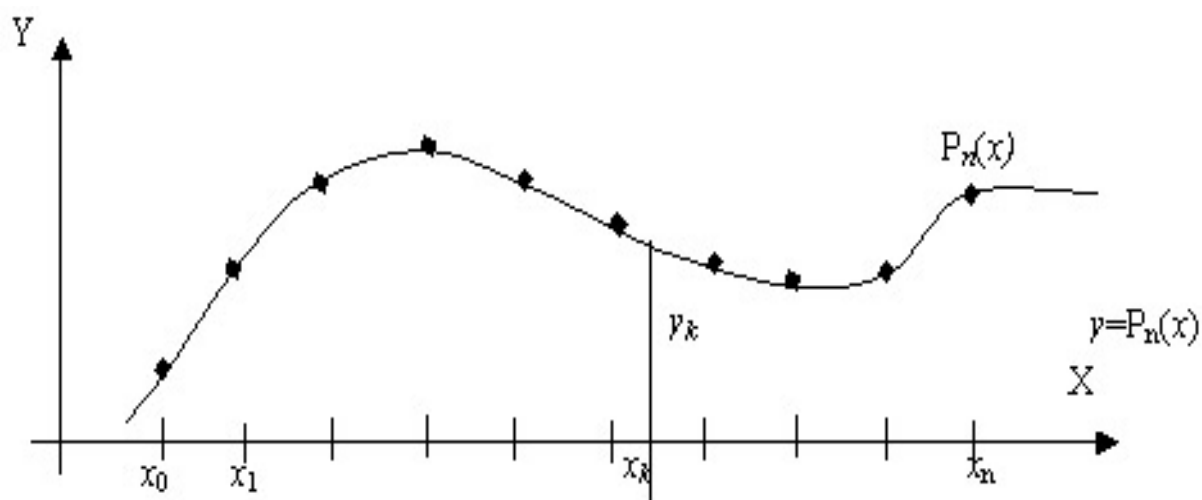


Рисунок. 4.6. – Графік інтерполяційного многочлена

$$\begin{aligned}
L_n(x) = & \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)\dots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)\dots(x_0-x_n)} \cdot y_0 + \\
& + \frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)\dots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)\dots(x_1-x_n)} \cdot y_1 + \\
& + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)\dots(x-x_n)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)\dots(x_2-x_n)} \cdot y_2 + \dots + \\
& + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)(x_n-x_2)\dots(x_n-x_{n-1})} \cdot y_n.
\end{aligned} \tag{4.46}$$

– Якщо $x=x_0$, то $L_n(x_0) = y_0$;

– Якщо $x=x_1$, то $L_n(x_1) = y_1$;

– Якщо $x=x_n$, то $L_n(x_n) = y_n$.

Інтерполяційний многочлен Лагранжа наближає задану табличну функцію, тобто $L_n(x_i) = y_i$ і використовується в якості допоміжної функції для вирішення завдань інтерполяції, тобто:

$$L_n(x_k) \approx y_k \tag{4.47}$$

Чим більше вузлів інтерполяції на відрізку $[x_0, x_n]$, тим точніше інтерполяційний многочлен наближає задану табличну функцію, тобто тим точніше рівність:

$$f(x_k) \approx L_n(x_k) \tag{4.48}$$

При великому числі вузлів зручно знаходити значення функції в проміжних точках, не отримуючи многочлен в явному вигляді.

Диференціальне рівняння другого порядку:

$$y'' = \frac{1}{x} y' - \frac{x^2 - 1}{x^2} y$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{aligned} y(1) &= y(x) \\ y(2) &= y'(x). \end{aligned} \tag{4.49}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{cases} y'(1) = y(2), \\ y'(2) = \frac{1}{x} y(2) - \frac{x^2 - 1}{x^2} y(1). \end{cases}$$

Розглянемо модель руху судна в динамічній системі коливань водної поверхні. Математична модель руху судна як керованої динамічної системи в загальному випадку може бути представлена наступним чином:

$$S(t) = F(t, C, S(0), U(t), L(t), E(t)) \tag{4.50}$$

Де

F - оператор, що характеризує дану конкретну математичну модель;

C - вектор постійних параметрів системи, які характеризують дане конкретне моделіруємо судно;

$S(t)$ - сукупність змінних параметрів, що описують стан системи в момент часу t . Якщо розглядати плоскопаралельний рух судна, можна обмежитися трьома параметрами - координатами, x_0 і y_0 і курсовим кутом q :

$$S(t) = (x_0(t), y_0(t), q(t)) \tag{4.51}$$

$U(t)$ - дії на систему в різні моменти часу: кут перекладки керма $\delta_R(t)$,

частота обертання $n_m(t)$ і крокові ставлення $H/D(t)$ гребного гвинта, положення регулятора підрулюючого пристрою $N_{ПУотн}(t)$, який задає його відносну потужність у відсотках від максимально можливої:

$$U(t) = (\delta_R(t), n_m(t), H/D(t), N_{ПУотн}(t)) \quad (4.52)$$

Нижче розглянемо математичне представлення динаміки процесів рідини на яку діють зовнішні сили. Для ізоентропійним процесів в рідині можна застосовувати рівняння Тета:

$$(p + p^*) \cdot v^n = const \quad (4.53)$$

де p^* - тиск молекулярної взаємодії; n - коефіцієнт, що залежить від властивостей рідини. Для води $p^* \approx 3,2 \cdot 10^8$ Па, $n \approx 7,15$.

Позначимо через dT дотичну силу, діючу на поверхню шару площею dF , тоді:

$$dT = \mu \cdot dF \cdot dw/dy = \mu \cdot dF \cdot gradw \quad (4.54)$$

Досвід показує, що дотична сила T , яку треба докласти для зсуву, тим більше, чим більше градієнт швидкості dw/dy , що характеризує зміну швидкості, що припадає на одиницю відстані по нормалі між шарами. Крім того, сила T пропорційна площі дотику F слоїв, тобто:

$$\tau = -\mu \frac{dw}{dy} \quad (4.55)$$

У такій формі рівняння виражає закон внутрішнього тертя Ньютона, згідно з яким напруга внутрішнього тертя, що виникає між шарами рідини при її перебігу, прямо пропорційно градієнту швидкості. Знак мінус у правій

частині рівняння вказує на те, що дотичне напруження гальмує шар, який рухається з відносно великою швидкістю. Коефіцієнт пропорційності в наведених рівняннях називається динамічним коефіцієнтом в'язкості.

Розмірність динамічного коефіцієнта в'язкості в СІ може бути виражена як:

$$\mu = \frac{dT \cdot dy}{dF \cdot dw} = \left[\frac{H \cdot m}{m^2 \cdot m / c} \right] = [Pa \cdot c], \quad (4.56)$$

В'язкість рідин також можна характеризувати кінематичним коефіцієнтом в'язкості:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4.57)$$

В'язкість крапельних рідин знижується зі зростанням температури. Причини різних залежностей від температури для рідин в тому, що в'язкість крапельних рідин залежить від сил зчеплення між молекулами. У ряді процесів хімічної технології крапельна рідина при русі стикається з газом (або парою) або з іншою крапельною рідиною, практично не змішуючись з першою. Силова взаємодія молекул, які знаходяться на поверхні рідини, і молекул, розташованих далеко від неї, неоднаково. Молекула, розташована на поверхні, знаходиться в симетричному силовому стані, верхня частина силового поля змушена взаємодіяти з молекулами, що знаходяться під поверхнею. В результаті цього потенційна енергія зв'язку в поверхневому шарі збільшується, а сам шар знаходиться в більш напруженому стані. Це явище називають поверхневий натяг. Потенційна енергія зв'язку в поверхневому шарі:

$$dE = \sigma \cdot dF \quad (4.58)$$

де

σ - коефіцієнт поверхневого натягу; dF - являє собою поверхню рідини, що

має порядок dl^2 .

Енергію dE можна уявити як деяку силу, що здійснює роботу на шляху dl , тому:

$$dZdl = \sigma \cdot dl^2$$

або

$$dZ = \sigma \cdot dl \quad (4.59)$$

Таким чином, поверхня рідини стягується силою dZ пропорційною довжині, на якій вона діє. Цю силу називають силою поверхневого натягу. Поверхневий натяг виявляється в тому, що виділений об'єм рідини прагне прийняти сферичну форму, особливо це помітно на малих обсягах - краплях. Дія сили поверхневого натягу призводить до збільшення тиску всередині краплі, спрямованого всередину рідини по нормалі до її поверхні. Поверхневий натяг зменшується зі збільшенням температури. З величиною пов'язані характеристики змочування крапельними рідинами твердих матеріалів. Змочування впливає на гідродинамічні умови протікання процесів в абсорбційних і ректифікаційних апаратах, конденсаторах тощо. Поверхневий натяг значно впливає на розпорошення однієї рідини в іншій, не змішуючись з нею, і тому істотно позначається на гідродинамічних умовах проведення процесів рідинної екстракції. Згідно з основним принципом статки, сума проекцій на осі координат всіх сил, що діють на елементарний об'єм, що знаходиться в рівновазі, дорівнює нулю.

Представлемо рівняння рівноваги для осей x, y, z :

$$\begin{aligned} p \cdot dy \cdot dz - dy \cdot dz \cdot \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) &= 0 \\ p \cdot dx \cdot dz - dx \cdot dz \cdot \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) &= 0 \\ -\rho g \cdot dx \cdot dy \cdot dz + p \cdot dx \cdot dy - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) \cdot dx \cdot dy &= 0 \end{aligned} \quad (4.60)$$

Розкривши дужки, отримаємо:

$$\begin{aligned} p \cdot dy \cdot dz + p \cdot dz \cdot dy - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz &= 0 \\ p \cdot dx \cdot dz - p \cdot dx \cdot dz - \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dx \cdot dy \cdot dz &= 0 \end{aligned} \quad (4.61)$$

$$-\rho g \cdot dx \cdot dy \cdot dz + p \cdot dx \cdot dy - p \cdot dx \cdot dy - \frac{\partial p}{\partial z} \cdot dx \cdot dy \cdot dz = 0$$

Після перетворень отримаємо диференціальні рівняння Ейлера:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (4.62)$$

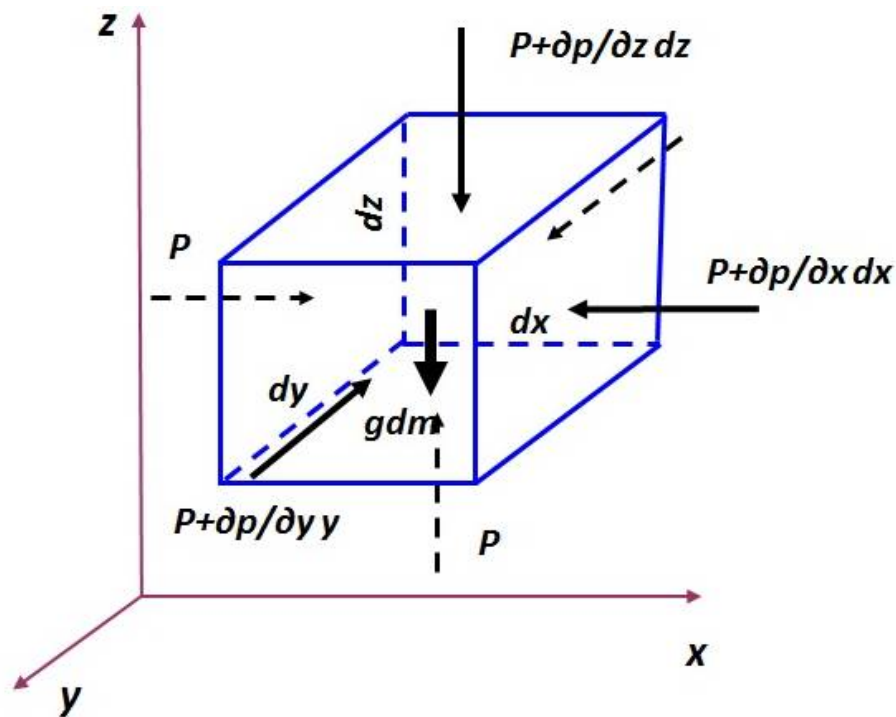


Рис. 4.7. – До висновку диференціальних рівнянь рівноваги Ейлера

Для знаходження закону розподілу тиску в усьому обсязі спочивающей рідини $p=f(x, y, z)$ необхідно проінтегрувати систему рівнянь.

Основне рівняння гідростатики. З рівнянь випливає, що $p=f(z)$, тому що ,

$\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ інакше рідина повинна була б рухатися по горизонталі.

В цьому випадку приватна похідна $\frac{\partial p}{\partial z}$ змінюється на повну похідну $\frac{dp}{dz}$

, тоді:

$$-\frac{dp}{dz} - \rho g = 0; \quad -dp - \rho g \cdot dz = 0; \quad dz + \frac{1}{\rho g} dp = 0; \quad dz + d\left(\frac{p}{\rho g}\right) = 0$$

або

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g}\right) = 0 \quad (4.63)$$

Після інтегрування:

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const} \quad (4.64)$$

Для двох довільних горизонтальних площин 1 і 2 основне рівняння гідростатики має вигляд:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \quad (4.65)$$

Це рівняння можна записати як:

$$z_0 \cdot \rho g + p_0 = z \rho g + p$$

або

$$p = p_0 + \rho g (z_0 - z) \quad (4.66)$$

Рівняння (4.66) є виразом закону Паскаля, згідно з яким тиск, що створюється в будь-якій точці спочиває нестисливої рідини, передається однаково всім точкам її обсягу.

При зміні p_0 в точці z_0 на будь-яку величину тиск p у всякій іншій точці

змінюється на цю ж величину (рис. 4.8).

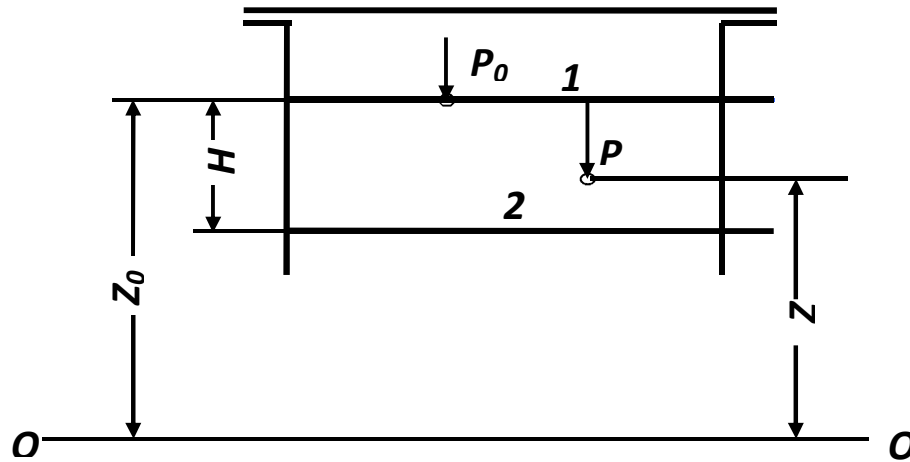


Рисунок 4.8. – До основного рівняння гідростатики

Практичне застосування рівнянь гідростатики. При усталеному русі рідини проекція швидкості

$$w_x = f(x, y, z) ,$$

може бути змінної в будь-який з точок (x, y, z) , але не змінюється з часом, тобто

$$\frac{dw_x}{d\tau} = 0 .$$

На відміну від стаціонарного при несталому або нестаціонарному потоці фактори, що впливають на рух рідини, змінюються в часі:

$$w_x = f(x, y, z, \tau)$$

$$\frac{dw_x}{d\tau} \neq 0 \quad (4.67)$$

Для кожної рухомої частки рідини зміна її параметрів в часі і просторі виражається не приватної, а повної похідної в часі, званої в гідродинаміки субстанціональної похідною. За змістом її називають похідною, наступного за потоком.

Позначимо через u будь-яку величину, що змінюється в потоці рідини як у часі, так і в просторі, наприклад: щільність, тиск, температуру, концентрацію або будь-яку зі складових швидкості рідини в напрямку осей координат w_x, w_y, w_z . Припустимо, що при спостереженні за рухом потоку можна миттєво реєструвати значення параметра u в кожен момент часу і в будь-якій точці потоку. Зміна параметра u в одиницю часу для фіксованої точки простору $(x, y, z) = \text{const}$ виражається приватної похідною $\partial u / \partial \tau$, а зміна u в зазначеній точці за нескінченно малий проміжок часу $d\tau$ становить $\frac{\partial u}{\partial \tau} d\tau$.

Ця зміна є місцевим або локальною зміною даної змінної. При усталеному русі $\partial u / \partial \tau = 0$. Якщо спостерігач переміщається разом з потоком, з будь-якої часткою, то за час $d\tau$ частка потоку переміститься з точки A з координатами (x, y, z) в точку B з координатами, $(x + dx), (y + dy)$, і $(z + dz)$.

В результаті переміщення з точки A в точку B зміни u , відповідні проекція шляху dx, dy, dz , рівні $\frac{\partial u}{\partial x} dx, \frac{\partial u}{\partial y} dy$ і $\frac{\partial u}{\partial z} dz$. Ці зміни не пов'язані зі зміною u в часі в будь-якої фіксованій точці простору. Якби не було локального зміни u , то при переході частинки з точки A в точку B значення змінилося б на величину:

$$du = \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{\partial u}{\partial z} dz \quad (4.68)$$

Цей вираз є конвективною зміною параметра u . Повна зміна при

несталому русі є сумою локальної і конвективної зміни:

$$du = \frac{\partial u}{\partial \tau} d\tau + \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{\partial u}{\partial z} dz \quad (4.69)$$

Звідки виражається зміна параметра за малий проміжок часу:

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{d\tau} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{dy}{d\tau} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{dz}{d\tau}, \quad \frac{dx}{d\tau} = w_x, \quad \frac{dy}{d\tau} = w_y, \quad \frac{dz}{d\tau} = w_z$$

тоді

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{\partial u}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial u}{\partial x} + w_y \frac{\partial u}{\partial y} + w_z \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (4.70)$$

При усталеному русі:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = 0, \quad \frac{du}{d\tau} = w_x \frac{\partial u}{\partial x} + w_y \frac{\partial u}{\partial y} + w_z \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (4.71)$$

Це рівняння являє собою залежність між швидкостями в потоці рідини, для якого виконується умова суцільності, або нерозривності течії, тобто в рідині не утворюється незаповнених порожнин. Рівняння виражає фундаментальний закон збереження маси (витрати). Диференціальне рівняння нерозривності для несталої течії має вигляд:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w_z)}{\partial z} = 0. \quad (4.72)$$

У сталому потоці щільність не змінюється в часі $\left(\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = 0\right)$, тому рівняння нерозривності виглядає так:

$$\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0. \quad (4.73)$$

Рейнольдс показав, що перехід від одного режиму течії до іншого відповідає певному значенню безрозмірною величини:

$$Re = wd / \nu \quad (4.74)$$

де

w - середня швидкість;

d - діаметр каналу;

ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини.

Безрозмірна змінна Re згодом була названа числом або критерієм Рейнольдса. Перехід від ламінарного течії настає при $Re = 2300$. При $Re > 2300$ найчастіше спостерігається турбулентний режим течії. Однак при $2300 < Re < 10000$ режим течії нестійкий турбулентний, або перехідний. Розглянемо усталений потік ідеальної рідини, що рухається без тертя. Як і при виведенні диференціальних рівнянь рівноваги Ейлера, в потоці рідини, що рухається виділяється елементарний паралелепіпед і розглядається рівновага проекцій сил на осі координат. Згідно з основним правилом динаміки, сума проекцій, що діють на елементарний об'єм, дорівнює добутку маси рідини на її прискорення:

для осі x

$$-\frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz = \rho \frac{Dw_x}{Dt} \cdot dx \cdot dy \cdot dz ,$$

для осі y

$$-\frac{\partial p}{\partial y} \cdot dx \cdot dy \cdot dz = \rho \frac{Dw_y}{Dt} \cdot dx \cdot dy \cdot dz , \quad (4.75)$$

для осі z

$$-\left(\rho \cdot g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz = \rho \frac{Dw_z}{Dt} \cdot dx \cdot dy \cdot dz .$$

Розписавши субстанціональні похідні проекцій швидкостей потоку по осях просторових координат:

$$\begin{aligned}\frac{Dw_x}{D\tau} &= \rho \left(\frac{\partial w_x}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} \right); \\ \frac{Dw_y}{D\tau} &= \rho \left(\frac{\partial w_y}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} \right); \\ \frac{Dw_z}{D\tau} &= \rho \left(\frac{\partial w_z}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right);\end{aligned}\tag{4.76}$$

зробивши скорочення, отримаємо для відповідних проекцій диференціальні рівняння рідини для несталого потоку:

$$\begin{aligned}-\frac{\partial p}{\partial x} &= \rho \left(\frac{\partial w_x}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} \right); \\ -\frac{\partial p}{\partial y} &= \rho \left(\frac{\partial w_y}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} \right); \\ -\rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} &= \rho \left(\frac{\partial w_z}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right).\end{aligned}\tag{4.77}$$

Для сталого потоку :

$$\frac{\partial w_x}{\partial \tau} = 0, \quad \frac{\partial w_y}{\partial \tau} = 0, \quad \frac{\partial w_z}{\partial \tau} = 0,$$

тоді:

$$\begin{aligned}-\frac{\partial p}{\partial x} &= \rho \left(w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} \right); \\ -\frac{\partial p}{\partial y} &= \rho \left(w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} \right); \\ -\rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} &= \rho \left(w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right).\end{aligned}\tag{4.78}$$

Системи рівнянь є диференціальні рівняння руху ідеальної рідини Ейлера для несталої і усталеної потоків. Як буде показано нижче, інтегралом рівнянь руху Ейлера для сталого потоку є рівняння Бернуллі, що знайшло широке поширення для вирішення багатьох технічних завдань. При русі в'язкої рідини в потоці, крім сил тиску та тяжкості, діють також сили тертя. Для тривимірного потоку проекція рівнодіюча сил тертя на вісь x має вигляд:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) dx dy dz = \mu \nabla^2 w_x dx dy dz \quad (4.79)$$

Суми проекцій всіх сил на осі координат повинні бути рівні твору маси рідини, укладеної в паралелепіпеді, на проекції прискорення на осі координат:

$$\begin{aligned} \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \right) dx dy dz &= \rho \frac{Dw_x}{D\tau} dx dy dz ; \\ \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \right) dx dy dz &= \rho \frac{Dw_y}{D\tau} dx dy dz ; \\ \left(-\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \right) dx dy dz &= \rho \frac{Dw_z}{D\tau} dx dy dz . \end{aligned} \quad (4.80)$$

Після скорочення отримаємо диференціальні рівняння Нав'є-Стокса, що описують рух в'язкої крапельної рідини:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x &= \rho \frac{Dw_x}{D\tau} ; \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y &= \rho \frac{Dw_y}{D\tau} ; \\ -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z &= \rho \frac{Dw_z}{D\tau} . \end{aligned} \quad (4.81)$$

Відповідні субстанціональні похідні в рівняннях можуть бути виражені

як для несталою, так і сталою плин у рідині. Праві частини рівнянь виражають твір маси одиниці об'єму ρ на проекцію прискорення, тобто являють собою рівнодіючі сили інерції, що виникають в рухомій рідині.

У лівих частинах добудка ρg відображається вплив сил тяжіння, приватні похідні $\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial z}$ – вплив сил гідростатичного тиску, а твір в'язкості на суму других похідних проекцій швидкості - вплив сил тертя на рушійну рідину. Кожен член рівняння має розмірність відповідної сили, віднесеної до одиниці об'єму рідини. Повний опис руху в'язкої рідини можливий шляхом розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса спільно з диференціальним рівнянням нерозривності потоку. Однак рівняння Нав'є-Стокса не можуть бути вирішені в загальному вигляді. Рішення можливо або для простих випадків при введенні ряду припущень, або після перетворення цих рівнянь методами теорії подібності. Рішення рівнянь руху Ейлера для сталою потоку рідини призводить до одного з найбільш важливих і широко використовуваних рівнянь гідродинаміки - рівняння Бернуллі.

Після множення лівих і правих частин диференціальних рівнянь на dx, dy, dz і розподілу їх на щільність рідини ρ отримаємо:

$$\begin{aligned}\rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{dx}{\rho}, \Rightarrow \frac{dx}{d\tau} \cdot dw_x \Rightarrow -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx; \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} \cdot \frac{dy}{\rho}, \Rightarrow \frac{dy}{d\tau} \cdot dw_y \Rightarrow -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy; \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \cdot \frac{dz}{\rho}, \Rightarrow \frac{dz}{d\tau} \cdot dw_z \Rightarrow -g \cdot dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \cdot dz;\end{aligned}\tag{4.82}$$

Складемо ці рівняння, враховуючи, що похідні $dx/d\tau, dy/d\tau, dz/d\tau$ висловлюють проекції w_x, w_y, w_z швидкості на відповідні осі координат, і отримаємо:

$$w_x \cdot dw_x + w_y \cdot dw_y + w_z \cdot dw_z = -g \cdot dz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial p}{\partial z} \cdot dz \right) \quad (4.83)$$

Складові лівій частині рівняння можуть бути представлені як:

$$w_x dw_x = d(w_x^2 / 2), \quad w_y dw_y = d(w_y^2 / 2), \quad w_z dw_z = d(w_z^2 / 2), \quad (4.84)$$

а їх сума:

$$d\left(\frac{w_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{w^2}{2}\right), \quad (4.85)$$

В той же час сума членів, що стоять в дужках в правій частині записаного рівняння, являє собою повний диференціал тиску dp (при сталих умовах тиск залежить лише від положення точки в просторі та не змінюється з часом).

З урахуванням цих перетворень отримаємо:

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - g \cdot dz \quad (4.86)$$

Розділивши обидві частини отриманого рівняння на прискорення сили тяжіння g і перенісши всі члени в ліву частину, знайдемо:

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) + \frac{dp}{\rho} + g \cdot dz = 0 \quad (4.87)$$

Для нестисливої ізотермічної рідини $\rho = \text{const}$ сума диференціалів може бути замінена диференціалом суми:

$$d\left(z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g}\right) = 0, \quad (4.88)$$

тоді після диференціювання отримаємо:

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const} \quad (4.89)$$

Для будь-яких двох поперечних перерізів нерозривного потоку рідини рівняння має вигляд:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (4.90)$$

Рівняння Бернуллі описує рух ідеальної рідини. Величина $z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g}$ представляє повний динамічний напір. Відповідно до рівняння Бернуллі, для всіх поперечних перерізів усталеного потоку ідеальної рідини величина гідродинамічного напору залишається незмінною.

Гідродинамічний напір включає три складові:

z - нівелірну висоту, або геометричний напір, який представляє питому потенційну енергію положення рідини в даній точці;

$\frac{p}{\rho \cdot g}$ - статичний або п'єзометричний натиск, що характеризує питому потенційну енергію тиску рідини в даній точці;

$\frac{w^2}{2g}$ - швидкісний або динамічний напір, що характеризує питому кінетичну енергію рідини в даній точці.

Таким чином, рівняння Бернуллі має певний енергетичний сенс, який полягає в тому, що при сталому русі ідеальної рідини сума питомої

потенційної $\left(\frac{z+p}{\rho \cdot g}\right)$ і питомої кінетичної $\left(\frac{w^2}{2g}\right)$ енергій рідини для кожного з поперечних перерізів потоку залишається величиною постійною.

Перепишемо рівняння Нав'є-Стокса для крапельної рідини в розгорнутому вигляді для вертикальної осі Z :

$$-\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial w_z}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \quad (4.91)$$

Для отримання безрозмірних комплексів, критеріїв подібності, необхідно одну частину рівняння розділити на іншу. Оскільки кожне з доданків рівняння виражає силу, діючу в потоці, то, прийнявши одну з них за одиницю виміру - масштаб сил, безрозмірні комплекси будуть представляти собою співвідношення сил до прийнятого масштабу. За масштаб сил в рухомому потоці приймається сила інерції. Якщо рух рідини стале, то її швидкість не залежить від часу. Член, що характеризує силу інерції після заміни диференціалів кінцевими величинами (операція відкидання знаків математичних операторів), буде мати вигляд:

$$\rho \left(w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \approx \frac{\rho w w}{l} = \frac{\rho w^2}{l} \quad (4.92)$$

де l - визначальний лінійний розмір.

Член, що відображає вплив сил тяжіння на перебіг рідини, дорівнює

Член $\frac{\partial p}{\partial z}$, що характеризує вплив сил тиску, представляється у вигляді

$$\frac{\partial p}{\partial z} \approx \frac{p}{l}.$$

Додаток, що відображає дію сил тертя, представляється як:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) \approx \frac{\mu w}{l^2} \quad (4.93)$$

Розділимо члени однієї частини рівняння на члени іншої його частини та встановимо, таким чином, вирази, що характеризують співвідношення між відповідними силами і силою інерції. Вираз, що характеризує відношення сили інерції і сили тяжіння, називається критерієм Фруда:

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \quad (4.94)$$

Критерій Фруда відображає вплив сил тяжіння, або власної ваги, на рух рідини. Являє собою міру відносини сили інерції до сили тяжіння в подібних потоках.

Співвідношення між силами тиску і інерції являє собою критерій Ейлера:

$$Eu = \frac{p/l}{\rho w^2/l} = \frac{p}{\rho w^2} \quad (4.95)$$

Зазвичай критерієм Ейлера надають інший вид, ввівши в нього замість абсолютного тиску різниця тисків Δp між двома будь-якими точками рідини. Запропоновано застосувати відомий метод математичного моделювання - метод еталонних рівнянь. Основна ідея методу полягає у вираженні шуканого рішення дифференціального рівняння через відоме (еталонне) рішення. Класичний метод еталонних рівнянь розроблений для вирішення звичайних дифференціальних рівнянь, їх систем, а також дифференціальних рівнянь в частних похідних зі скалярним аргументом. Цей метод успішно застосовується в квантовій теорії і теорії поширення хвиль. Однак безпосереднє використання його в гідродинаміці неможливо, оскільки рівняння руху рідини є векторними.

Математична модель руху рідини заснована на системі рівняння Нав'є-Стокса.

Підводячи підсумок, уявімо результат рішення задач про рух рідини між двома коаксіальними циліндрами та концентричними сферами, отриманими на основі модифікованого методу еталонних рівнянь зображеної на рисунку 4.9.

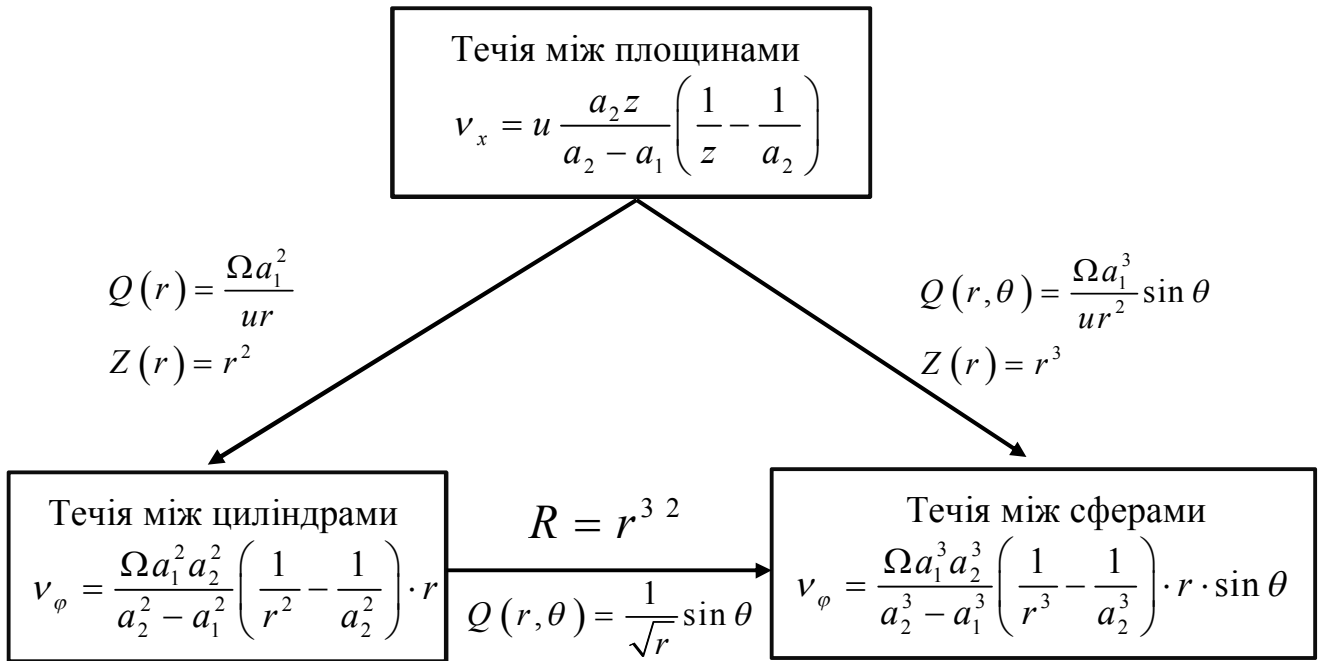


Рис. 4.9. – Схематичне зображення моделювання задач руху рідини між коаксіальними циліндрами та концентричними сферами

Отже, рух рідини підкладки внаслідок дії поверхневих сил описується системою рівнянь. У зв'язку з тим, що кількість ПАВ вважається малим, його рух не робить механічного впливу на рух підкладки. Крім того, поверхнево-активна речовина досить швидко адсорбується в поверхневий шар, і його вже не можна розглядати як окрему рідину. Це дозволяє описувати поширення ПАВ тільки за допомогою рівняння балансу в поверхневостному шарі. У даній системі конвективний перенос ПАВ відбувається значно швидше дифузійного, тобто $\Gamma \vec{v}_\tau \gg D_s \text{grad} \Gamma$.

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} + \operatorname{div}(\Gamma \vec{v}_\tau - D_s \operatorname{grad} \Gamma) + j_n = 0 \quad (4.96)$$

де Γ - концентрація поверхнево-активної речовини в поверхневому шарі;

$\vec{v}_\tau$ - дотична складова швидкості руху рідини на вільній поверхні;

D_s - коефіцієнт дифузії;

j_n - потік ПАВ з об'єму рідини в поверхневому шарі та назад.

Вирази $D_s \operatorname{grad} \Gamma$ і $\Gamma \vec{v}_\tau$ відповідно характеризують дифузний і конвективний механізми перенесення поверхнево-активної речовини.

Тоді рівняння (4.3.75) приймає вигляд:

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} + \operatorname{div}(\Gamma \vec{v}_\tau) + j_n = 0. \quad (4.97)$$

Запишемо крайові умови, що накладаються на систему рівнянь (Граничні умови на вільній поверхні мають вигляд:

$$p_{nn} \big|_S = 0, \quad p_{tt} \big|_S = \operatorname{grad} \alpha. \quad (4.98)$$

Розглянемо початкові та граничні умови. Як і в досліджуваній системі, в модельованій системі відсутнє прослизання рідини на твердій поверхні та рух рідини в початковий момент часу $t = 0$:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{Z=0} &= 0, \\ \bar{V}_{t=0} &= 0. \end{aligned} \quad (4.99)$$

Також зберігається вид граничних умов на вільній поверхні.

Диференціальне рівняння САУ.

Динаміку лінійних автоматичних систем досліджують на основі неоднорідних диференціальних рівнянь n порядку з постійними коефіцієнтами:

$$\begin{aligned} a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{d^2 y}{dt^2} + a_n \frac{dy}{dt} = \\ = b_0 \frac{d^m x}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{d^2 x}{dt^2} + b_m \frac{dx}{dt} \end{aligned} \quad (4.100)$$

де

a_i, b_i - постійні коефіцієнти;

y - керована (вихідна) величина;

x - вхідна величина.

Рівняння описує динамічний процес зміни вихідної величини при наявності зовнішніх впливів.

Рівняння в операторній формі:

$$\begin{aligned} D(p)y &= M(p)x; \\ D(p) &= a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n; \\ M(p) &= b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m \end{aligned} \quad (4.101)$$

де

$p = \frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання;

$D(p)$ - оператор лівої частини;

$M(p)$ - оператор правої частини.

Часто використовують поняття передавальної функції, вираз якої отримують:

$$W(p) = \frac{M(p)}{D(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}; \quad (4.102)$$

Передавальна функція - це відношення операторів правої і лівої частин диференціального рівняння. Знаменник передавальної функції визначає характеристичне рівняння для вихідного рівняння, за допомогою якого описують вільні рухи (наприклад, коливання) системи.

Перетворення Лапласа. Для вирішення диференціального рівняння системи використовують метод аналізу, заснований на перетвореннях Лапласа.

Суть в тому, що функція речових змінних замінюється її зображенням, зв'язок між якими здійснюється через оператор Лапласа:

$$F(p) = \int_0^\infty e^{-pt} f(t) dt \quad (4.103)$$

$F(p)$ - зображення функції;

$p = \frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання або оператор Лапласа;

$f(t)$ - функція речового змінного.

Така заміна дозволяє звести рішення диференціальних рівнянь до найпростіших алгебраїчних операцій для знаходження зображення. А знаючи зображення, можна знайти функцію за спеціальними формулами:

$$\begin{aligned} f^n(t) &\leftrightarrow p^n F(p) \\ F(p) &= \frac{1}{p}, \quad \text{мо } f(t) = 1 \\ F(p) &= \frac{a}{p^2 + a^2}, \quad \text{мо } f(t) = \sin(at) \\ F(p) &= \frac{1}{p + \alpha}, \quad \text{мо } f(t) = e^{-\alpha t} \\ F(p) &= \frac{1}{p + \alpha}, \quad \text{мо } f(t) = e^{-\alpha t} \end{aligned} \quad (4.104)$$

Застосувавши перетворення Лапласа до диференціальних рівнянь, отримаємо зв'язок зображень вхідний і вихідний функцій.

Звідки диференціальне рівняння матиме вигляд:

$$y(p) = W(p) \cdot x(p) \quad (4.105)$$

Передавальна функція матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} \quad (4.106)$$

Амплітудно-фазова частотна (АФЧ). Характеристика системи. Якщо в значення передавальної функції підставити замість оператора p в уявну змінну $j\omega$, то отримуємо рівняння:

$$W(j\omega) = \frac{y(j\omega)}{x(j\omega)} \quad (4.107)$$

Яке визначає амплітудно-фазову частотну характеристику системи. Для лінійних систем передавальна функція характеризує поведінку системи при будь-яких збурень, так як значення $W(p)$ не залежить від форми збурення. Якщо прийняти в якості зовнішнього впливу функцію $f(t)=l$, тобто зображення функції $X(p)=l/p$, то зображення вихідної величини має вигляд:

$$y(p) = \frac{W(p)}{p} \quad (4.108)$$

Таким чином, знаючи передавальну функцію системи, можна отримати зображення керованої величини та за формулами перетворення Лапласа

перейти до динамічної характеристики ланки або системи. Якщо знаменник передавальної функції $W(p)$ прирівняти до 0, то отримаємо характеристичне рівняння, яке описує її вільний рух, тобто математичну модель системи.

Нехай передаточна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{Tp + 1}$$

Отримаємо рівняння для вихідного параметру $y(t)$.

Рішення:

$$y(p) = \frac{W(p)}{p} = \frac{1}{p(Tp + 1)} = \frac{1}{Tp \cdot p + p} = \frac{1/T}{p \cdot p + p \cdot 1/T} = \frac{\alpha}{p(p + \alpha)}$$

Оскільки зображення функції змінення вихідного параметру має отриманий вид, то сама функція має вид:

$$y(t) = 1 - e^{-at}$$

Коливальні ланки. При стрибкоподібному зміні вхідного сигналу, вихідний сигнал коливається відносно нового усталеного значення (положення рівноваги) з амплітудою, загасаючої за експоненціальним законом:

ДИФФУР (ДУ):
$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (4.109)$$

Передаточна функція (ПФ):

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (4.110)$$

АФЧ-ХАРАКТЕР. (АФЧХ): (4.111)

$$W(j\omega) = \frac{k}{T_2^2 (j\omega)^2 + T_1 (j\omega) + 1}$$

T_1 - коефіцієнт, характеризує демпфірування (дисипативні сили);

T_2 - коефіцієнт, характеризує розгойдувані властивості в системі.

Диференційні ланки.

Вихідний сигнал пропорційний швидкості.

ДИФФУР (ДУ):

$$y = k \frac{dy}{dt}$$

- для ідеальної схеми.

$$T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{dx}{dt}$$

- для реальної схеми існує інерційна ланка.

Передаточна функція (ПФ):

$$W(p) = kp$$

АФЧ-ХАРАКТЕР. (АФЧХ):

$$W(j\omega) = k(j\omega)$$

Прикладом є: тахогенератори, ланцюг R-C з підсилювачем.

Інтегруюча ланка. Ланка, в якій вихідна величина пропорційна інтегралу по часу вхідної величини або швидкість зміни вихідного сигналу пропорційна вхідному сигналу.

ДИФФУР (ДУ):

$$y = k \int_0^t x d\tau \quad \text{або} \quad \frac{dy}{dt} = kx \quad - \text{ідеальна схема.}$$

$$T_H \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = kx \text{ - реальна схема, } T_u \text{ - час розгону.}$$

Передаточна функція (ПФ):

$$W(p) = \frac{k}{p}$$

АФЧ-ХАРАКТЕР. (АФЧХ):

$$W(j\omega) = \frac{k}{(j\omega)}$$

Прикладом є: конденсатор, гідроциліндр, пневмоциліндр тощо.

Рівняння нерозривності в просторі має вигляд:

$$\operatorname{div}(\rho v) + \rho'_t = 0$$

або

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \operatorname{div} v \quad (4.112)$$

Звідси, розділяючи змінні, враховуємо початкові умови:

$$\rho|_{t=t_0} = \rho_0(r_0) \quad (4.113)$$

Отримуємо:

$$\rho = \rho_0(r_0) \exp \left[- \int_{t_0}^t (\operatorname{div} v(s, \tau))_{s=\varphi(r; t_0, r_0)} d\tau \right] \quad (4.114)$$

Цей результат можна записати в іншому вигляді, якщо маса середовища не змінюється, то збільшення щільності має бути обернено пропорційним локальному збільшенню обсягу:

$$\frac{D(x, y, z)}{D(x_0, y_0, z_0)} = \begin{vmatrix} \partial x / \partial x_0 & \partial y / \partial x_0 & \partial z / \partial x_0 \\ \partial x / \partial y_0 & \partial y / \partial y_0 & \partial z / \partial y_0 \\ \partial x / \partial z_0 & \partial y / \partial z_0 & \partial z / \partial z_0 \end{vmatrix} \quad (4.115)$$

Який ми для стислості будемо позначати через Dr / Dr_0 . Таким чином:

$$\rho(r, t) = \rho_0(r_0) \left(\frac{Dr}{Dr_0} \right)^{-1} = \rho_0(r_0) \frac{Dr}{Dr_0} \quad (4.116)$$

Звичайно, тут якобіан залежить не тільки від r_0 , але і від t . Щоб висловити відповідь через ейлерові координати, треба підставити

$$\frac{Dr}{Dr_0} = \frac{D\varphi(t_0; t, r)}{Dr}$$

Порівнюючи рівняння (4.3.94) з (4.3.96), ми маємо наступну формулу:

$$\frac{Dr}{Dr_0} = \exp \int_{t_0}^t (\operatorname{div} v(s, \tau))_{s=\varphi(r; t_0, r_0)} d\tau, \quad (4.117)$$

яка зв'язує якобіан деформації середовища з дивергенцією швидкості. Після логарифмування та диференціювання формулу можна переписати так:

$$\frac{d}{dt} \frac{Dr}{Dr_0} = \frac{Dr}{Dr_0} \operatorname{div} v.$$

З формули (4.3.97) випливає наступне, якщо поле швидкостей v задається як однозначна функція ейлерових координат, то:

$$\frac{Dr}{Dr_0} > 0 \quad (4.118)$$

Наведемо прямий вихід формули (4.3.97), для простоти викладок будемо розглядати плоскі руху. Для цього нам знадобиться наступна формула Абеля-Ліувілля - Остроградського, що зв'язує будь-які два рішення $(u_1(t), v_1(t))$ і $(u_2(t), v_2(t))$ лінійної системи диференціальних рівнянь 1-го порядку:

$$u' = a(t)u + b(t)v, \quad v' = c(t)u + g(t)v \quad (4.119)$$

$$\begin{vmatrix} u_1 & u_2 \\ v_1 & v_2 \end{vmatrix} = Ce^{\int [a(t)+g(t)]dt} \quad (4.120)$$

Визначник, що стоїть в лівій частині, складений з рішень системи (4.3.99), називається визначником Вронського або вронскіаном. Для доказу цієї формули позначимо ліву частину буквою D і продиференціюємо:

$$\dot{D} = \frac{d}{dt}(u_1 v_2 - u_2 v_1) = \dot{u}_1 v_2 + u_1 \dot{v}_2 - \dot{u}_2 v_1 - u_2 \dot{v}_1 = (au_1 + bv_1)v_2 + \dots$$

Приведення подібних членів, призводить до рівняння

$$\dot{D} = (a + g)(u_1 v_2 - u_2 v_1) = (a + g)D$$

звідки $\frac{\dot{D}}{D} = (a + g)$. Інтегруючи, приходимо до формули (4.120).

Аналогічна формула справедлива для лінійних систем диференціальних рівнянь 1-го порядку з будь-яким числом шуканих функцій. Рішення $(x(t), y(t))$ системи рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = f_x(x, y, t), \quad \frac{dy}{dt} = f_y(x, y, t) \quad (4.121)$$

Початкові умови $x|_{t=t_0} = x_0$, $y|_{t=t_0} = y_0$, залежать від x_0, y_0 , як від параметрів. Продиференціювавши обидва рівняння (4.3.101) по параметру x_0 , отримаємо:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial x}{\partial x_0} \right) = \frac{\partial f_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x_0} + \frac{\partial f_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x_0}, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial y}{\partial x_0} \right) = \frac{\partial f_y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x_0} + \frac{\partial f_y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x_0}.$$

Аналогічно знаходимо, що похідні $\partial x / \partial y_0, \partial y / \partial y_0$ задовольняють в точності тієї ж системі рівнянь:

$$r = r_0 + \int_{t_0}^t v(r_0, \tau) d\tau \quad (4.122)$$

Будемо писати x_1, x_2, x_3 замість x, y, z і v_1, v_2, v_3 замість v_x, v_y, v_z . Тоді з рівняння (4.122) отримуємо:

$$\frac{\partial x_i}{\partial x_{j0}} = \frac{\partial x_{i0}}{\partial x_{j0}} + \int_{t_0}^t \frac{\partial v_i}{\partial x_{j0}} d\tau = \delta_{ij} + \int_{t_0}^t \frac{\partial v_i}{\partial x_{j0}} d\tau,$$

звідси:

$$\frac{Dr}{Dr_0} = \begin{vmatrix} 1 + \int \partial v_1 / \partial x_{10} d\tau & \int \partial v_2 / \partial x_{10} d\tau & \int \partial v_3 / \partial x_{10} d\tau \\ \int \partial v_1 / \partial x_{20} d\tau & 1 + \int \partial v_2 / \partial x_{20} d\tau & \int \partial v_3 / \partial x_{20} d\tau \\ \int \partial v_1 / \partial x_{30} d\tau & \int \partial v_2 / \partial x_{30} d\tau & 1 + \int \partial v_3 / \partial x_{30} d\tau \end{vmatrix}$$

(всі інтеграли беруться від t_0 до t).

Важливий окремий випадок утворює випадок малих деформацій, коли

частинки рухаються по закону:

$$r = r_0 + \psi(r_0, t) \quad (4.123)$$

Де ψ мало. Тоді елементи якобіана мають вигляд $\delta_{ij} + \frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}}$.

Виписуючи значення визначника через його елементи та розкриваючи всі дужки, отримуємо, що з точністю до членів другого порядку малості:

$$\frac{Dr}{Dr_0} = 1 + \frac{\partial \psi_1}{\partial x_{10}} + \frac{\partial \psi_2}{\partial x_{20}} + \frac{\partial \psi_3}{\partial x_{30}} = 1 + \text{div}_0 \psi(r_0, t) \quad (4.124)$$

де div_0 означає, що дивергенція береться за змінними Лагранжа. Якщо представити:

$$\frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}} - \frac{\partial \psi_j}{\partial x_{i0}} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}} + \frac{\partial \psi_j}{\partial x_{i0}} \right) \quad (4.125)$$

то можна перевірити, що перший доданок в правій частині визначає обертання елемента середовища навколо деякої осі, тоді як другий доданок визначає рівномірне розтягнення (або стиснення) цього елемента за трьома взаємно перпендикулярним напрямкам, зі своїм коефіцієнтом розтягування по кожному з цих напрямків. Покажемо, як знайти ці напрямки. З рівняння (4.3.105) виходить співвідношення, що зв'язує малі збільшення координат до і після деформації:

$$dx_i = dx_{i0} + \sum_j \frac{\partial \psi_j}{\partial x_{j0}} dx_{j0} \quad \left(\sum_j = \sum_{j=1}^3; \quad i = 1, 2, 3 \right);$$

якщо замість $d\psi_i / dx_{j0}$ взяти другий доданок в правій частині (4.3.105), то отримаємо співвідношення:

$$dx_i = dx_{i0} + \frac{1}{2} \sum_j \left(\frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}} + \frac{\partial \psi_j}{\partial x_{i0}} \right) dx_{j0} \quad (4.126)$$

Шукані напрямки після деформації не змінюються, тобто $dx_1:dx_2:dx_3 = dx_{10}:dx_{20}:dx_{30}$.

Позначивши $dx_i/dx_{i0} = 1 + \lambda$, де λ поки невідомо ($1 + \lambda$) і є коефіцієнт розтягування, що відповідає обраному напрямку), отримуємо в силу (106):

$$\lambda dx_{i0} + \frac{1}{2} \sum_j \left(\frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}} + \frac{\partial \psi_j}{\partial x_{i0}} \right) dx_{j0} = 0 \quad (i = 1, 2, 3) \quad (4.127)$$

Таким чином, для відшукування можливих значень dx_{10} , dx_{20} , dx_{30} вийшла система з трьох лінійних однорідних рівнянь з трьома невідомими. Як відомо для існування ненульового рішення у такої системи її визначник повинен дорівнювати нулю:

$$\det \left[\lambda \delta_{ij} + \frac{1}{2} \sum_j \left(\frac{\partial \psi_i}{\partial x_{j0}} + \frac{\partial \psi_j}{\partial x_{i0}} \right) dx_{j0} \right] = 0 \quad (4.128)$$

Це рівняння третього ступеня щодо λ , з якого і можна знайти коефіцієнти розтягування в даній точці. Знайшовши λ з рівняння (4.3.108), можна знайти відповідні значення dx_1 , dx_2 , dx_3 , що визначають шуканий напрямок, з системи (4.3.107).

Лінійне відображення:

$$dx_i = \sum_j a_{ij} dx_j \quad (i = 1, 2, 3) \quad (4.129)$$

щодо коефіцієнтів якого ніякої малості не передбачається, зводиться до комбінації розтягнень за трьома взаємно перпендикулярним напрямом і поворотам. (При цьому якщо коефіцієнт розтягування k по абсолютній величині менше одиниці, то «розтягнення» насправді означає стиснення, а якщо $k < 0$, то до розтягування додається дзеркальне відображення.) Добуток коефіцієнтів розтягування дорівнює коефіцієнту збільшення об'єму при відображенні, тобто в силу, визначник $\det \alpha_{ij}$.

Почнемо з розгляду одиночної частинки маси m_0 , що рухається уздовж осі x під дією деякої сили, спрямованої уздовж цієї осі. Ця сила може здаватися по-різному, внаслідок чого рівняння руху частинки матиме ту чи іншу структуру. Так, сила F може бути задана як функція від положення частини та від часу, тобто $F = F(x, t)$; тоді на підставі 2-го закону Ньютона рівняння руху частинки набуде вигляду:

$$m_0 \ddot{x} = F(x, t), \quad \left(\cdot = \frac{d}{dt} \right) \quad (4.130)$$

Таким чином, основна відмінність від ситуації, полягає в тому, що виявляються заданими не швидкість, а прискорення частини. Силове поле $F = F(x, t)$ в одновимірному випадку завжди має потенціал, тобто функцію $U(x, t)$, для якої

$$F(x, t) = -\frac{\partial U}{\partial x}$$

досить просто покласти при будь-якому x_0

$$U(x, t) = - \int_{x_0}^x F(s, t) ds.$$

Ясно, що потенціал визначено з точністю до довільної функції часу в якості доданка. Потенціал найбільш корисний в автономному випадку, коли він (як і силове поле) не залежить від часу. У цьому випадку рівняння руху є:

$$m_0 \ddot{x} = -U'(x), \quad (4.131)$$

має проміжний інтеграл:

$$m_0 \frac{\dot{x}^2}{2} + U(x) = E (= const), \quad (4.132)$$

у чому легко переконатися за допомогою диференціювання останнього співвідношення по t . Перший доданок в лівій частині являє собою кінетичну, а другий - потенційну енергію частинки, так що проміжний інтеграл (4.132) виражає закон збереження повної енергії частинки, що рухається під впливом автономного потенційного силового поля.

Якщо потенціал $U(x, t)$ являє собою лінійну функцію x , то $\partial U / \partial x$ взагалі не залежить від x , тобто підходимо до рівняння:

$$m_0 \ddot{x} = F(x, t) \quad (4.133)$$

рух частини під дією сили, заданої як функція часу. Наведемо остаточний результат:

$$x(t) = \frac{1}{m_0} \int_{t_0}^t (t - \tau) F(\tau) d\tau + v_0 (t - t_0) + x_0 \quad (4.134)$$

де

$$x_0 = x|_{t=t_0}, \quad v_0 = \dot{x}|_{t=t_0} \quad (4.135)$$

- початкові координати та швидкість частини, які для однозначного визначення закону руху необхідно задати додатково.

Якщо потенціал U є квадратичною функцією x , то сила F , тобто права частина рівняння (4.3.110) (або (4.3.111) в автономному випадку) буде лінійною функцією x .

Сила може бути задана в кожен момент часу як функція стану, тобто координати та швидкості частки; тоді замість (4.3.110) підходимо до рівняння більш загального вигляду:

$$m_0 \ddot{x} = F(\dot{x}, x, t) \quad (4.136)$$

Така сила вже не буде потенційної; рівняння (4.136) виходить, зокрема, якщо в число сил, що впливають на частку, входить демпфуюча сила (наприклад, сила тертя), спрямована протилежно швидкості частинки.

Обмежимося автономним випадком, в якому закони впливу сил на частку не залежать від часу. У цьому випадку рівняння руху (4.136) дещо спрощується та набуває вигляду:

$$m_0 \ddot{x} = F(\dot{x}, x) \quad (4.137)$$

Переходимо від диференціального рівняння другого порядку до системи з двох диференціальних рівнянь першого порядку, так як такі системи допускають більш наочне тлумачення. Для цього введемо в розгляд імпульс $p = m_0 \dot{x}$ частки та перейдемо від рівняння (4.137) до рівносильної системи:

$$\dot{x} = \frac{1}{m_0} p, \quad \dot{p} = F\left(\frac{p}{m_0}, x\right) \quad (4.138)$$

Так як для визначення конкретного руху частини, тобто приватного рішення рівняння (4.137) треба поставити не тільки x , але і $\dot{x}$ або, що рівносильно, p , то природно прийняти, що стан даної системи визначається значеннями x, p . Площина x, p , на якій зображується всілякі стану системи, називається фазовою площиною, кожному закону $x(t)$ еволюції системи, що відповідає рух зображає точки $(x(t), p(t))$ на цій площині. Система рівнянь (4.138) визначає векторне поле на фазовій площині - поле швидкостей зображують точки, кожна з відповідних ліній струму (векторних ліній) відповідає можливому закону зміни стану системи в часі, а весь потік на фазовій площині для цього поля швидкостей відповідає сукупності таких законів.

Поділивши одне з рівнянь (4.138) на інше, можна повністю виключити час і перейти до диференціальних рівнянь:

$$\frac{dp}{dx} = m_0 \frac{F(p/m_0, x)}{p}, \quad (4.139)$$

Припустимо, що в початковий момент часу t_0 частинки розподілені уздовж осі x з щільністю $\rho_0(x)$ і всі частини з координатою x_0 мають при $t = t_0$ один і той самий імпульс $\chi_0(x_0)$; іншими словами, в кожній точці осі x розсіювання швидкості відсутня. (Наприклад, при $t = t_0$ всі частинки могли спочивати, це означало, що $\chi_0(x_0) \equiv 0$). Тоді початкова фазова щільність:

$$n_0^\Phi(x_0, p_0) = \frac{1}{m_0} \rho_0(x_0) \delta(p_0 - \chi_0(x_0)).$$

Розглянемо систему з N невзаємодіючих однакових часток маси m_0 , що рухаються уздовж осі x в силовому полі F . Дія загального випадку, коли ця сила може залежати від координати та швидкості частки, а також від

часу, рівняння руху системи частинок приймають вид:

$$m_0 \ddot{x} = F(\dot{x}, x_i, t) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.140)$$

Будемо вважати, що ця система в кожен момент часу має розкид не тільки по координаті x , але і при кожному значенні x по імпульсу p , іншими словами, близькі частки не зобов'язані мати близькі швидкості. Так як силове поле визначає прискорення часток, але не визначає їх швидкості, то зазначений розкид, якщо він був в початковий момент часу, збережеться й в подальші моменти, тобто сукупність часток в кожен момент часу буде тепер двопараметричний. Зокрема, тепер уже ніщо не заважає часткам в процесі еволюції системи обганяти одна іншу; будемо вважати, що і при такому обгоні частки не взаємодіють, один з одним. При безперервному розкиду швидкостей такий «перехлест» відбувається в усі моменти часу у всіх точках і тому, після переходу до середовища не призводить до появи точок, в яких щільність середовища нескінченна.

Від системи (4.140) з N рівнянь другого порядку можна перейти до еквівалентної системі з $2N$ рівнянь першого порядку:

$$\dot{x}_i = \frac{p_i}{m_0}, \quad \dot{p}_i = F\left(\frac{p_i}{m_0}, x_i, t\right), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.141)$$

Тому стан розглянутої системи частинок визначається зазначенням координат й імпульсів кожної з частинок, тобто може бути зображено точкою в $2N$ -вимірному фазовому просторі координат-імпульсів. Однак для невзаємодіючих ідентичних частинок, що знаходяться в єдиному полі сил, це зображення можна спростити, помітивши, що закони руху різних частинок служать різними приватними рішеннями одного й того ж рівняння другого порядку. Тому стан такої системи можна зображувати сукупністю N точок на одній і тій же фазовій площині, яка відповідає будь-якій з

розглянутих частиць. Таке зображення особливо наочно, якщо силове поле, а тому і система (4.140) і (4.141) автономні, тобто залежать від t . В цьому випадку фазова площина розшаровується на фазовій траєкторії, не пересічній одна з одною, по яких рухаються N точки, що зображують в сукупності розглянуту систему частинок. Якщо розглянута система автономна і сили не залежать від швидкостей частинок, то систему рівнянь (4.141) можна переписати у вигляді:

$$\dot{x}_i = \frac{p_i}{m_0}, \quad \dot{p}_i = -U'(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.142)$$

де $U(x)$ - потенціал силового поля.

У цьому випадку повна енергія кожної частки зберігається:

$$\frac{p_i^2}{2m_0} + U(x_i) = E (= const), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Повна енергія такої системи:

$$H(x_1, x_2, \dots, x_N, p_1, p_2, \dots, p_N) = \frac{1}{2m_0} (p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_N^2) + U(x_1) + U(x_2) + \dots + U(x_N) \quad (4.143)$$

Називається функцією Гамільтона і, звичайно, також залишається незмінною в будь-якому процесі її вільної еволюції. За допомогою цієї функції рівняння (4.142) руху системи можна записати в канонічному вигляді:

$$\dot{x}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.144)$$

Функцію Гамільтона (4.143) для всієї системи можна представити у вигляді суми відповідних функцій для кожної окремої частки:

$$H(x_1, x_2, \dots, x_N, p_1, p_2, \dots, p_N) \equiv H_0(x_1, p_1) + H_0(x_2, p_2) + \dots + H_0(x_N, p_N),$$

де через H_0 позначений гамільтоніан окремої частки. Таке уявлення пояснюється відсутністю взаємодії частин.

На фазовій площині x, p при $t = t_0$ носієм потоку частинок буде служити лінія з рівнянням $p = \chi_0(x)$.

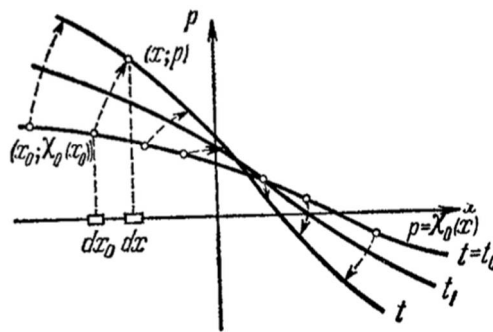


Рис. 4.10. – Зображення графіку $t_0 < t_1 < t$

З плином часу частки переміщуються, і тому лінія - носій сімейства зображених точок середовища - змінює своє положення на фазовій площині (рис. 4.10). Позначимо через:

$$x = \varphi(t, x_0, p_0, t_0), \quad p = \psi(t, x_0, p_0, t_0), \quad (4.145)$$

Отримуємо, що частка має в початковий момент t_0 координату $x = \xi$, яка має змінну швидкість по цілком певному однозначному закону :

$$v = \frac{1}{m_0} \psi(t; \xi, \chi_0(\xi), t_0).$$

Таким чином, ми підходимо до ситуації, з можливим явищем

перехлеста. При виникненні перехлеста в точках « заворота » середовища її щільність звертається в нескінченність. Підкреслимо, що цю можливість необхідно пов'язати з не розсіяною швидкістю. Якщо швидкість розсіяна, так що фазова щільність n^Φ є всюди кінцевої, до того ж швидкість всіх часток обмежена, то і «звичайна» щільність середовища не може звернутися в нескінченність. Це видно з траєкторій на фазовій площині (фазовій траєкторії). В силу автономності даної системи кожна з фазових траєкторій описує однопараметричне сімейство законів еволюції $x = x(t + c)$, $p = p(t + c)$, які утворюються один з іншого простим зсувом у часі. Просторові рухи середовища (плоскі рухи розглядаються аналогічно), причому будемо позначати координати часток буквами x_1, x_2, x_3 . Якщо відомі сили, що діють на ідентичні невзаємодіючі частки, в залежності від їх координат, швидкостей і часу, то рівняння руху кожної частинки набувають вигляду:

$$\dot{x}_i = \frac{p_i}{m_0}, \quad \dot{p}_i = F_i \left(x_1, x_2, x_3, \frac{p_1}{m_0}, \frac{p_2}{m_0}, \frac{p_3}{m_0}, t \right) \quad (i=1,2,3) \quad (4.146)$$

Ми отримуємо поле швидкостей в 6-вимірному фазовому просторі станів частинки (стан частинки характеризується її положенням і швидкістю). Підкреслимо, що через розсіяність швидкості завдання початкової точки в просторі координат не визначає однозначної траєкторії частки. Для цього потрібно задати також і початкові швидкості частки, іншими словами, задати початкову точку в фазовому просторі.

Важливим окремим випадком є той, коли сили, що діють на частки, які не залежать від їх швидкостей, тобто утворюють поле в тривимірному просторі. На відміну від одновимірної картини, таке поле далеко не завжди буде потенційним. Наприклад, таку умову: для потенційності силового поля необхідно та достатньо, щоб робота, вироблена полем при довільному переміщенні частки, залежала тільки від початкового та кінцевого її положення, але не залежала від шляху, що з'єднує ці положення. Найбільш простий випадок, коли потенціал лине по просторовим координатам: тоді

його градієнт не залежить від цих координат, тобто силове поле однорідне, сила може залежати лише від часу. Непотенційним є будь-яке вихрове поле, безвихрове поле в багатозв'язній області з відмінною від нуля циркуляцією, тобто будь-яке поле, для якого сили, що діють на частку, залежать від її швидкості (сили тертя, сили Лоренца, що діють на заряджену частку в магнітному полі тощо).

Рух тривимірного середовища характеризується фазової щільністю $n^\Phi(x_1, x_2, x_3, p_1, p_2, p_3, t)$ задовольняє (при збереженні числа часток в кожній порції). Рівняння нерозривності наступне:

$$\frac{\partial n^\Phi}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \left[\frac{p_i}{m_0} \frac{\partial n^\Phi}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial p_i} (F n^\Phi) \right] = 0 \quad (4.147)$$

Користуючись векторними позначеннями, це рівняння можна переписати так:

$$\frac{\partial n^\Phi}{\partial t} + \frac{1}{m_0} p \cdot \text{grad}_x n^\Phi + \text{div}_p (n^\Phi F) = 0,$$

де індекс при знаку векторної операції вказує на ту сукупність змінних, по якій береться ця операція. Другий член в останньому рівнянні можна переписати також у вигляді $\text{div}_x \frac{n^\Phi}{m_0} p$, звідки видно, що рівняння нерозривності в фазовому просторі має дивергентну форму. За допомогою похідної уздовж траєкторії рівняння (4.147) можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{dn^\Phi}{dt} + (\text{div}_p F) n^\Phi = 0 \quad (4.148)$$

Поряд зі змінними Ейлера x_i, p_i, t можна користуватися змінними Лагранжа

$$x_{i0} = x_i |_{t=t_0}, \quad p_{i0} = p_i |_{t=t_0} \quad (i = 1, 2, 3), \quad t.$$

Рівняння нерозривності в змінних Лагранжа має вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left[n^\phi \frac{D(x_1, x_2, x_3, p_1, p_2, p_3)}{D(x_{10}, x_{20}, x_{30}, p_{10}, p_{20}, p_{30})} \right] = 0. \quad (4.149)$$

З рівняння нерозривності, як і для одновимірного випадку, неважко вивести закон збереження маси. При відсутності сил інваріантний вектор імпульсу (кількості руху) буде:

$$P = \iint n^\phi(x, p, t) p dx dp \quad (4.150)$$

Якщо є сили $F = F(x, p, t)$ то, подібно до одновимірного випадку:

$$\frac{dP}{dt} = \iint F n^\phi dx dp \quad (4.151)$$

Рівняння динаміки моря й океану, що описують усереднену масштабну еволюцію турбулентних термохалінових полів, мають вигляд:

$$\frac{du}{dt} - \left[1 - m \left(\frac{n}{m} \right)' u \right] V + \frac{m}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} v_u \frac{\partial u}{\partial z} + F^u \quad (4.152)$$

$$\frac{dV}{dt} + \left[1 - m \left(\frac{n}{m} \right)' u \right] u + \frac{m}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} v_v \frac{\partial V}{\partial z} + F^v \quad (4.153)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} - g\rho = 0 \quad (4.154)$$

$$m \left[\frac{\partial u}{\partial x} + n \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{V}{m} \right) \right] + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.155)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} v_T \frac{\partial T}{\partial z} + F^T \quad (4.156)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} v_S \frac{\partial S}{\partial z} + F^S \quad (4.157)$$

$$\rho = \rho(T, S, p) \rightarrow D(x, y, z) \quad (4.158)$$

де

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + mu \frac{\partial}{\partial x} + nV \frac{\partial}{\partial x} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

$$F^* = m^2 \frac{\partial}{\partial x} \mu_* \frac{\partial^*}{\partial x} + mn \frac{\partial}{\partial y} \mu_* \frac{n}{m} \frac{\partial^*}{\partial y}$$

Рівняння (4.152-4.158) записуються в лівій системі координат x, y, z . Координата x спрямована вздовж широти, координата y спрямована вздовж довготи, а координата z спрямована вниз від непорушеної поверхні моря. Система (4.152-4.158) розглядається на часовому проміжку $(0, t)$ у тривимірній області D . Область D обмежена межею ∂D , що складається з незворушеної поверхні моря $z = 0$, берегової поверхні Σ , та нижнього рельєфу $H(x, y)$ з нормальним n_H .

Де u, V, w – компоненти вектора швидкості; T – потенційна температура;

S – солоність; p – тиск; ρ – щільність; $\nu_u, \nu_V, \nu_T, \nu_S$ – коефіцієнти вертикальної турбулентної в'язкості та дифузії; $\mu_u, \mu_V, \mu_T, \mu_S$ – коефіцієнти горизонтальної турбулентної в'язкості та дифузії; l – параметр Коріоліса $l = 2\Omega \sin y$; величини m і n – метричні функції у сферичній системі координат, $m = 1/(R \cos y)$, $n = 1/R$, де R – радіус Землі; Ω – кутова швидкість обертання Землі; в декартовій системі координат $m = n = 1$;

F^u, F^V, F^T, F^S – описують процеси турбулентної в'язкості та дифузії.

Граничні умови для рівнянь (4.152-4.158) можна сформулювати так.

Функція $\rho(T, S, p)$, яка визначає рівняння стану морської води, вибирається на основі емпіричних співвідношень. У деяких випадках, наприклад, у мілководних морях щільність може залежати лише від температури та солоності. Рівняння розглядаються в області $D(x, y, z)$ з фіксованою межею. Домен D може бути множинною пов'язаною через наявність окремих островів та континентів.

Традиційно систему рівнянь (4.152-4.158) в океанології називають системою «примітивних» рівнянь загального обігу. Він був отриманий з класичних рівнянь динаміки рідини обертової рідини, використовуючи традиційні наближення: наближення Буссінеска, гідростатику, нестисливість та лінійне закриття:

– у вертикальній координаті, коли $z = 0$

$$v_u \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\tau_x}{\rho_0}, \quad v_u \frac{\partial V}{\partial z} = \frac{\tau_y}{\rho_0}, \quad w = 0, \quad (4.159)$$

$$v_T \frac{\partial T}{\partial z} = \gamma_T (T - T_s) + Q_T, \quad v_S \frac{\partial S}{\partial z} = \gamma_S (S - S_s) + Q_S, \quad (4.160)$$

– у вертикальній координаті, коли $z = H(x, y)$

$$w = m \frac{\partial H}{\partial x} u + n \frac{\partial H}{\partial y} V, \quad (Du, n_H) = 0, \quad (DV, n_H) = 0, \quad (4.161)$$

$$(DT, n_H) = 0, \quad (DS, n_H) = 0,$$

$$(D^*) = \left(\mu_* m \frac{\partial^*}{\partial x}, \mu_* n \frac{\partial^*}{\partial y}, v_* \frac{\partial^*}{\partial z} \right), \quad (4.162)$$

- на латеральній поверхні Σ , при припущенні, що F^u, F^V, F^T, F^S мають вигляд операторів Лапласа

$$u = 0, \quad V = 0, \quad (4.163)$$

$$\mu_T \frac{\partial T}{\partial n} = 0, \quad \mu_S \frac{\partial S}{\partial n} = 0, \quad (4.164)$$

Рівняння (4.152-4.158) дуги, доповнені початковими умовами при $t = 0$, $u = u_0$, $v = v_0$, $T = T_0$, $S = S_0$.

Розширення визначення проблеми: Рівняння циркуляції морів та океанів (4.152-4.158) дуги, сформульовані з припущенням, що в усі моменти рідина стабільно розширюється щодо густини. Цей фізичний стан вимагає відповідного математичного вираження, тобто розширення математичного твердження задачі. З фізичної точки зору, це параметризація процесу підрозділу конвективного перемішування. Цей процес не може бути описаний загальними рівняннями циркуляції і повинен бути параметризований. Введення нелінійної залежності коефіцієнта вертикальної турбулентної дифузії тепла та солі від градієнта щільності потенціалу вздовж вертикального напрямку є однією з можливих параметричних характеристик конвективного процесу перемішування. Наприклад, можна встановити:

$$v_T = v_S \equiv v_{\min} + \frac{v_{\max} - v_{\min}}{2} \left(1 - \operatorname{sign} \left(\frac{\partial \rho_{\text{pot}}}{\partial z} \right) \right) \quad (4.165)$$

або

$$v_T = v_S \equiv v_{\min} \exp \left(\alpha_1 \left[1 - \tanh \left(\alpha_2 \frac{\partial \rho_{\text{pot}}}{\partial z} \right) \right] \right) \quad (4.166)$$

де

ρ_{pot} - потенціальна щільність;

$v_{\max}$, $v_{\min}$, α_1 , α_2 - дугові позитивні константи,

$$v_{\max} \gg v_{\min}, \quad \alpha_1 = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{v_{\max}}{v_{\min}} \right).$$

$$E = \frac{1}{2m_0} \iint (p \cdot p) n^\Phi(x, p, t) dx dp + m_0 \iint u(x) n^\Phi(x, p, t) dx dp \quad (4.167)$$

Для просторової системи можливий новий, за порівнянням з одновимірними випадками, інваріант - векторних моментів кількісних переміщень.

$$G = \iint n^\Phi(x, p, t) x \times p dx dp \quad (4.168)$$

Для інваріантності цього вектора достатньо, щоб все було зроблено радіально, тобто:

$$F(x, \dot{x}, t) = F(x, \dot{x}, t) x^0 \quad \left(x^0 = \frac{x}{|x|}, \quad x = x_1 i + x_2 j + x_3 k \right)$$

Це випливає з аналогічного твердження для кожної; формальний доказ на основі рівняння нерозривності. У визначенні (4.168) моменту кількості руху, в умови його інваріантності істотну роль грає вибір точки, прийнятої за початок координат; іншими словами, момент береться щодо деякої виділеної, зазначеної точки.

Якщо ж є сили $F = F(x, p, t)$, то, подібно до одновимірному випадку:

$$\frac{dP}{dt} = \iint F n^\Phi dx dp$$

А якщо сили не залежать від швидкостей $F = F(x, t)$, то:

$$\frac{dP}{dt} = \int \rho F dx$$

При потенційних автономних силах, тобто для

$$F = -m_0 \text{grad}_x u(x_1, x_2, x_3)$$

інваріантна повна енергія системи.

Запропонована модель дозволяє у інформаційному блоці IECDIS давати графічне відображення динамічного процесу ізобат на частині електронної карти, а також відображення динаміки рельєфу морського дна в 3D зображенні. Дана модель передбачає проводити постійні спостереження за станом зовнішнього середовища, для чого використовували гідрометеорологічний буй, дані з якого заносять в електронний банк даних. В цьому банку зберігаються і в подальшому обробляються такі дані як швидкість, тривалість і напрямок вітру, дані про стан хвилювання (довжина і висота хвилі, а також напрямок її руху), розрахована швидкість придонної течії, зміни рівня водної поверхні та глибини. Використовуючи ці дані, шляхом проведення багатфакторного аналізу визначаємо вагову характеристику кожного елемента зовнішнього середовища. Далі методом ітерацій підбираємо функцію, яка відображає водну поверхню та поверхню дна. Ці функції віднесено до різних масштабів часу, тому приводячи їх до одного масштабу із урахуванням динамічних складових отримаємо «chart dynamic model».

Наведений вище спосіб моделювання динамічної карти дає можливість скласти прогноз замулення морського/річкового дна на заданий період часу. Після порівняння прогнозу з фактичним результатом вводимо поправки в підбрану функцію, т.ч. постійно корегуючи модель.

4.4. Висновки за четвертим розділом

У четвертому розділі розроблені процедури формалізації основних параметрів з метою оцінки вірогідності безаварійної проводки судна на водних шляхах в стислих умовах. Одержані аналітичні вирази для оцінки впливу обмеженості на безаварійність.

Представлена математична модель оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих умовах з урахуванням характеристик району плавання. Показано, що середнє значення вірогідності безпечного плавання з урахуванням частоти перебування суден в стислих районах визначає інтенсивність потоку аварійних випадків внаслідок посадок на мілину. Розглянуто вплив прогнозування рівня води на вірогідність безпечної проводки. Наведений вище спосіб моделювання динамічної карти дає можливість скласти прогноз замулення морського/річкового дна на заданий період часу. Одержані процедури реалізовані в комп'ютерній програмі.

Зміст четвертого розділу опубліковано в роботах [82-84,88,91].

РОЗДІЛ 5.

ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ БЕЗПЕЧНОГО ПЛАВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

5.1. Опис імітаційної комп'ютерної програми

Для перевірки коректності одержаних процедур оцінки вірогідності безпечної проводки судна водними шляхами при відомій точності контролю місцеположення судна була розроблена комп'ютерна імітаційна програма, що складається з декількох модулів.

За допомогою першого модуля проводиться формування маршруту проводки судна на ділянці водного шляху з оцінкою вірогідності безпечної проводки судна маршрутом з урахуванням інформаційних навігаційних похибок на ділянці водного шляху та застосуванням способу віртуальних ЗНО.

Вибір маршруту проводки судна за допомогою інформації електронної карти ЕКНІС РІС проводиться за допомогою другого модуля імітаційної програми.

Розглянемо перший модуль імітаційної програми, який зображено на рис. 5.1.

У реальних ситуаціях проводки суден при зближенні з небезпеками можуть виникати чинники, що не дозволяють вибирати для маневрування оптимальне значення моменту початку маневру, наприклад, інші судна, плавальні засоби, відсутність навігаційної інформації стосовно зміни габаритів водного шляху (ширини, глибини, висоти) на рис. 5.2. У таких ситуаціях необхідно вибирати момент часу t_n найближчий до оптимального значення t_o , який забезпечує маневрування при заданих умовах на ділянці водних шляхів при значенні $D > D_{min}$.

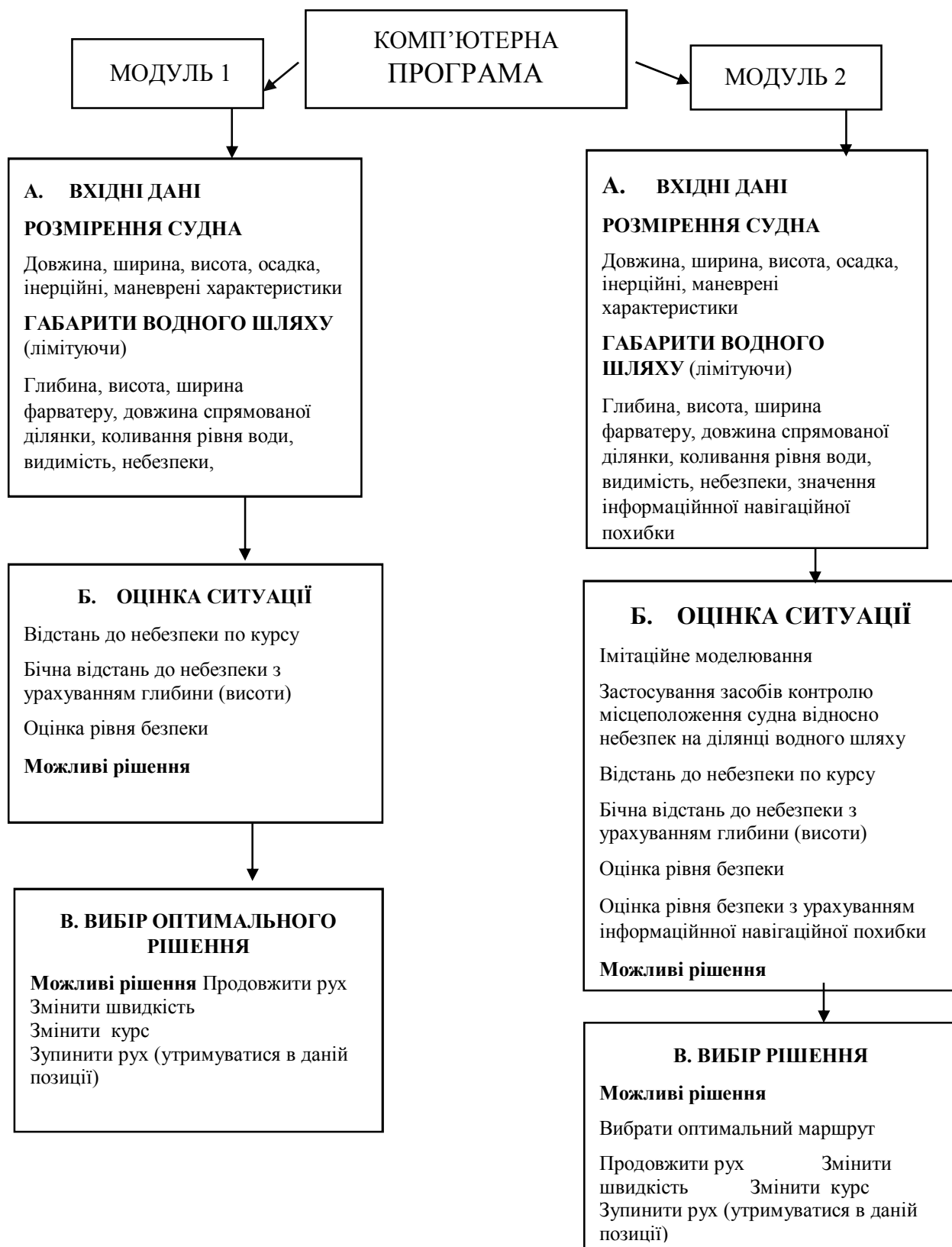
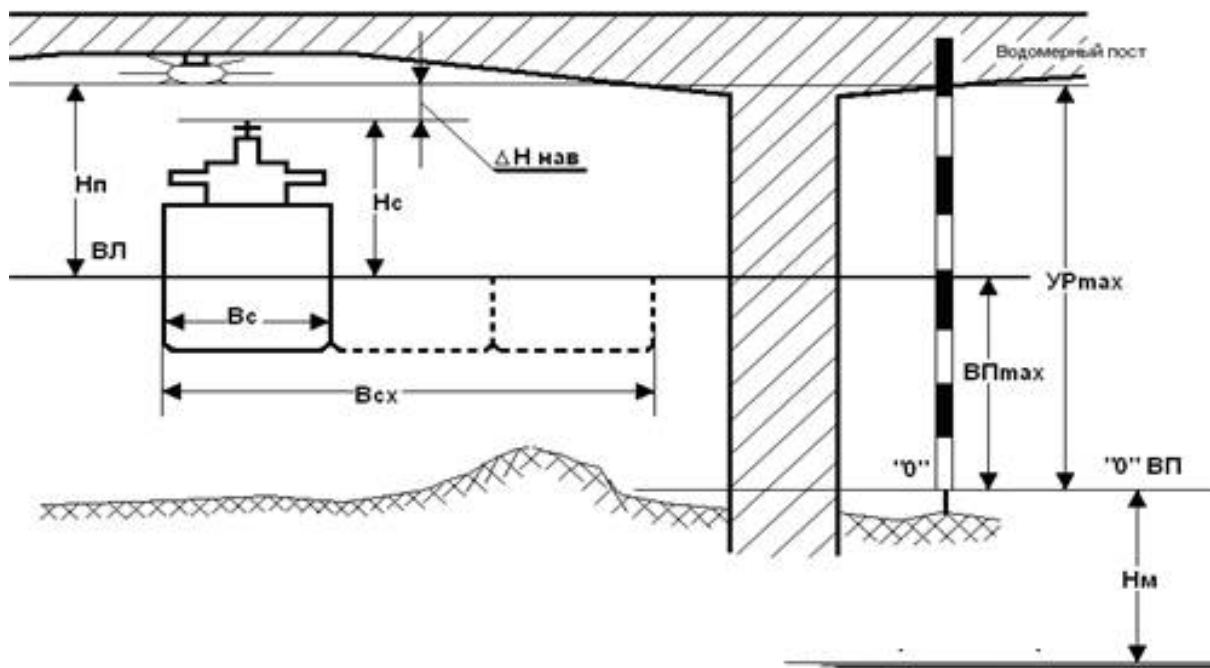
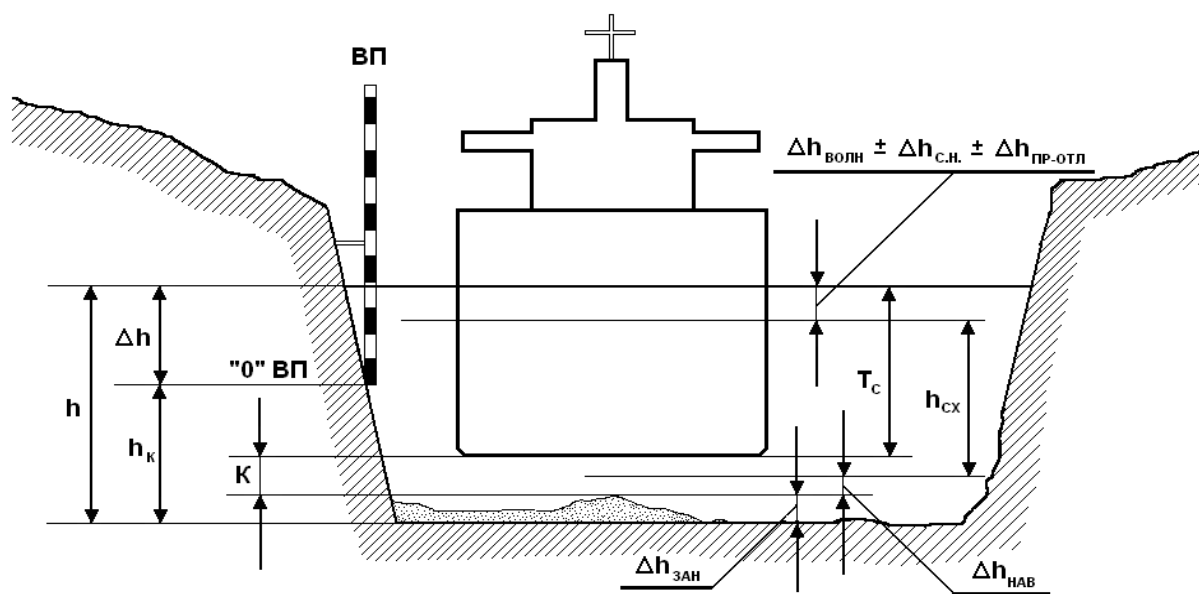


Рис. 5.1 – Функціональна схема імітаційного моделювання

а)



б)



в)

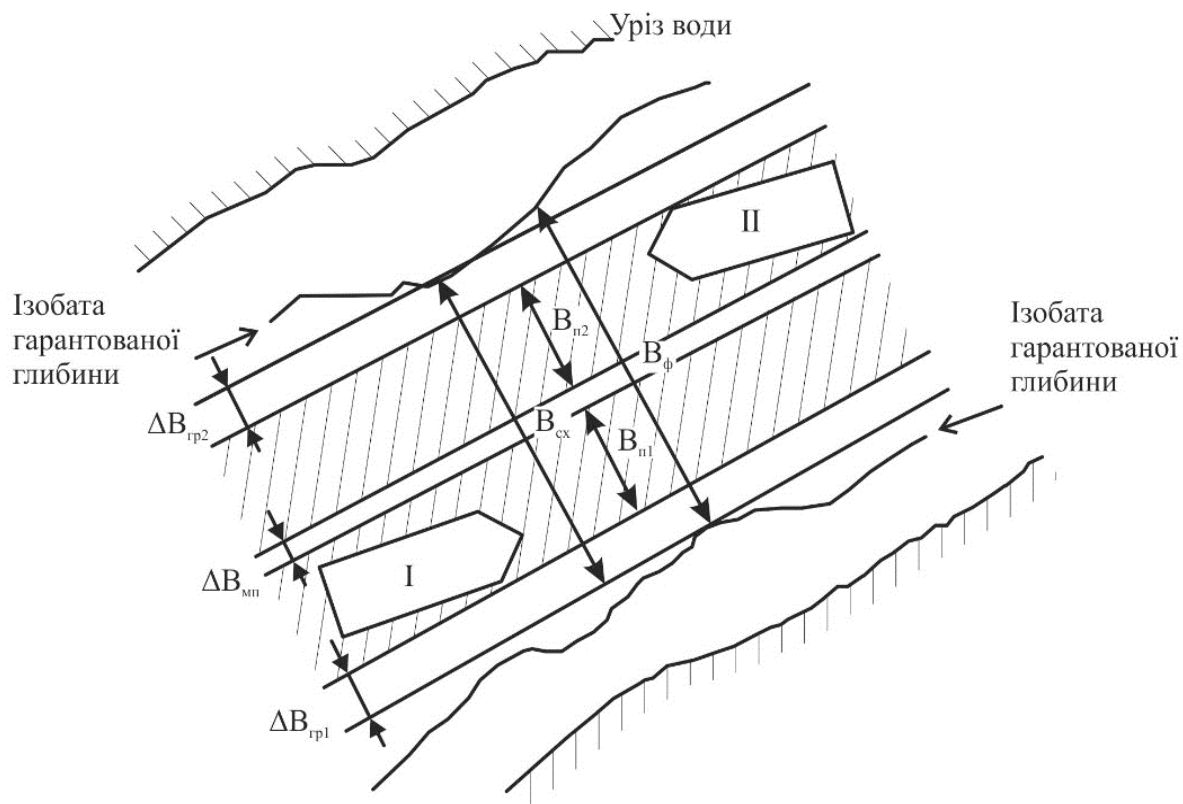


Рис. 5.2 а.б.в – Схема ділянок для моделювання з урахуванням габаритів суднового ходу а – глибини, б-висоти, в- ширини

Тому доцільна розробка комп'ютерної програми, що дозволяє визначати $D_{\min}$. У дисертаційній роботі запропонований можливий варіант такої комп'ютерної програми, який дозволяє визначити значення $D_{\min}$ по зміні дистанції зближення з небезпеками.

В концепції зони навігаційної безпеки (ЗНБ), що моделює простір навколо судна пропонується методика адаптації параметрів ЗНБ шляхом формування зони для визначення безпечної відстані до небезпеки та можливого бічного відхилення в залежності від типу та водотоннажності судна з урахуванням конструктивних особливостей та району плавання (ЗНБ) [31,32,34,71,91].

$$\left. \begin{aligned} S_{зНБ} &= L + m_D + S_1 + S_2 + \Delta D \\ B_{зНБ} &= f(B_c; B_{cx}) \end{aligned} \right\}$$

$$B_{\Pi} = B_c + B_m + \Delta B_m$$

$$B_m = 0,035(V_c \cdot t + L_c) + 0,57 \cdot B_c + 0,197 \cdot (L_c \cdot L_c / R)$$

де L - довжина корпусу судна між баком та навігаційною рубкою, (м);

m_D - похибка відліку дистанції до небезпеки Доп, (м);

S_1 - відстань пройдена судном зі швидкістю під час роботи судноводія по збору та аналізу навігаційної інформації, прогнозуванню ситуації та прийняттю рішення, (м);

S_2 - відстань пройдена судном під час маневрування, (м);

ΔD - відстань до небезпеки пройдена судном, (м);

B_c, B_{ϕ} - ширина судна та фарватеру, (м);

ΔB_m - ширина смуги маневрування, необхідна для виявлення бічного зміщення при застосуванні способу позиціонування, (м);

B_m - ширина смуги маневрування, (м);

V_c - швидкість судна, (м/с);

R - радіус циркуляції, (м);

t - час, який потрібен судноводію для обробки інформації та приймання рішення, (с).

Спочатку передбачене введення параметрів ситуації небезпечного зближення: розмірення судна (довжина, ширина, висота, осадка). Габарити водного шляху (лімітуючі): глибина, висота, ширина фарватеру, довжина спрямованої ділянки.

Контроль місця судна виконується наступними засобами:

Лоцманський метод: виявлення бічного зміщення шляхом спостереження за плавучими ЗНО неозброєним оком, зображено на рис. 5.3, де кут α , утворений двома лініями від місця судноводія до лінії позиції двох буїв та центральної лінії русла. Аналіз кута $\alpha_{\max}$ дозволяє оцінити

місцеположення судна та оптимізувати розташування плавучих ЗНО[58],

$$\Delta B_m(\alpha) = D_{\min} \tan(\alpha_{\max}), \quad (5.1)$$

$$\alpha_{\max} = 0.00176 \theta^2 + 0.008\theta + 2.221372, \quad (5.2)$$

$$\Theta = 2 \arctan(B_{\text{buoy}} / 2 D_{\min}), \quad (5.3)$$

B_{buoy} - дистанція між буями

$D_{\min}$ - дистанція уздовж осі каналу між судном і лінією перед буями

Виявлення бічного зміщення шляхом спостереження плавучих ЗНО з радіолокаційними відбивачами за допомогою суднової РЛС, може бути розрахована наступним чином[58]:

$$\Delta B_m(\text{рлс}) = B_{\text{buoy}} \sin \gamma / \sin \theta, \quad (5.4)$$

де - похибка РЛС, ($\gamma = 1^\circ - 2^\circ$).

$$\Delta B_m(\text{рлс}) = 0.0349 B_{\text{buoy}} / \sin \theta, \quad \sin(\gamma; 2) = 0.0349 \quad (5.5)$$

$$\Delta B_m(\text{рлс}) = 0.0175 B_{\text{buoy}} / \sin \theta, \quad \sin(\gamma; 1) = 0.0175 \quad (5.6)$$

При маневруванні судна з використанням GPS судноводій може оцінити місцеположення судна по зображенню на електронній карті (ЕНК), враховуючи інформацію GPS, із похибкою сприйняття.

Що стосується виявлення дрейфу за допомогою GPS, передбачається, що зазначена вище помилка сприйняття становить половину ширини судна. Допустима похибка для помилки інформації GPS становить до 30 метрів для стандартного GPS і практично відсутня для D-GPS.

Ширина смуги маневрування, необхідна для виявлення бічного зміщення при застосуванні GPS і D-GPS, може бути розрахована за наступними рівняннями, відповідно[58]:

$$\Delta Bm_{(GPS)} = 0.5 B_C + 30 \quad (m) \quad (5.7)$$

$$\Delta Bm_{(D-GPS)} = 0.5 B_C \quad (m) \quad (5.8)$$

Результати проведених порівнянь кількісної оцінки способів проводки суден в стислих умовах (рис.5.3.), причин аварійності та сучасних інформаційних систем показали, що рекомендований підхід до застосуванню комплексу сучасних можливостей РІС й автономних систем контролю місцеположення судна буде сприяти безпечній проводці судна.

Безпека руху судна залежить, від частоти та точності визначення місця. Процес вимірювання та обробки параметрів супроводжується похибками, впливаючих на точність визначення місця судна.

При маневруванні з використанням віртуальних ЗНО судноводій може розпізнати місцеположення судна по зображенню навігаційної інформації на електронній карті (ЕНК) застосовуючи інструментальні або лоцманські методи. Визначення величини відстані D_{min} до лінії віртуальних ЗНО здійснюється шляхом сприйняття руху судна на дисплеї неозброєним оком, а також пропонуємим в роботі способом. Для мінімізації впливу похибок на оцінку точності визначення місця, обробка зазначеної інформації виконується електронно-картографічною системою.

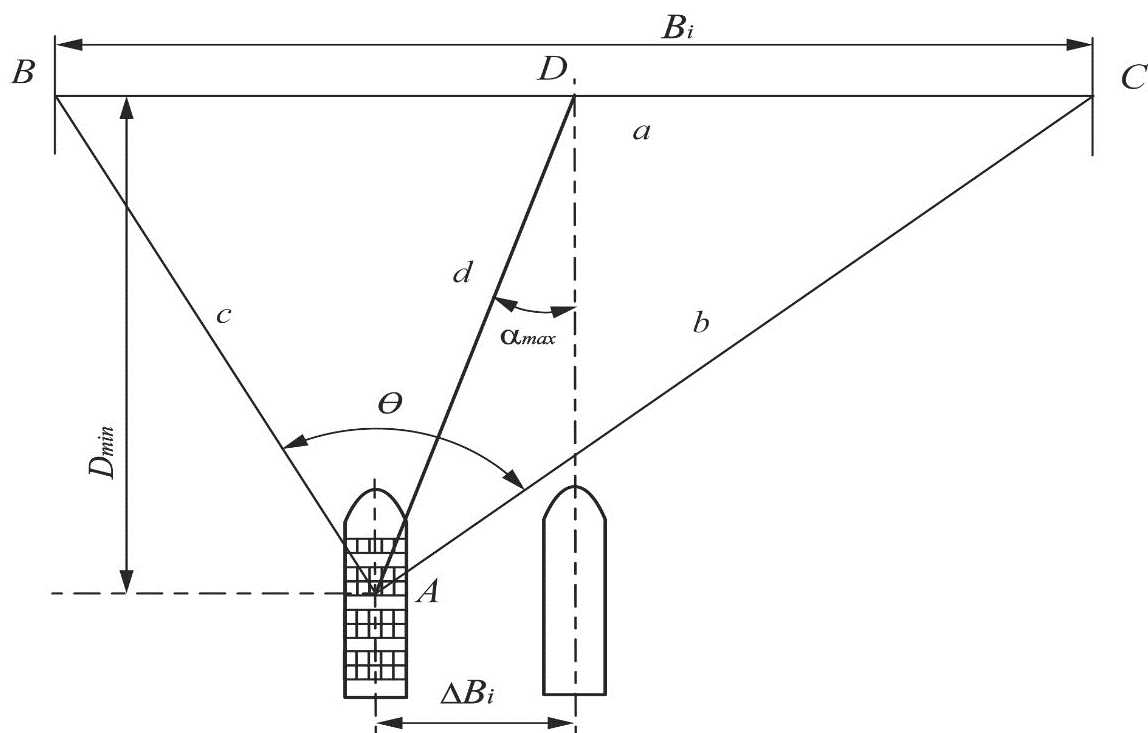


Рис. 5.3 – Схема виявлення бічного зміщення на лімітуючих ділянках з плавучими ЗНО.

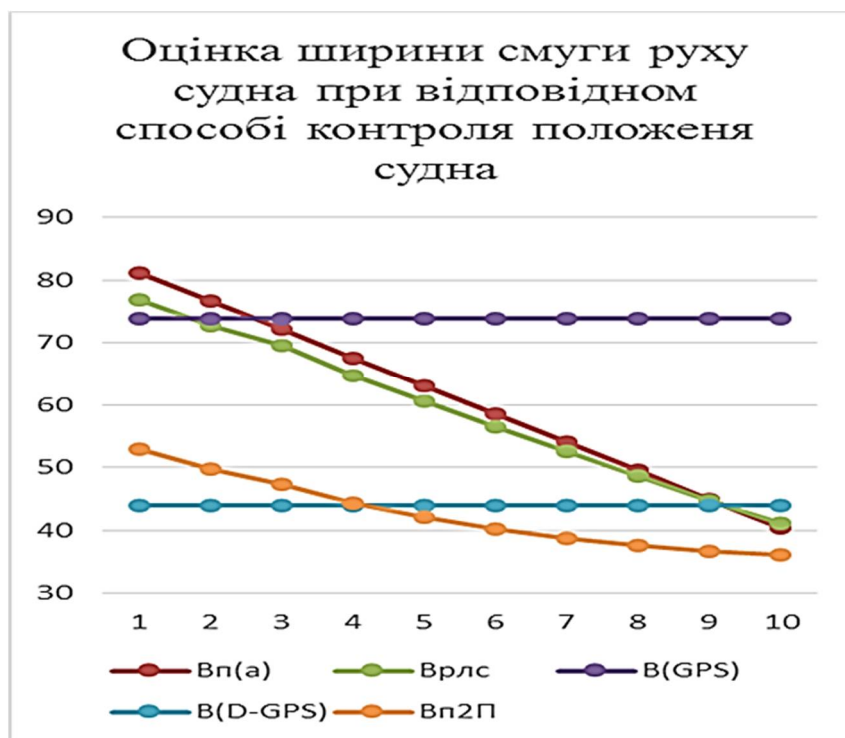


Рис. 5.4 – Способи контролю місця судна в стислих умовах

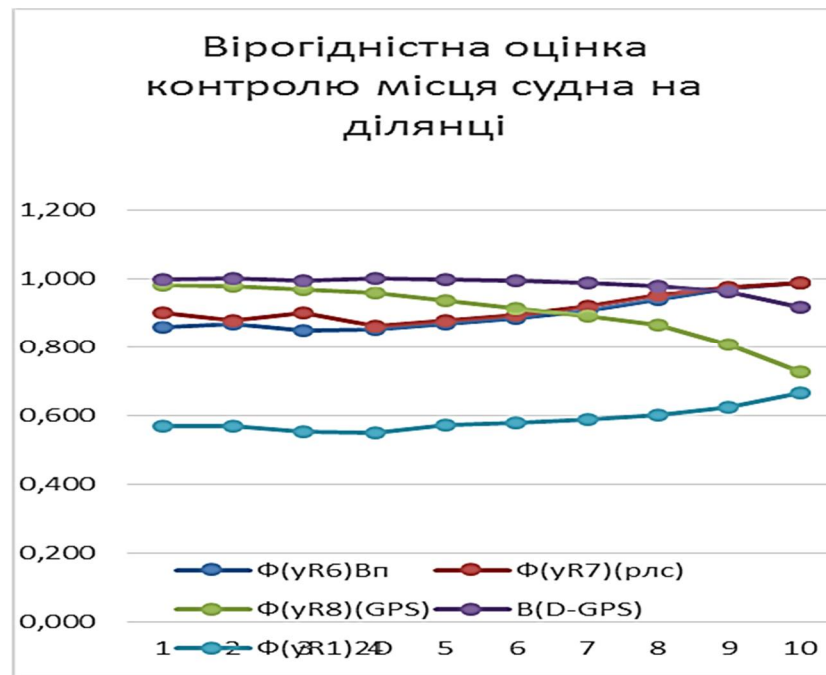


Рис. 5.5 – Оцінка способів контролю місцяположення судна в стислих умовах

Значення $D_{\min}$ дистанції зближення з небезпеками в прогнозуємій точці D на лінії перед небезпекі (плавучим ЗНО) розраховуємо як довжину чевіани AD (Рис. 5.3).

Формула, що зв'язує довжину чевіани AD, проведеної до основи трикутника BC (точніше, її квадрат), з довжинами відрізків BD; DC, на які вона ділить підставу, і бічними сторонами AB; AC:

Бічні сторони AB; AC відповідно $D_{\text{лб}}$; $D_{\text{пб}}$ відстані до віртуальних ЗНО, з дистанцією між ними $B_{\text{в buoy}}$.

$$AD^2 = AB^2 \times (DC/BC) + AC^2 \times (DB/BC) - DB \times DC, \quad (5.9)$$

$$AD = (AB^2 \times (DC/BC) + AC^2 \times (DB/BC) - DB \times DC)^{(1/2)},$$

При $AD = d$

$$d = (D_{\text{лб}}^2 \times (DC/BC) + D_{\text{пб}}^2 \times (DB/BC) - DB \times DC)^{(1/2)},$$

При $DB = DC$, (5.9) приймає вид

$$AD^2 = 0,5AB^2 + 0,5AC^2 - DB^2,$$

$$AD^2 = 0,5 * D_{\text{лб}}^2 + 0,5 * D_{\text{пб}}^2 - DB^2, \quad (5.10)$$

$$d = (0,5 * D_{\text{лб}}^2 + 0,5 * D_{\text{пб}}^2 - DB^2)^{(1/2)}$$

Приведений вираз дозволяє покращити результат розрахунка до 7 відсотків від дистанції.

Оцінювання навігаційної обстановки зазвичай зводиться до аналізу поточного стану судна щодо рекомендованого шляху та небезпек в даний момент часу. Якщо судно знаходиться на рекомендованому шляху або його відхилення від деякої точки рекомендованого шляху менше допустимого значення, а мінімальна відстань до найближчої небезпеки більше допустимого, то обстановка вважається сприятливою.

Рівнем «відсутність тривоги» будемо називати випадок, коли виникнення небезпеки малоімовірне при будь-якому типі руху на ділянці водного шляху.

Умови:

-Повна інформація о навігаційній обстановці включає габарити суднового ходу та відсутність перешкод $P_i \rightarrow 1$

- протяжність ЗНБ $S_{\text{ЗНБ}}$ менше D_{min}

$$D_{\text{min}} > S_{\text{ЗНБ}},$$

- ширина ЗНБ $B_{\text{ЗНБ}}$ менше B_{min}

$$B_{\text{min}} > B_{\text{ЗНБ}},$$

Рівень небезпеки «жовта тривога» виникає в ситуації, коли ймовірна небезпека під час маневрування судна.

Умови:

-Неповна інформація про навігаційну обстановку містить у собі габарити суднового та відсутність перешкод

$$1 > P_i > 0$$

- протяжність ЗНБ $S_{ЗНБ}$ менше або дорівнює D_{min}

$$D_{min} \geq S_{ЗНБ}$$

- ширина ЗНБ менше або дорівнюється B_{min}

$$B_{min} > B_{ЗНБ} ,$$

Під ситуацією з рівнем небезпеки «червона тривога» будемо вважати ситуацію, коли виникнення небезпеки можливе без зміни поточних курсу і швидкості руху.

Умови:

-Неповна інформація про навігаційну обстановку включає габарити суднового хода та відсутність перешкод

$$1 > P_i > 0$$

- протяжність $S_{ЗНБ}$ більше або дорівнює D_{min}

$$S_{ЗНБ} \geq D_{min} ,$$

- ширина $B_{ЗНБ}$ більше або дорівнює B_{min}

$$B_{\text{ЗНБ}} \geq B_{\text{min}},$$

З урахуванням цих розробок для останнього випадку запропонований критерій оцінки ризику, який висловлює зв'язок між очікуваним економічним ефектом E із заданою вірогідністю P_H і можливими збитками R в результаті аварій. Економічний ефект залежить від величини фрахту, витрат судна в рейсі і можливих втрат при невиконанні умов договору про перевезення. Розмір збитків від аварій отриманий в результаті досліджень статистики аварійності в даному районі. Межа розумного ризику визначається співвідношенням [81]

$$P \cdot E \geq (1 - P) \cdot R, \quad (5.11).$$

$$A = \frac{P \left(\Delta F - \left(\sum_{i=1}^n S_i / V_i \right) \cdot C_X - C_{CT} \cdot t_{CT} - b_3 \right)}{(1 - P) \cdot (\mu_n \cdot D_{\text{ч}} + b_2)} \geq 1, \quad (5.12.)$$

$$\Delta F = f \cdot D_{\text{ч}} - (C_X \cdot t_X^1 + C_{CT} \cdot t_{CT}^1 + b_1 + C_X \cdot t^{11}), \quad (5.13)$$

$$\mu_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_{Y_{Ni}}}{n_n \cdot D_{\text{ч}}}, \quad (5.14)$$

де:

P_H – оцінка навігаційної безпеки на даній ділянці;

S_i - протяжність ділянки, пройденої з постійною швидкістю V_i ;

C_X, C_{CT} – експлуатаційні витрати судна на ходу і на стоянці;

t_{1CT}, t_{CT} - час стоянки в першій частині рейсу і період очікування поліпшення навігаційних умов на ділянці водного шляху;

t_{11} - необхідний час для завершення рейсу;

t_{1X} - ходовий час в першій частині рейсу;

$b_{1,2,3}$ - додаткові витрати, пов'язані з виконаною частиною рейсу; при невиконанні умов перевезення вантажу; з проходженням вузькості.

TU_{Ni} - технічні збитки в результаті розглянутого виду аварій в даному районі плавання;

nn - кількість розглянутих випадків;

f - фрахтова ставка;

$D_{ч}$ - кількість вантажу;

Для визначення можливого часу очікування поліпшення навігаційних умов скористаємося виразом

$$t_{CT} = \frac{(\Delta F - b_3 - (\sum_{i=1}^n S_i / V_i)) - (1/P_H - 1) (\mu_n D_{ч} + b_2)}{C_{CT}}, \quad (5.15)$$

Алгоритм оцінки ризику представлений на рис.5.6

Для аналізу ситуації скористаємося математичною моделлю прийняття рішень в умовах невизначеності [62]. При проходці судна водними шляхами в умовах обмеженого простору судноводії має n альтернатив вирішення ситуації, які позначимо $A_1, A, \dots, A_n$. Результат вибору залежить від розвитку ситуації, вплив на яку обмежено у судноводія та m варіантів розвитку ситуації, які позначимо $S_1, S_2, \dots, S_m$. При кількісній оцінці очікуваних результатів для судноводія при кожній альтернативі A_i і розвитку ситуації B_j формується матриця виграшів $A = (a_{ij})$, в залежності від того, максимізується або мінімізується результат. У практиці в залежності від умов, існує кілька критеріїв прийняття рішень. З урахуванням критеріїв, що сприяють вибору оптимальної альтернативи для прийняття рішення експерти виділяють наступні варіанти розвитку ситуації S_1, S_2, S_3, S_4 .

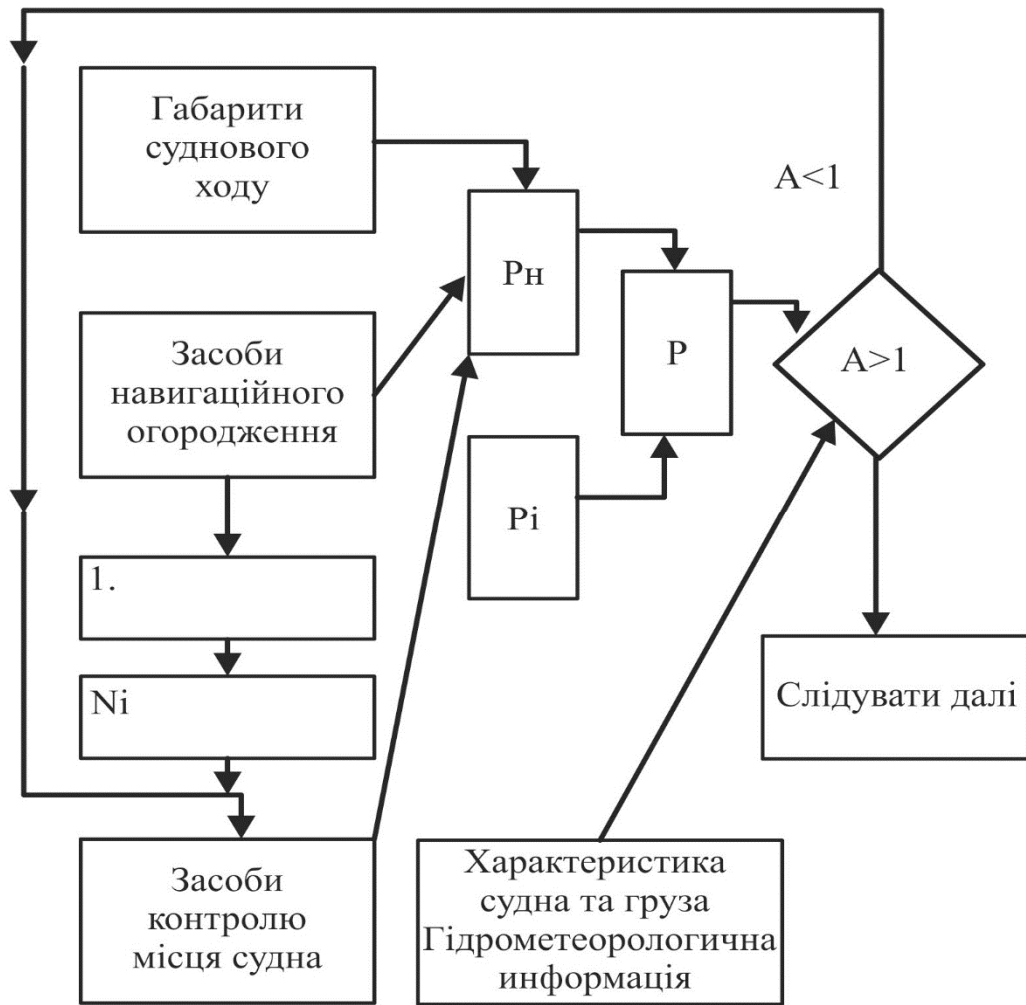


Рис. 5.6 – Алгоритм оцінки ризику

При застосуванні критерію Лапласа, заснованого на припущенні, що кожен варіант розвитку ситуації рівноімовірний, тому, для прийняття рішення, необхідно розрахувати функцію корисності F для кожної альтернативи, рівну середньоарифметическому показнику привабливості по кожній «ситуації»:

Оптимальною є альтернатива з максимальним середнім виграшем:

$$S_i = \left(\sum_{j=1}^n X_{ij} \right) / n$$

$$X^* = X_k, S_k = \max (S_i), i = 1..N$$

Максиміна критерія Вальда, що гарантує певний виграш при найгірших умовах, знаходити слід орієнтуючись на мінімальне значення ефективності кожної системи. У кожному рядку матриці ефективності знаходиться мінімальна з оцінок систем по різних станах оточини обставин

$$W_i = \min(x_{ij}), \quad j = 1..M$$

Оптимальною визнається альтернатива з максимальним найгіршим виграшем

$$X^* = X_k, W_k = \max(W_i), i = 1..N.$$

Критерій "максімакс" оптимізму відповідає оптимістичній стратегії вибору, а коефіцієнти важливості рішень визначаються як найкращі оцінки переваг по всіх ситуаціям з оцінкою і-й альтернативи, та визначає її найбільший виграш M_i :

$$M_i = \max(x_{ij}), j = 1..M$$

Оптимальною вважається альтернатива з максимальним найбільшим виграшем:

$$X^* = X_k, M_k = \max(M_i), i = 1..N$$

Критерій Севіджа заснований на принципі мінімізації втрат, пов'язаних з прийняттям неоптимальних рішень. При вирішенні завдання для стану j (стовпчик матриці) визначається максимальне значення виграшу y_j :

$$y_j = \max(x_{ij})$$

Для кожної клітини вихідної матриці X знаходиться різниця між максимальним виграшем r_j для даного стану i результатом в розглянутій області x_{ij} :

$$r_{ij} = y_j - x_{ij}$$

З отриманих значень формується нова матриця R , де для кожної альтернативи знаходиться найбільший можливий недоотриманий виграш.

$$S_i = \max (r_{ij}), j = 1..M$$

Оптимальною може бути визнана альтернатива з мінімальним найбільшим недоотриманими виграшем:

$$X^* = X_k, S_k = \min (S_i), i = 1..N$$

Критерій Гурвіца - це компромісний спосіб прийняття рішень, при виборі рішення з песимістичною оцінкою за критерієм максимальної та оптимістичної оцінки максімакса раціонально дотримуватися оптимальної позиції, межа якої регулюється показником песимізму-оптимізму α ($0 \leq \alpha \leq 1$), значенням ступеня оптимізму в критерії Гурвіца.

Ефективність системи знаходиться, як зважена за допомогою коефіцієнта α (вибирається із суб'єктивних міркувань) сума максимальної та мінімальної оцінок.

При $\alpha = 0$ критерій Гурвіца перетворюється в критерії Вальда.

При $\alpha = 1$ - в критерій крайнього оптимізму.

При $0 < \alpha < 1$ виходить щось середнє.

$$x_i \max = \max (x_{ij}), x_i \min = \min (x_{ij}), j = 1..M$$

$$H_i(\alpha) = \alpha x_i \max + (1 - \alpha) x_i \min$$

Якщо результати представляють можливі виграші, то оптимальною визнається альтернатива з максимальним значенням критерію Гурвіца:

$$X^* = X_k, H_k(\alpha) = \max (H_i(\alpha)), i = 1..N$$

Проведені дослідження застосування пропонованих вірогіднісних оцінок представлені на рис. 5.7-5.9.

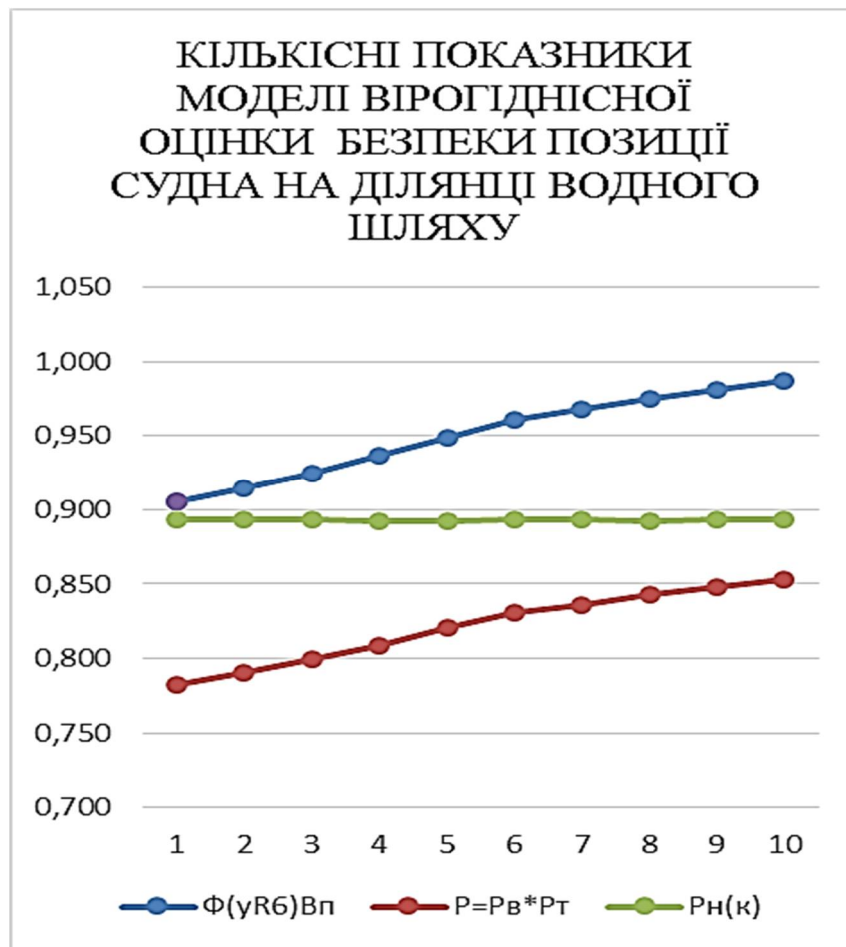


Рис. 5.7 – Результати вірогіднісних оцінок місця судна

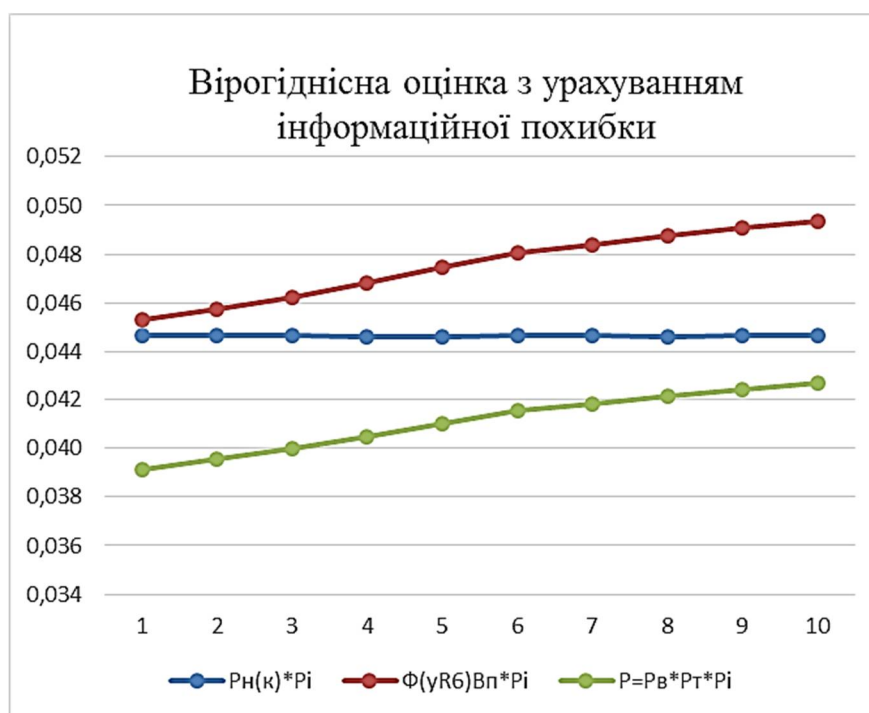


Рис. 5.8 – Результати вірогіднісних оцінок місця судна з урахуванням впливу похибки навігаційної інформації

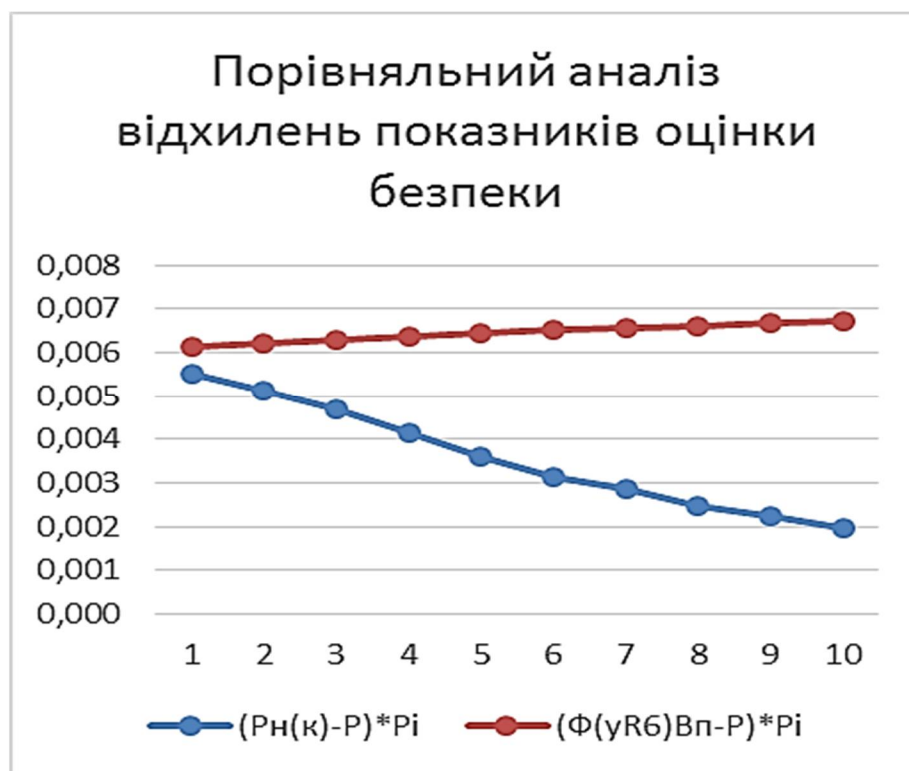


Рис. 5.9 – Порівняльний аналіз моделей вірогідностної оцінки безпеки плавання з урахуванням впливу похибки навігаційної інформації на ділянці водних шляхів.

Порівняльний аналіз моделей вірогідності оцінки безпеки плавання на ділянці водних шляхів показав, що різниця не більше 1,6 відсотка.

Таким чином, для аналізу безпеки проводки судна на ділянках водних шляхів в стислих водах необхідне використання інформації про фарватер (ІФ) РІС та електронних карт, за допомогою яких формується маршрут проводки судна, для подальшого застосування в тактичній інформації про трафік (ТІТ) РІС та з урахуванням результатів в Стратегічній інформації про трафік (СІТ) РІС. Для цього стандартною процедурою імітаційної програми проводиться оцінка вірогідності безаварійної проводки судна з урахуванням похибки навігаційної інформації на ділянках водних шляхів і точності контролю положення судна.

5.2. Формування методики перед рейсової підготовки

Для практичного застосування способу оцінки вірогідності безпечної проводки судна на ділянці водних шляхів необхідно сформувати маршрут проводки судна в стислих умовах району плавання, при використанні електронних навігаційних карт, що розглянемо в даному підрозділі.

На рис. 5.10 та (ДОДАТОК А.1. Рис.1а,б,в.) показано, що для формування маршруту обрана ділянка електронної карти, що містить обмежену ділянку плавання, де необхідно вибрати маршрут плавання судна і провести оцінку вірогідності безпечної проводки ним судна.

Вибрана ділянка на р. Дунай (порт Рені – пункт Партизани), яка містить обмежену ділянку р. Дунай, гирло Тульчинське та гирло Сулинське (до 29 миль). Цей маршрут проходив т/х «Росток» Українського Дунайського пароплавства 2 вересня із довжиною судна -117м, шириною-16 м, осадкою-7 м, вантажем – 5000 т катанки.



Рис. 5.10. - Вибір карти для формування маршруту

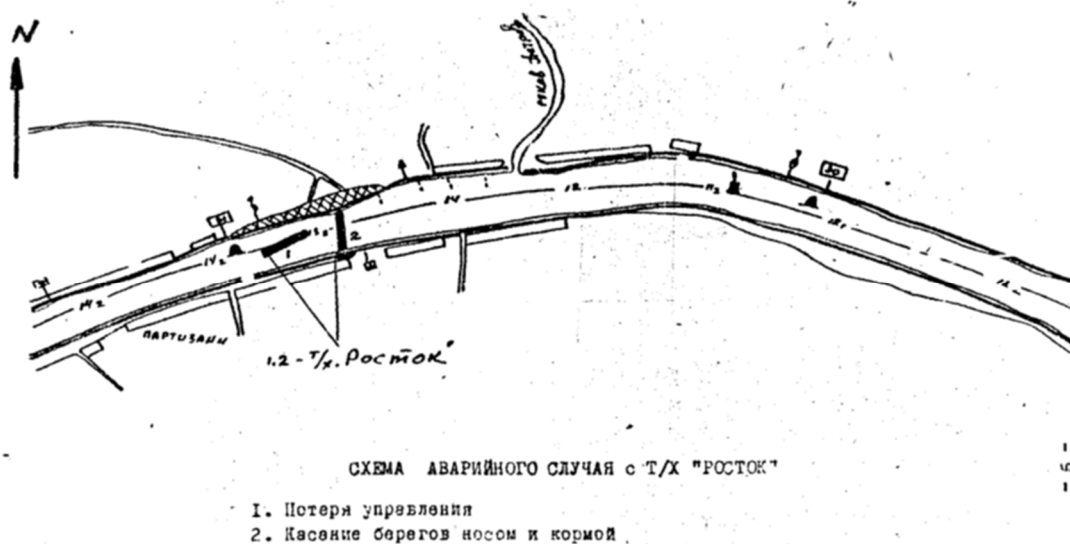


Рис. 5.11. – Ділянка карти р. Дунай.

Судно вийшло з порту Рені та слідувало на вихід до Чорного моря ділянкою р. Дунай, гирлом Тульчинським та гирлом Сулинським.

На ділянці від п.Рені до мису Ізмаїльський Чатал на борту знаходився вітчизняний лоцман, далі на борт піднялися два румунських лоцмана.

Ділянку Тульчинського гирла судно пройшло, але в районі 31 милі Сулинського гирла після проходження в 10 г 06 хв понтону пункта Партизан судно втратило керованість та покотилося на лівий борт [17].

В 10 годин 06 хвилин судно носовою частиною лівого борту навалилось на лівий берег, а корма під впливом течії зі швидкістю 4,3 км/год пішла до правого берега. При торканні берегу судно отримало крен 32 градуси на правий борт. Екіпаж по тривозі покинув судно.

За висновками капітана Ізмаїльського морського торгівельного порту т/х «Росток» слідуючи в районі 31 милі Сулинського гирла торкнувся бульбом лівобережної мілини, уповільнив хід, втратив керованість. Про наявність мілини засвідчує буй, встановлений на 31 милі, але 2 вересня на штатному місці його не було, в районі траверсів 30,5-30,8 милі було інтенсивне осідання зважених часток, що могло сприяти збільшенню та зміщенню мілини в сторону осі суднового ходу. Аналіз показав, що однією з причин виявилася відсутність у судноводіїв т/х «Росток», на момент проводки судна ділянкою водного шляху в стиснених умовах, змін навігаційної інформації стосовно габаритів суднового ходу (безпечної глибини та ширини водного шляху) та положення плавучих ЗНО. Плавучі ЗНО дозволяли формувати обмежувачу ізоліцію небезпек на ділянці. Структури відповідні за інформаційну підтримку проводки судна на ділянці водного шляху Сулинського гирла інформацію в обсязі, необхідному для своєчасного прийняття рішення, не надали.

Проведений аналіз способів контролю місцеположення судна при русі ділянкою Сулинського гирла (глибина $H_t = 7,5\text{м}$; ширина $B_f = 120\text{ м}$), показав, що водного простору для безпечної проводки судна достатньо (рис. 5.12).

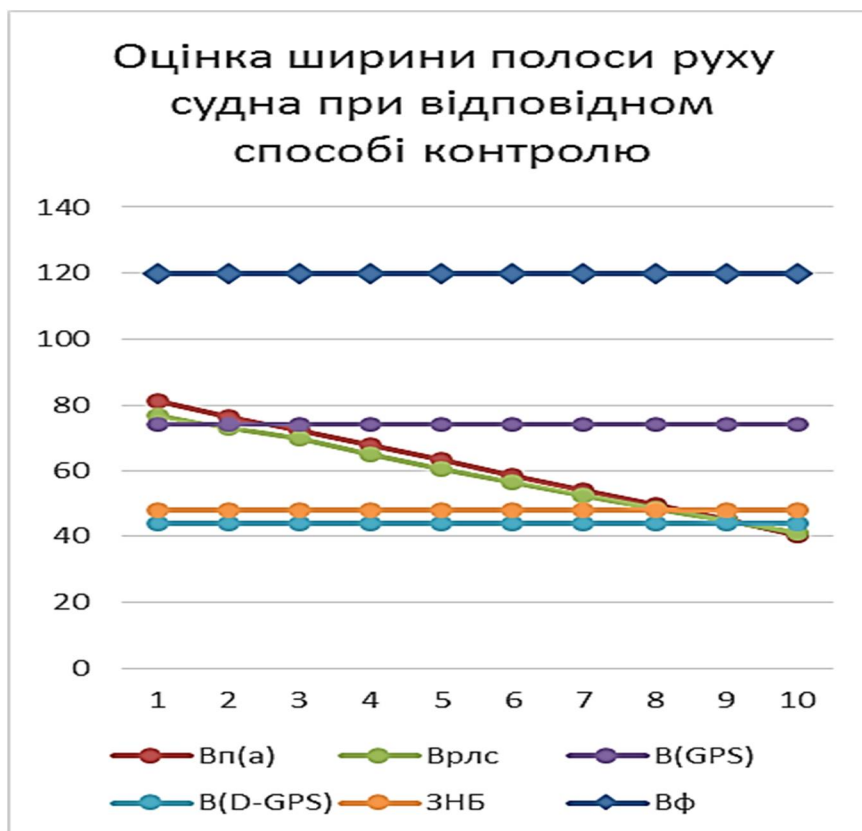


Рис. 5.12 – Ширина полоси руху судна

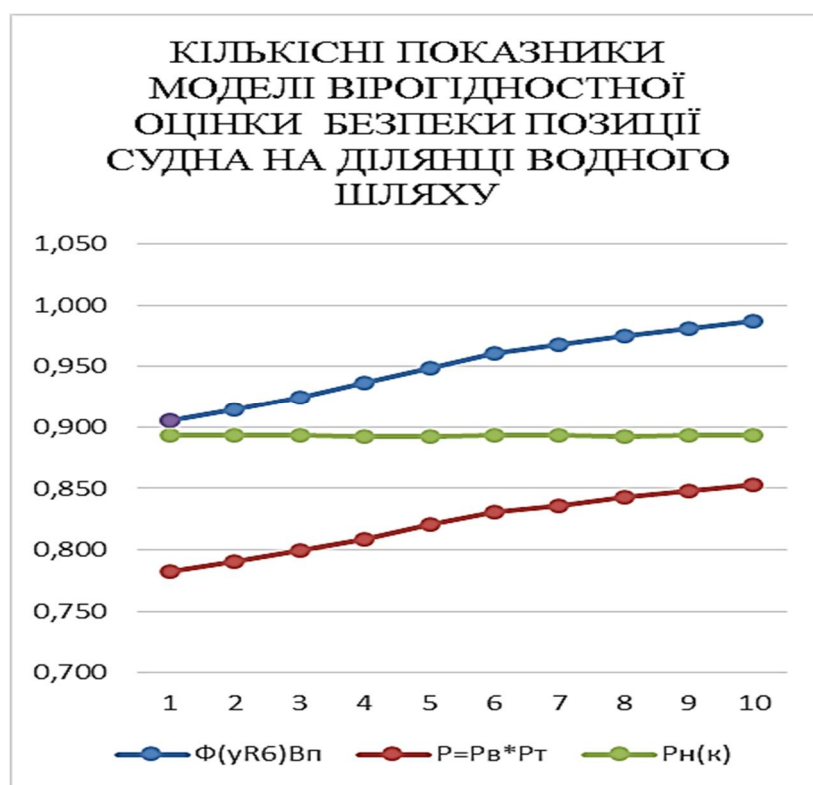


Рис. 5.13 – Порівняльна вірогіднісна оцінка безпеки руху судна на ділянці водного шляху.

Порівняльний аналіз вірогіднісної оцінки безпеки руху судна на ділянці водного шляху показав що розбіг значень складає 1,1-1,5 відсотки.

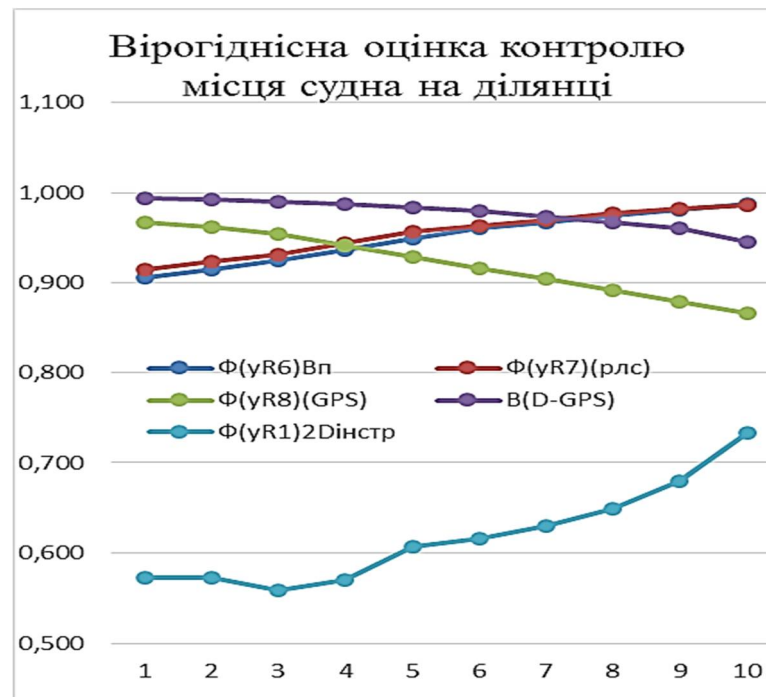


Рис. 5.14 – Вірогіднісна оцінка безпеки руху судна на ділянці водного шляху.

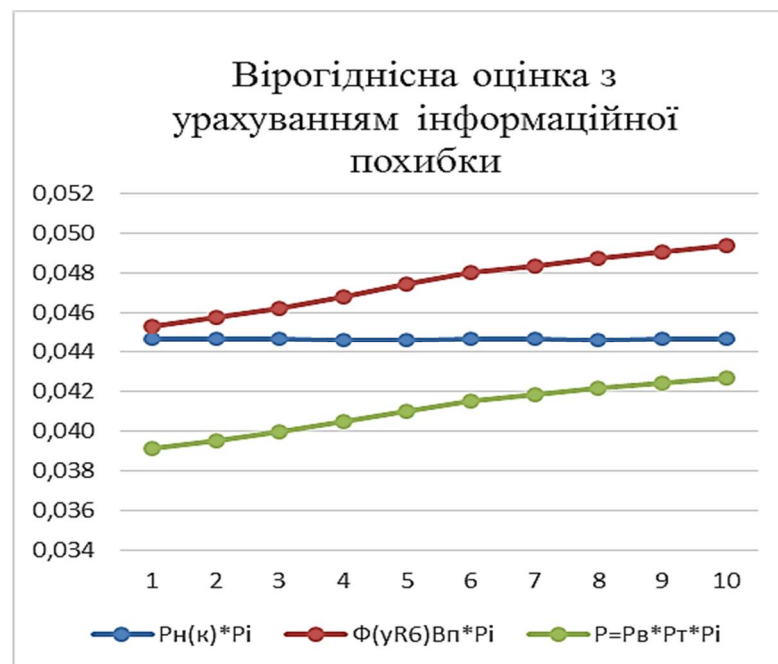


Рис. 5.15 – Вірогіднісна оцінка безпеки руху судна на ділянці водного шляху з урахуванням похибки навігаційної інформації, при $P_i=0,05$.

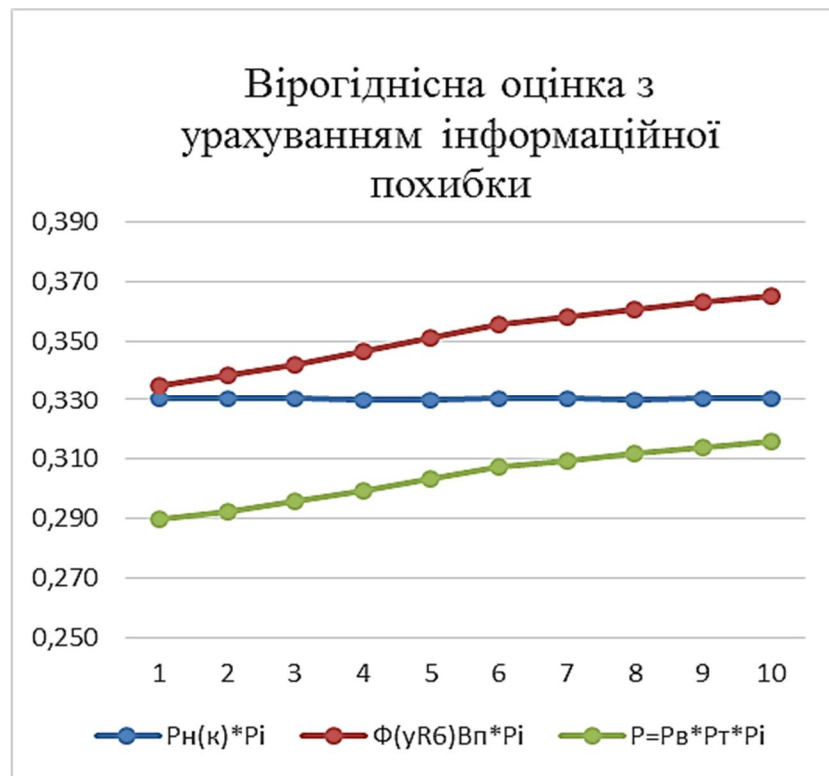


Рис. 5.16 – Вірогіднісна оцінка безпеки руху судна на ділянці водного шляху з урахуванням похибки навігаційної інформації, при $P_i=0,37$.

Таким чином відсутність у судноводіїв судна фактичної навігаційної інформації стосовно габаритів суднового ходу (безпечної ширини, глибини, висоти), розташування навігаційних небезпек, розташування ЗНО знизили вірогіднісну оцінку безпеки руху судна на ділянці водного шляху, що сприяло розвитку ситуації в небажаному напрямку.

Проведене дослідження результатів можливості застосування з урахуванням умов нормальної та обмеженої видимості навігаційних орієнтирів і ЗНО, інформаційної похибки навігаційної обстановки, працездатності радіотехнічних засобів навігаційного обладнання на розглядаємій ділянці водних шляхів для способів контролю місця судна представлені в таблиці 5.1.

Також у таблиці представлені переваги способам контролю місця судна з урахуванням критеріїв оптимізації прийняття рішень

Таблиця 5.1.- Способи контролю місця судна на ділянці водних шляхів

№	метод	спосіб	стратегія	критерії				
				Лапласа	Вальда	Гурвіца	Севіджа	
	Лоцманський	РЛС	S4					
	Штурманський	2D	S1					
	Інструментальний	BD	S2					
		Віртуальні ЗНО	S3	S3	S3	S3	S3	
		GPS	S5					
		dGPS	S6					

$$S_1 = P_1 * E - (1 - P_1) * K_{\text{пос}} * T_{\text{Упос}} - (1 - P_1) * K_{\text{нав}} * T_{\text{Унав}} - (1 - P_1) * K_{\text{ст}} * T_{\text{Уст}} - (1 - P_1) * K_{\text{льод}} * T_{\text{Ульод}} - (1 - P_1) * K_{\text{тхн}} * T_{\text{Утхн}} - (1 - P_1) * K_{\text{тер}} * T_{\text{Утер}} \quad (5.16)$$

де:

$P_{H1} = P_1$ - оцінка навігаційної безпеки на обраній ділянці;

E – економічний ефект рейсу;

$K_{\text{пос}}$, $K_{\text{нав}}$, $K_{\text{ст}}$, $K_{\text{льод}}$, $K_{\text{тхн}}$, $K_{\text{тер}}$ – коефіцієнт характеризуючий питому вагу чинника по відповідним типам аварійних подій (посадки на мілину, навали, зіткнення, льодові, технічні, тероризм). $T_{\text{Упос}}$, $T_{\text{Унав}}$, $T_{\text{Уст}}$, $T_{\text{Утхн}}$, $T_{\text{Утер}}$ – технічні збитки по відповідним типам аварійних подій (посадки на мілину, навали, зіткнення, льодові, технічні, тероризм).

Таблиця 5.2.- питому вагу чинника по відповідним типам аварійних подій на ділянці водних шляхів

		Безпека плавання			Посадка на милину			Навал		
								судно	гт	
			1		(1-P1)	2		(1-P1)	3	
P	S1	P	E		Rпос	Kпос	TУпос	Rнав	Kнав	TУнав
		0,573	10		0,427	0,3	1	0,427	0,2	1
0,482	6,154	5,727	1,0		0,12819			0,0855		

ЗІТКНЕННЯ			ЛЬОДОВІ			ТЕХНОГЕНІ			ТЕРОРИЗМ		
(1-P1)	4		(1-P1)	5		(1-P1)	6		(1-P1)	7	
Rст	Kст	TУст	Rлед	Kлед	Tулед	Rтхн	Kтхн	Tутхн	Rтер	Kтер	Tутер
0,427	0,3	1	0,427	0,2	1	0	1	1	0		1
0,1282			0,0855			0			0		

Таким чином, судноводій може моделювати ситуацію, для різних умов до проходження ділянки, та регулювати вибір способу контролю місця судна, для оптимального проходження ділянки під час обмеженого потоку навігаційної інформації.

Теоретичні результати дисертаційної роботи, на базі яких розроблено метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального способу планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок на обраній ділянці, реалізований комп'ютерною програмою, яка може бути використана у вигляді окремого модуля при розробці інформаційної системи при проводках суден.

Розроблена комп'ютерна імітаційна програма також містить окремий модуль, за допомогою якого можна здійснити моделювання процесу проводки суден, внаслідок чого можна оцінити коректність запропонованого способу вибору проводки суден.

Спочатку розглянемо вибір способу безпечної проводки за допомогою інформаційної системи, яка реалізована в першому модулі комп'ютерної програми імітаційного моделювання. Перш за все необхідно обрати ділянку водних шляхів задати початкові дані з урахуванням інформації ЕКНІС ВШ: габарити суднового ходу(лімітуючи) протягом обраної ділянки, чого можна досягти двома способами.

По-перше, за допомогою клавіші «Ввести» (рис. 5.17) можливо ввести стандартні дані ситуації, параметри яких задані. Розмірення судна: довжина, ширина, висота, осадка, швидкість, елементи маневрених характеристик.

Судно		
L		117
B		16
T		7,02
Vc	швидкість м/с	4,1
t	час ризикання	20
R	5 - 7 Lc	700

Рис. 5.17. - Інтерфейс імітаційної програми, розмірення судна

По-друге, за допомогою (рис. 5.17) можливо ввести стандартні дані ситуації, параметри яких задані. Розмірення судна: довжина, ширина, висота, осадка, швидкість, елементи маневрених характеристик.

По-друге, за допомогою (рис. 5.18) можливо ввести габарити суднового ходу (лімітуючи): ширина, глибина, висота, довжина спрямованої ділянки, коливання рівня води, видимість, небезпеки, додаткові шляхові елементи та характеристики, щодо обраних точок (наприклад $V_{буй}$ відстань між буями).

Фарватер	
Vφ	120
T	7,5
Vбуй	120
Points number	10

Рис. 5.18. - Інтерфейс імітаційної програми, габарити суднового ходу

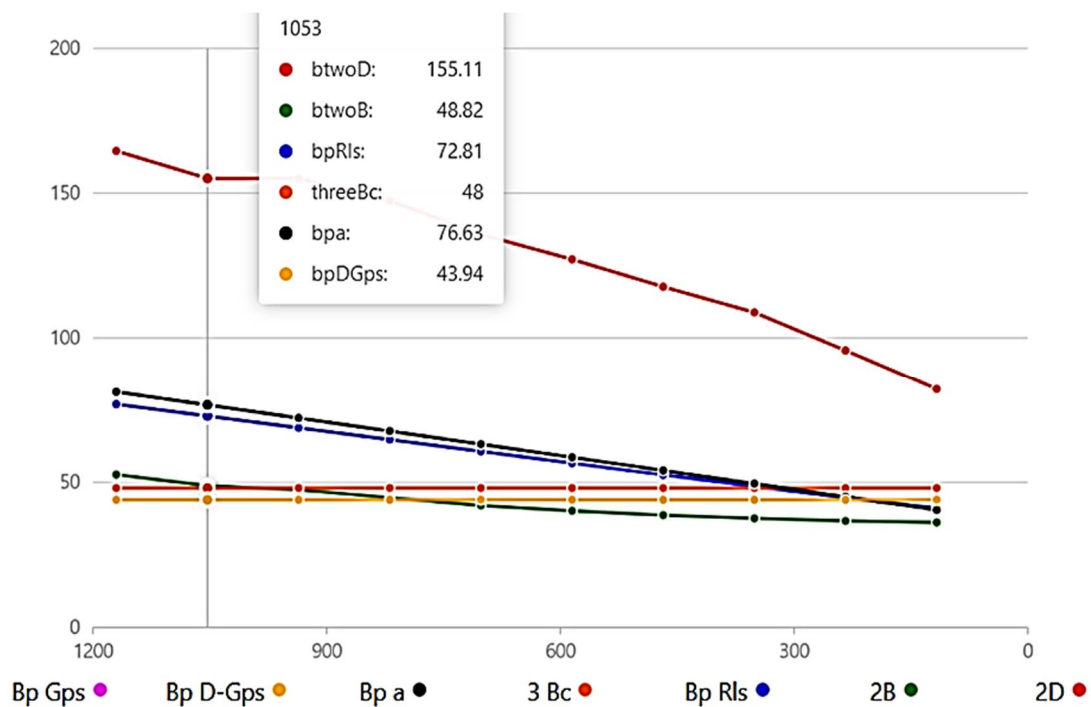
На рис. 5.19. представлені значення введених статистичних характеристик аварійних подій на обраній ділянці водних шляхів: Кпос, Кнав, Кст, Кльд, Ктхн, Ктер – коефіцієнти характеризуючи питому вагу чинника по відповідним типам аварійних подій (посадки на мілину, навали, зіткнення, льодові, технічні, тероризм).

Кнав	0,2
Кст	0,3
Кльд	0,2
Ктг	1
Ктр	0

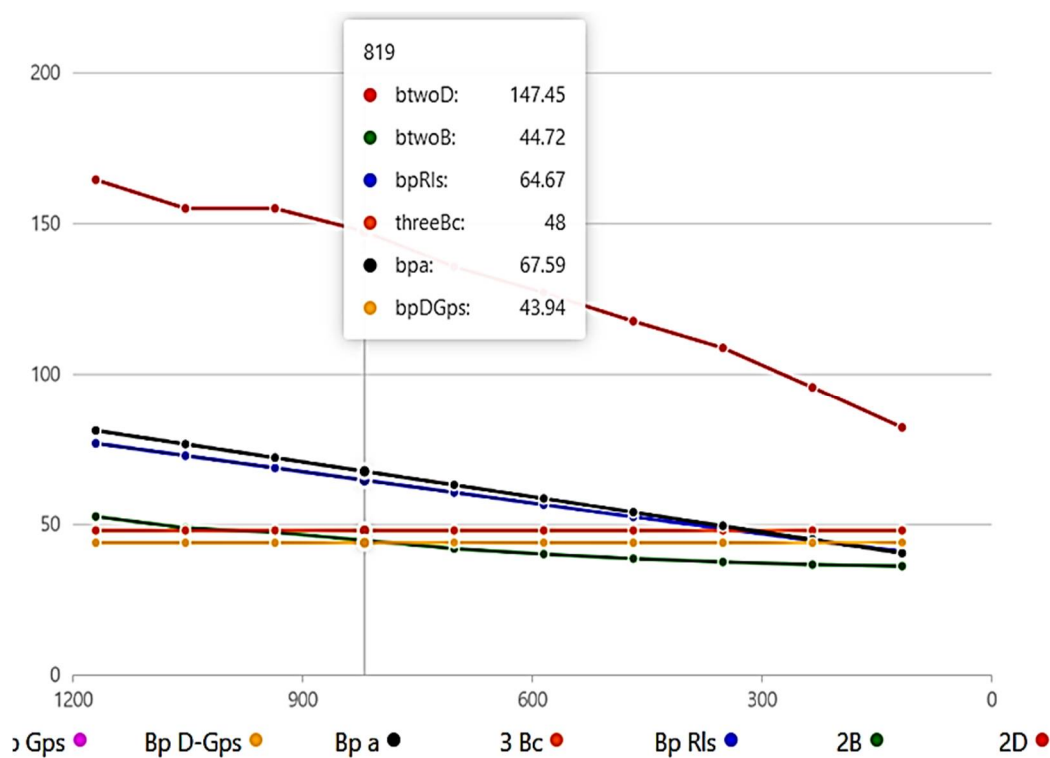
Рис. 5.19. - Інтерфейс імітаційної програми, габарити суднового ходу

ТУпос, ТУнав, ТУст, ТУтхн, ТУтер – технічні збитки по відповідним типам аварійних подій (посадки на мілину, навали, зіткнення, льодові, технічні, тероризм).

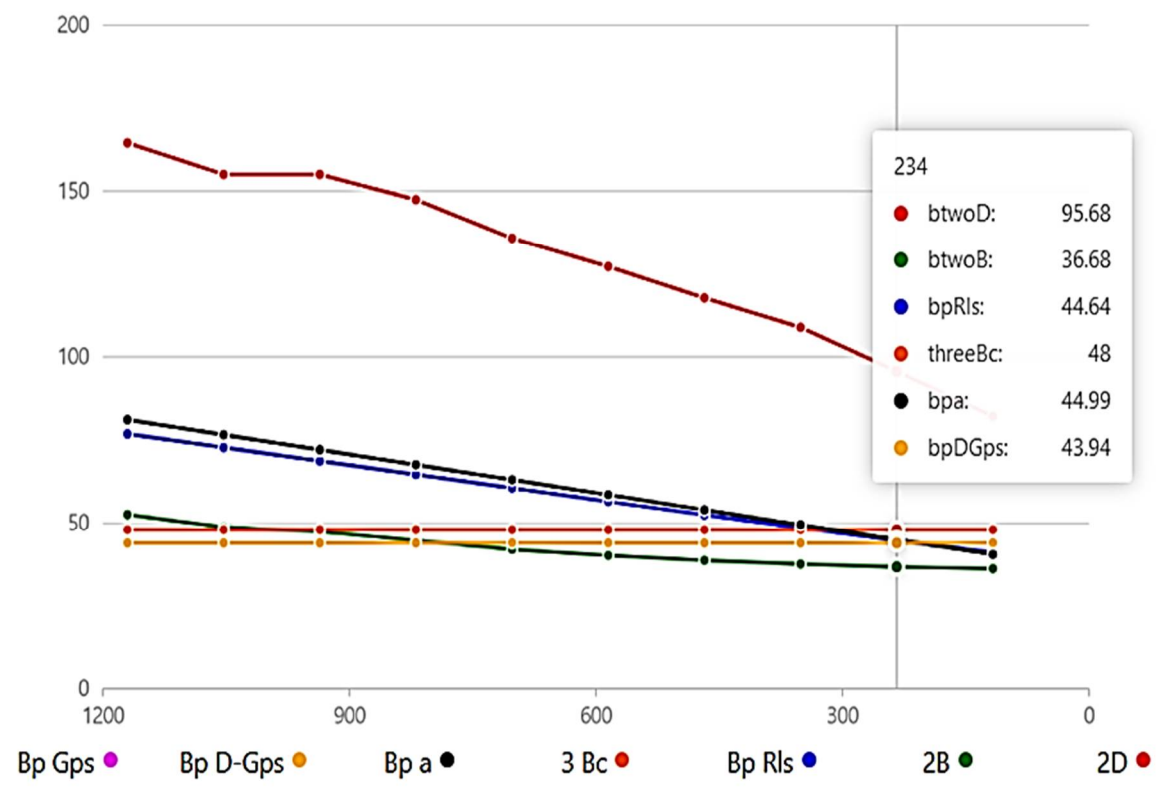
На (рис. 5.20) представлені ізолінії відображають кількісну оцінку ширини смуги для різних способів контролю місця судна на обраній ділянці ВШ.



а - шляхова точка 2 .



а - шляхова точка 4 .



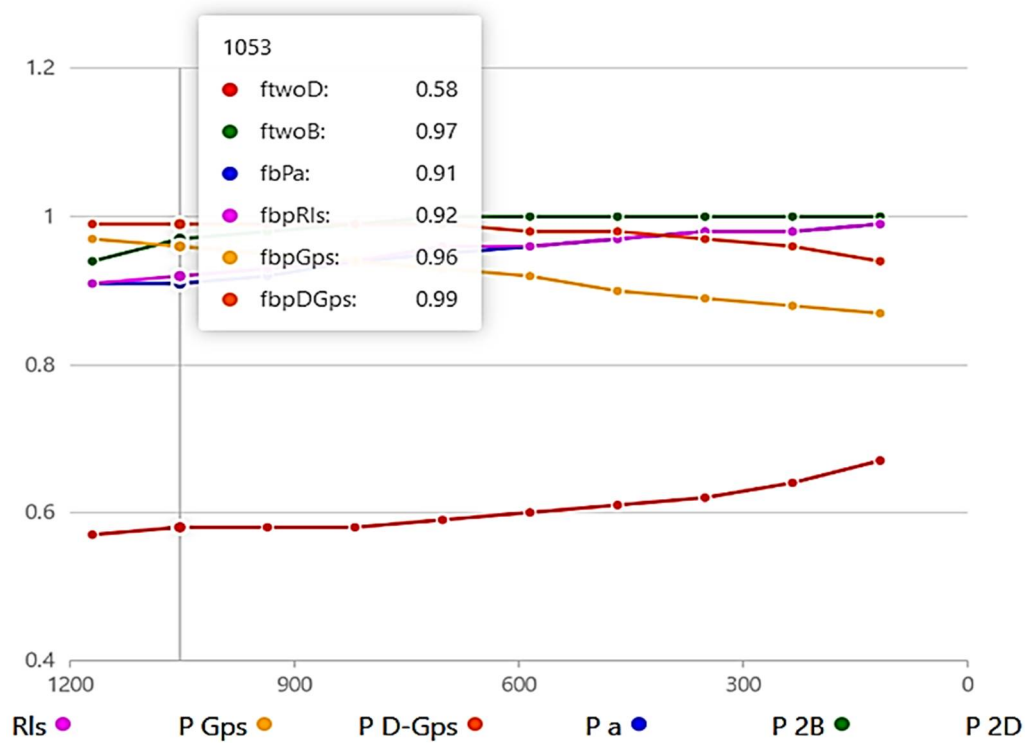
в - шляхова точка 9 .

Рис. 5.20.а,б,в Інтерфейс імітаційної програми, кількісна оцінка ширини смуги для різних способів контролю місця судна на ділянці ВШ (для а-шляхова точка 2, б -шляхова точка 4, в-шляхова точка 9).

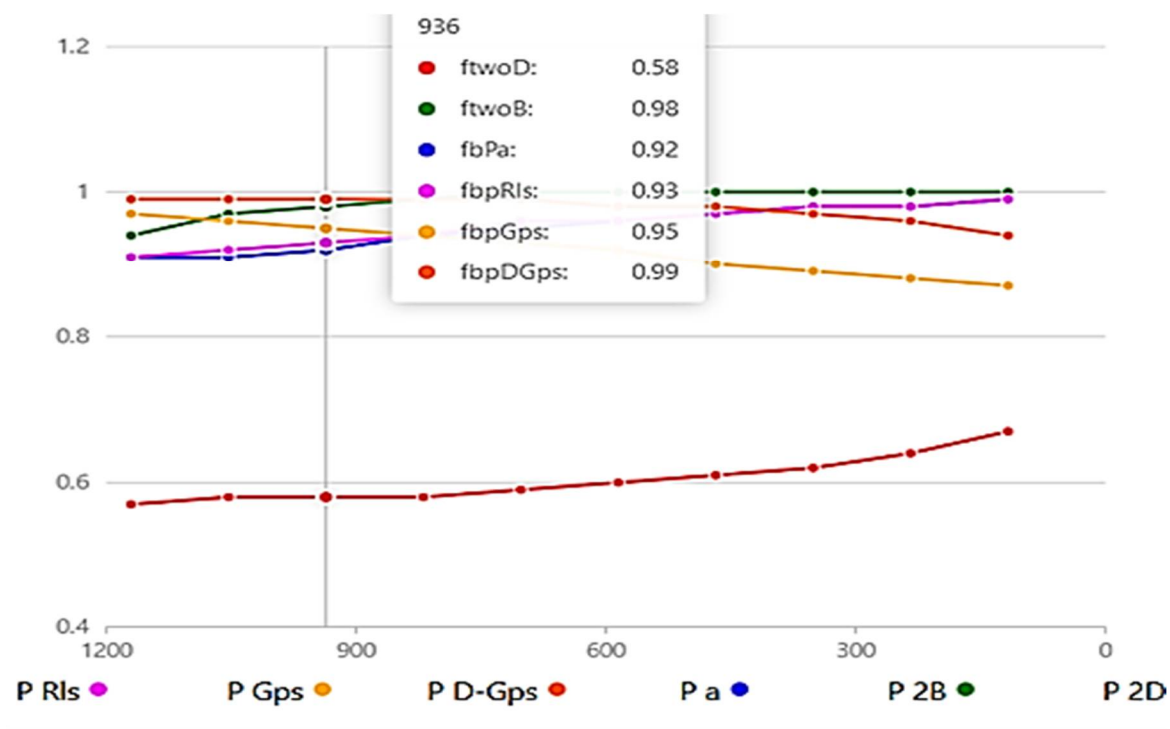
У результаті розрахунків судноводій має оцінку ширини смуги для різних способів і може, для кожної точки шляху, з урахуванням умов на обраній ділянці, обрати спосіб контролю місця судна для безпечної проводки.

У результаті розрахунків судноводій має оцінку ширини смуги для різних способів і може, для кожної точки шляху з урахуванням умов на обраній ділянці, обрати безпечний спосіб.

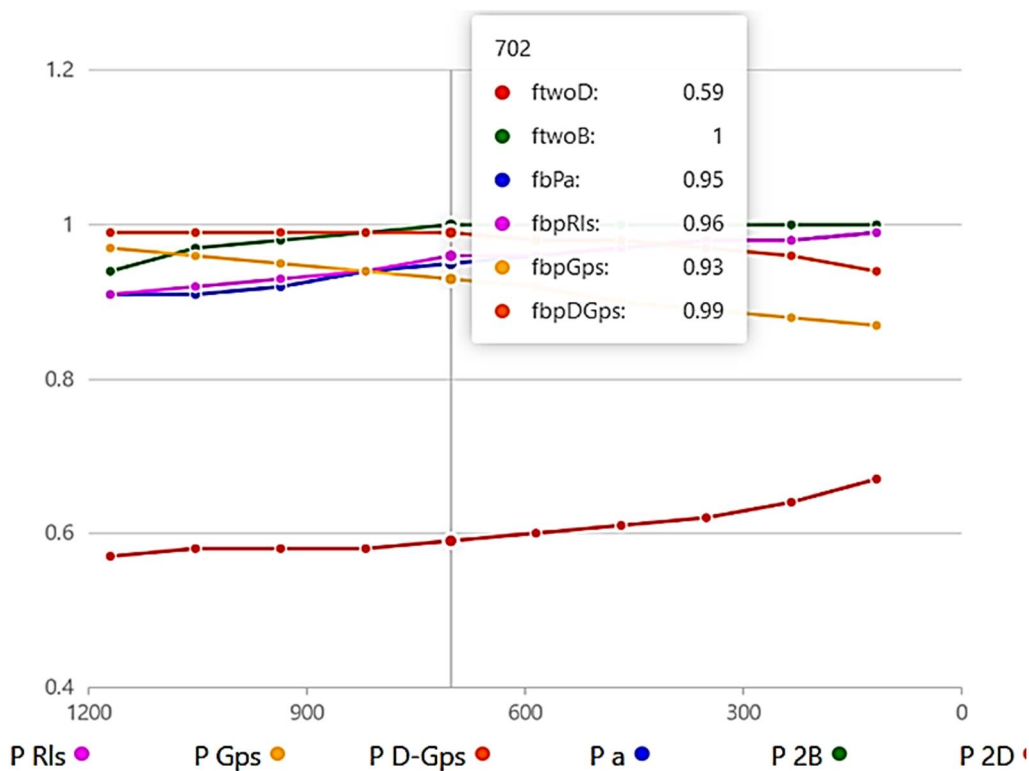
На рис. 5.21. представлені ізолінії відображають значення оцінки вірогідності для різних способів контролю місця судна на обраній ділянці ВШ.



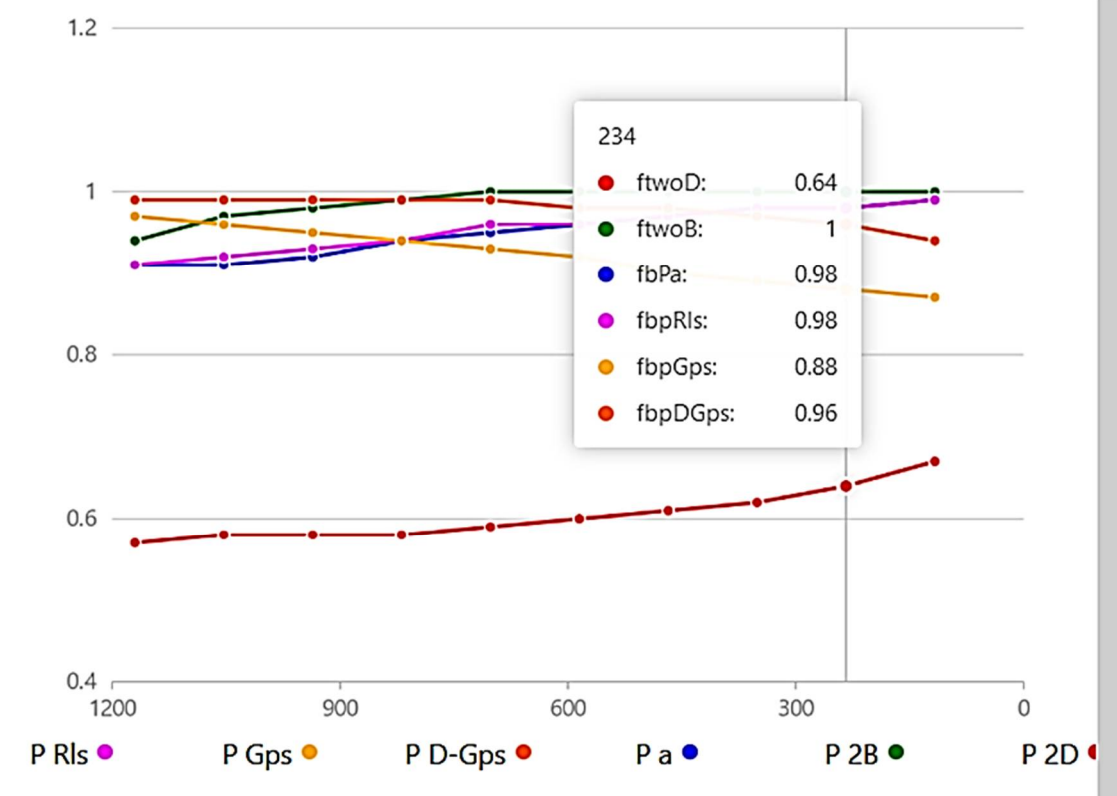
а - шляхова точка 2 .



б - шляхова точка 3 .



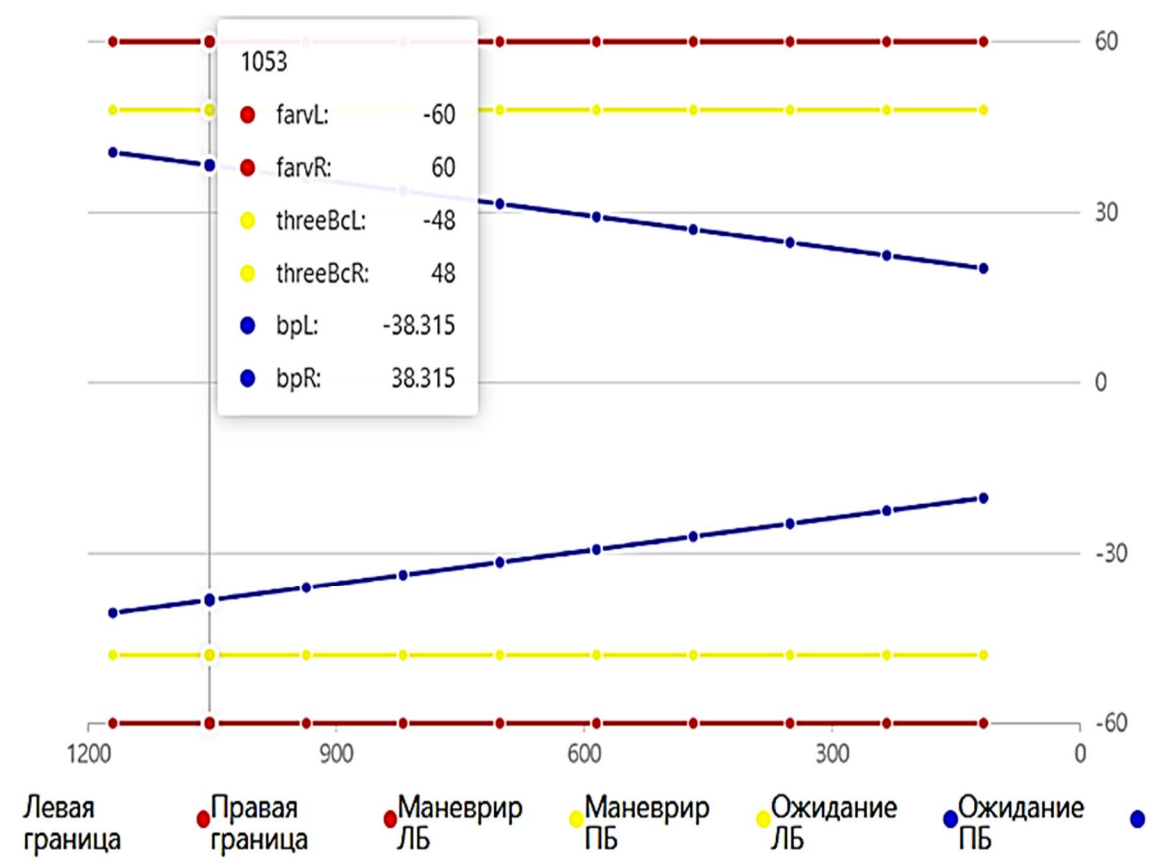
в - шляхова точка 5 .



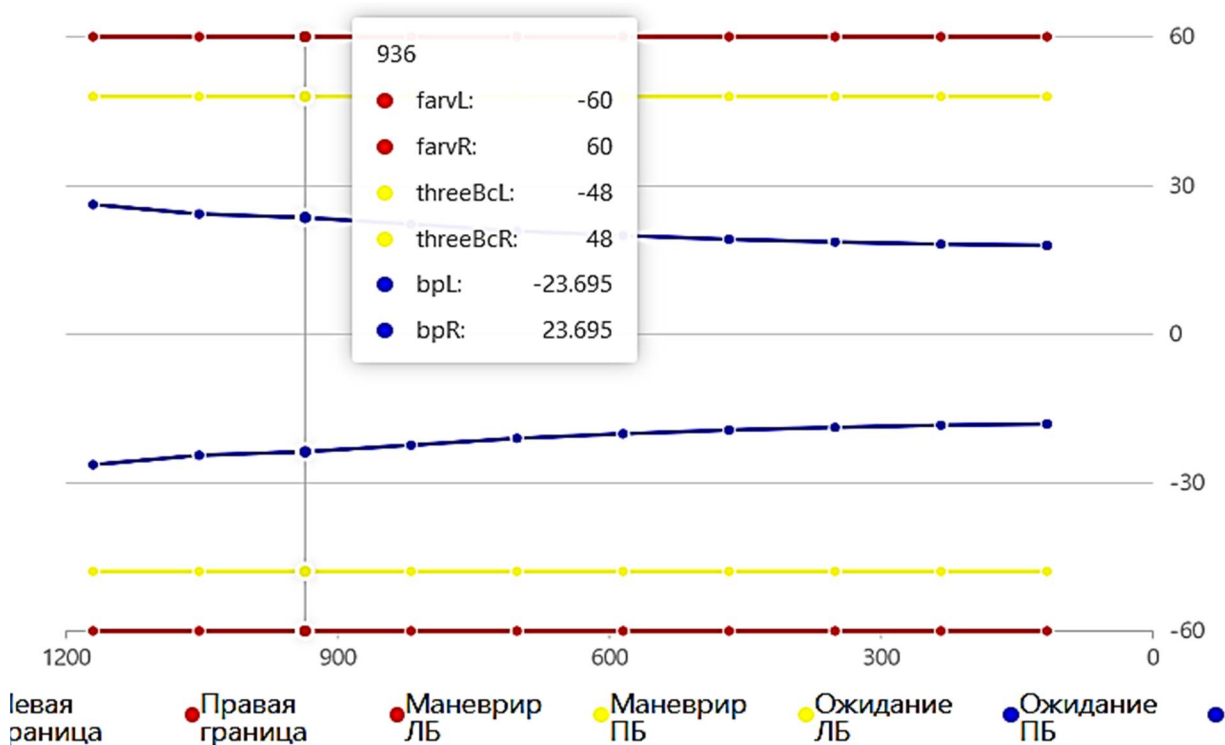
г - шляхова точка 9 .

Рис. 5.21. а,б,в,г. Інтерфейс імітаційної програми, оцінки вірогідності для різних способів контролю місця судна (а-шляхова точка 2, б -шляхова точка 3, в-шляхова точка 5, г-шляхова точка 9).

Інтерфейс із відображенням положення судна та огорожувальних ізолей представлено на рис. 5.22.



а-шляхова точка 2



б -шляхова точка 3

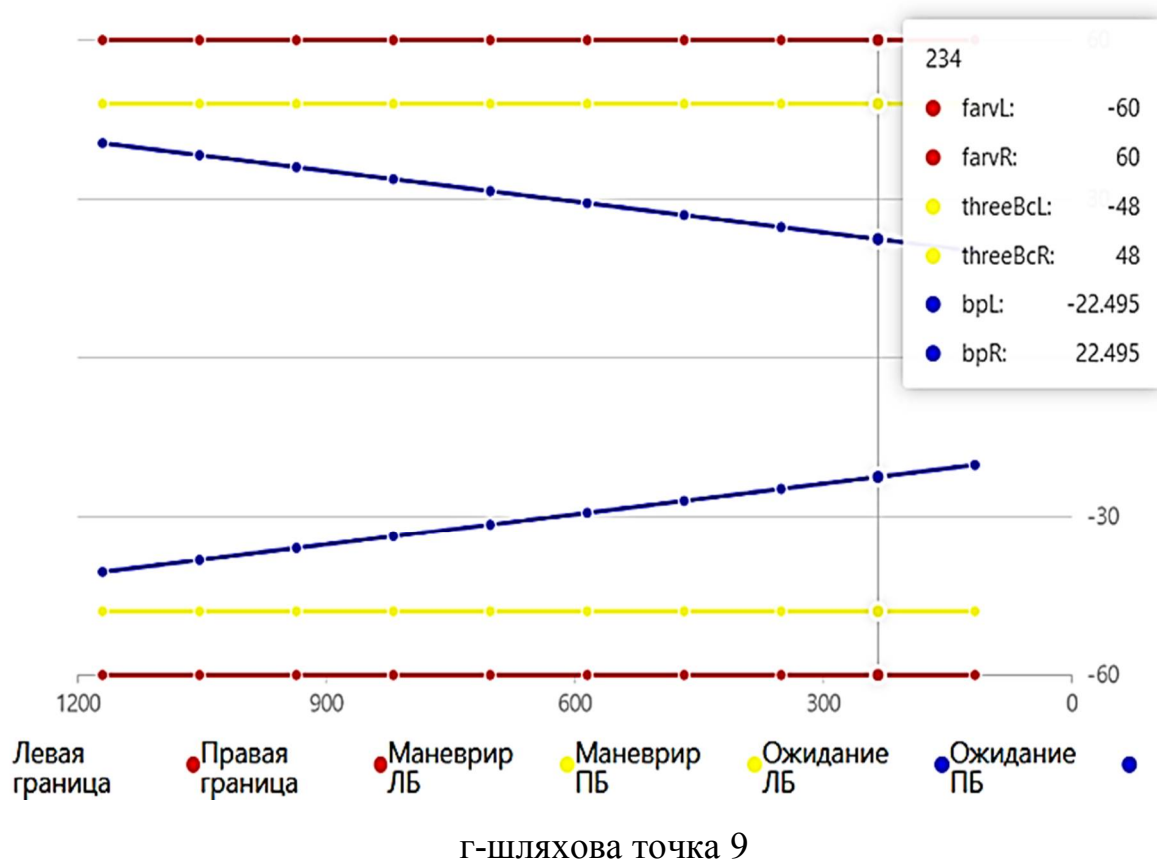
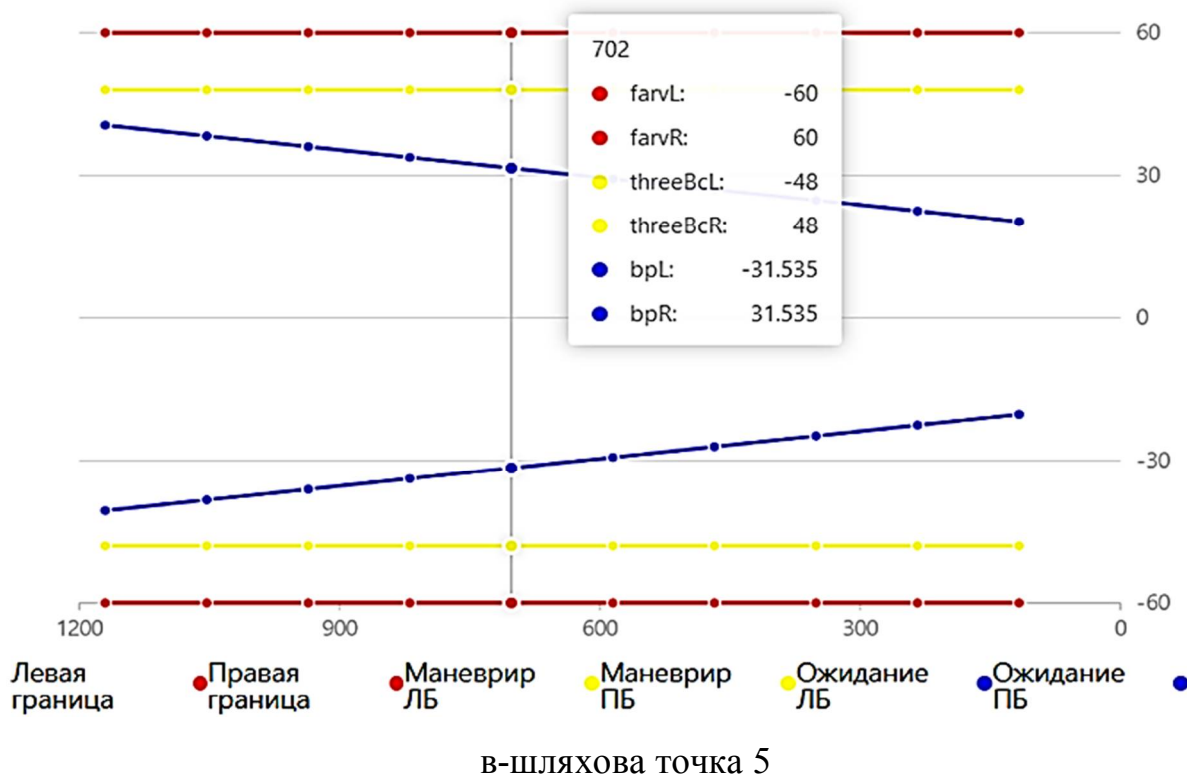


Рис. 5.22. а,б,в,г. Інтерфейс імітаційної програми, із відображенням положення судна та огорожувальних ізоліній для різних способів контролю місця судна (а-шляхова точка 2, б -шляхова точка 3, в-шляхова точка 5, г-шляхова точка 9).

Показана процедура оцінки вірогідності безпечної проводки судна сформованим маршрутом з урахуванням точності визначення бічного відхилення судна. Процедура оцінки ситуації відповідає другому блоку першого модуля та дозволяє контролювати відстань до небезпеки по курсу, бічну відстань до небезпеки з урахуванням глибини (висоти) та значення оцінки рівня безпеки проводки судна. Отримані значення кількісних оцінок характеристик елементів процедури руху допомагають судноводіям в прийнятті рішень, що відповідає рекомендаціям блоку 3 модуля1 комп'ютерної програми.

По-третє, за допомогою клавіші «Ввести.», як показано на рис. 5.23, ввести значення результатів дослідження, щодо значень оцінки величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу

Після завершення введення параметрів початкової ситуації для подальшої роботи необхідно використовувати клавішу "Расчит", після чого на екран монітору виводиться зображення, показане на рис.

Оцінка ширини полоси руху судна при відповідном способі контролю положеня судна

Pi (сутки): ☒ 1 ☐ 2 ☐ 3

dop	pi1	fbp	bp
1170	0.04	0.91	81.15
1053	0.04	0.91	76.63
936	0.04	0.92	72.11
819	0.04	0.94	67.59
702	0.04	0.95	63.07
585	0.04	0.96	58.55
468	0.04	0.97	54.03
351	0.04	0.98	49.51
234	0.04	0.98	44.99
117	0.04	0.99	40.47

а-перша доба

Оцінка ширини полоси руху судна при відповідном способі контролю положення судна

Pi (сутки): ☐ 1 ☒ 2 ☐ 3

dop	pi2	bp	fbp
1170	0.22	81.15	0.91
1053	0.22	76.63	0.91
936	0.22	72.11	0.92
819	0.23	67.59	0.94
702	0.23	63.07	0.95
585	0.23	58.55	0.96
468	0.24	54.03	0.97
351	0.24	49.51	0.98
234	0.24	44.99	0.98
117	0.24	40.47	0.99

б - друга доба

Оцінка ширини полоси руху судна при відповідном способі контролю положення судна

Pi (сутки): ☐ 1 ☐ 2 ☒ 3

dop	pi3	bp	fbp
1170	0.46	81.15	0.91
1053	0.47	76.63	0.91
936	0.47	72.11	0.92
819	0.48	67.59	0.94
702	0.49	63.07	0.95
585	0.49	58.55	0.96
468	0.5	54.03	0.97
351	0.5	49.51	0.98
234	0.5	44.99	0.98
117	0.51	40.47	0.99

в-третя доба

Рис. 5.23.а,б,в- Інтерфейс імітаційної програми, для відображення значень розрахунків відстані до небезпеки, інформаційної похибки, вірогідності безпечної проводки суден, ширини смуги руху судна. (а-перша доба, б - друга доба, в-третя доба).

Отримані значення оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу руху судна для обраної ділянки водних шляхів (рис.5.24).

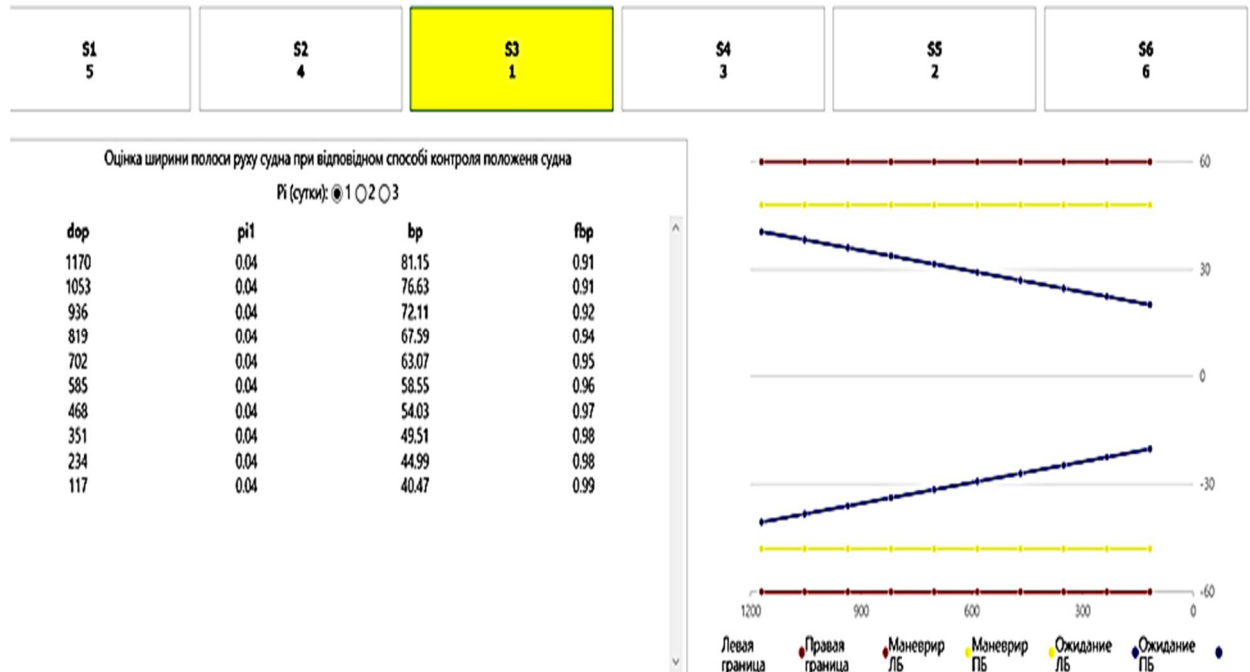


Рис. 5.24. - Інтерфейс імітаційної програми, для відображення значень розрахунків відстані до небезпеки, інформаційної похибки, вірогідності безпечної проводки суден, ширини смуги руху судна та рекомендованого способу контролю місця судна.

Процедура оцінки ситуації відповідає другому блоку модуля 2 і дозволяє контролювати відстань до небезпеки по курсу та бічну з урахуванням глибини (висоти), коливання рівня води та значення оцінки рівня безпеки проводки судна з урахуванням величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу . Отримані значення кількісних оцінок характеристик елементів процедури руху допомагають судноводіям в прийнятті рішень, що відповідає рекомендаціям блоку 3 модуля 2 комп'ютерної програми.

У даному випадку найкращий результат показав спосіб з застосуванням

віртуальних ЗНО.

Показана процедура оцінки вірогідності безпечної проводки судна сформованим маршрутом з урахуванням точності визначення бічного відхилення судна.

Тому розробка способів мінімізації ризиків аварії при плаванні судна в умовах обмеженого поля навігаційної інформації, що визначає тематику дисертаційної роботи, є актуальним науковим напрямом для вирішення якого пропонується:

урахування апріорної інформації оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу руху судна;

установка сучасних ЗНО;

заміна навігаційних вогнів на берегових та плавучих ЗНО на сигнальну апаратуру на сонячних батареях з дистанційним радіотехнічним та візуальним моніторингом;

віддалений радіотехнічний та візуальний (електроні візуальні системи) моніторинг нових та існуючих ЗНО із супутниковими модемами, розташованих на ділянках зі стислими умовами, сприяє автоматизованій технології аналізу параметрів небезпечних даних;

трансляція сучасних контрольованих повідомлень ЗНО через AIS.

скорочення період між моментом, коли була здійснення події на обраній ділянці водних шляхів та інформуванням зацікавлених учасників процесу проводки суден .

Планування роботи інформаційної системи навігаційної безпеки судна та визначення небезпечних ділянок для проводки суден і вирішення завдань щодо створення надійної берегової системи інформаційного забезпечення руху суден на водних шляхах з урахування апріорної інформації оцінювання величини похибки . Це вдосконалить якість та надійність процедури прогнозу та планування руху.

На завершення розділу приведено опис формування заданого

маршруту за допомогою електронної карти. У базі даних комп'ютерної програми є електронні карти, за допомогою яких показана можливість формування маршруту проводки судна в конкретних районах його плавання з урахуванням реальної картографічної інформації, приведеної на електронній карті. Показана процедура оцінки вірогідності безпечної проводки судна сформованим маршрутом з урахуванням точності визначення бічного відхилення судна та урахуванням похибки навігаційної інформації. (Додаток А)

5.3. Використання передрейсової підготовки судноводіїв для проводки судна водними шляхами в стислих умовах

Сучасні методи оцінювання ризику базуються на поєднанні методології аналізу зв'язку причин несправностей і наступних подій, що дозволяє уявити сценарії розвитку аварійних ситуацій на підставі аналізу тих чинників, які найбільшою мірою впливають на наслідки аварій. Сценарій аварії є послідовність подій, які починаються з початкового, що є деяким відхиленням від нормального ходу процесу. Це відхилення викликає необхідність реакції з боку оператора та системи контролю і підготовки фахівця для повернення в нормальний стан. Ці події групуються в залежності від результатів впливу на них морфологічних і гідрометеорологічних умов та дій суднових спеціалістів нівелюючих наслідки аварійної ситуації. Набір послідовностей подій розвитку аварії становить сукупність сценаріїв. Кожен сценарій закінчується деяким кінцевим станом, що характеризується ймовірністю (частотою) настання і результатом. Таким чином, сценарій аварії може бути представлений як деякий шлях від ініціюючої події до кінцевого стану. Для мінімізації небажаних наслідків і забезпечення безаварійної роботи судна, важливого значення набуває передрейсова підготовка командного складу при проведенні судів на водних шляхах з

використанням інформації РІС. Застосування сучасних багатофункціональних навігаційних тренажерних комплексів сприяє підвищенню якості професійної підготовки фахівців [80, 85,86].

Аналіз досліджень [81,85,86,89] впливу типу навчальної програми на розвиток навичок слухача виконувати поставлене завдання в певних умовах.

Навчальні та оцінювальні комп'ютерні програми використовують логічно-математичний і усно-лінгвістичний способи мислення, розвивають здібності фахівця запам'ятовувати, розпізнавати і класифікувати. Комп'ютерні програми для моделювання задач включають в роботу всі способи мислення, міжособистісний і внутрішній інтелекти і дозволяють використовувати індивідуальний склад розуму для роботи в складі групи з обов'язковим використанням візуально-просторового способу мислення для застосування знань і навичок для успішного вирішення завдання. Виконаний аналіз підтверджує, що моделювання задач на тренажері дозволяє задіяти всі перераховані вище рівні і способи мислення, для підвищення якості навчання і розвитку творчого підходу до вирішення завдань в нестандартних ситуаціях.

Методика передрейсової підготовки командного складу до управління подіями при проходці суден на водних шляхах з використанням інформації РІС в стандартних та надзвичайних ситуаціях призначена для підготовки фахівців до адекватних дій в умовах нестандартних ситуацій, в обов'язки яких входить проведення суден в море і обмежених умовах водних шляхів.

Актуальність тренажерної підготовки обумовлена придбанням при виконанні певних вправ у вигляді розроблених сценаріїв, адресованих на відновлення знань, умінь і навичок в області обробки навігаційної інформації і управління судна в різних ситуаціях, підвищення готовності операторів для ефективного управління діями команди, а також оптимізації прийнятих рішень і дій при виникненні нестандартних ситуацій. У методику включені методи формування прийняття рішень при управлінні подіями для підвищення безпеки при забезпеченні проведення суден.

У Кодексі конвенції ПДНВ представлені вимоги до тренажерного та іншого обладнання, призначених для підготовки та перевірки знань, умінь і навичок судноводіїв і механіків; а національні - в наказі міністерства інфраструктури України № 491, від 2014 року. З огляду на те що ПДНВ існує з 1978 року, а також після змін 2010 року, виникає необхідність посилити підготовку операторів рівня управління в області прийняття рішень.

На рівні «розуміння» розкриваються механізми експлуатаційних процесів на основі фундаментальних теоретичних знань, виявлених закономірностей, причинно-наслідкових зв'язків, що відбуваються в нестандартних ситуаціях, і дається розуміння про прогнозування розвитку надзвичайної ситуації, виявленні, а також реалізацію стратегічних, тактичних і оперативних завдань при управлінні подіями .

На рівні «вміння» в програму включені процедури передрейсової підготовки судна, управління судном на водних шляхах з використанням інформації РІС. З особливою увагою розглядаються механізми вирішення завдань з управління подіями в області різних ситуаційних режимів експлуатації судна:

- забезпечення необхідною передрейсовою навігаційною інформацією;
- забезпечення передрейсовою підготовкою суднових спеціалістів;
- забезпечення проводки судна.

На рівні придбання «навичок». На проміжних і заключному етапах методики передрейсової підготовки проводиться комплекс реалізованих завдань, пов'язаних з формуванням навичок з управління подіями і реалізації прийнятих рішень до адекватних дій в нестандартних умовах плавання для адаптації операторів командного складу, за допомогою тренажера. Тематичний план підготовки спостерігачів в передрейсовій підготовці з управління подіями представлений в додатку С .

Судноводії, які пройшли програму передрейсової підготовки, при появі неадекватних ситуацій в процесі проводки судна повинні здійснювати управління подіями при проводці судна в нестандартних ситуаціях, використовуючи методи, яким вони були навчені.

У методиці передрейсової підготовки застосовуються етапи:

Презентація - підготовка та визначення умов і рівня компетентності фахівців.

Проведення підготовки операторів при управлінні подіями.

Реалізація освоєних нових знань, умінь і навичок в управлінні подіями на відповідному тренажерному обладнанні.

Заключний - оцінка якості придбаних нових знань, умінь і навичок судноводіями з управління подіями в нестандартних ситуаціях в процесі виконаної підготовки.

Таким чином, для отримання операторами рівня управління необхідних компетенцій і здатність реалізувати управління подіями в надзвичайних ситуаціях необхідно задіяти спеціальне тренажерне обладнання, що має відповідні функціональні можливості.

Для реалізації задач передрейсової підготовки пропонуються сценарії.

Вибір сценарію проводки судна водними шляхами:

Етап А. Блок введення завдання і умов зовнішньої обстановки на ділянці водних шляхів;

п.1.умови на ділянці

- морфологічні умови;
- гідрометеорологічні умови;
- навігаційні умови;
- інформаційні умови;
- умови та причини аварійності.

Етап Б. Блок введення та завдання параметрів судна

- Тип судна та його маневрові характеристики;
- Склад та характеристики навігаційного обладнання судна;

Етап В. Блок введення та завдання параметрів джерел навігаційної інформації на ділянці :

- Суднові ТЗН та їх характеристики;
- Берегові ТЗН та їх характеристики;
- Гідрометеорологічні та морфологічні умови впливаючі на роботу

систем.

Етап Г. Блок введення та завдання параметрів для прийняття рішень стосовно вибору способу контролю місця судна на ділянці

- Контроль часу при виконанні типових завдань зі зміною умов проводки суден з метою прийняття запропонованих управлінських рішень по контролю місця судна ;

Розроблена науково-методична база для тренажерної підготовки судноводіїв дій в небезпечних навігаційних ситуаціях включає:

- типові схеми небезпечних для судноплавства ділянок річок;
- класифікацію небезпечних навігаційних ситуацій;
- методику створення небезпечних навігаційних ситуацій на тренажерах.

Розроблено організаційно-методичне забезпечення практичної підготовки судноводіїв на тренажері, що включає:

- програми теоретичної та практичної підготовки судноводіїв на тренажері;
- типові рекомендації з управління суднами в штатних і небезпечних навігаційних ситуаціях;
- рекомендації інструкторам- викладачам тренажерних центрів по індивідуальному підходу до навчання судноводіїв діяти в небезпечних навігаційних ситуаціях.

Висновок: з отриманих результатів сценарного дослідження дій операторів суднових ергатичних систем відзначається, що відповідно до сценарію з проводкою судна повністю задовольняється вимога в разі прийняття запропонованих управлінських рішень по контролю місця судна і не завжди задовольняють по відношенню до управління судном.

Таким чином, для аналізу безпеки плавання судна в обмежених водах конкретних районів навігації необхідне використання електронних карт, за допомогою яких формується маршрут проводки судна. Для нього стандартною процедурою імітаційної програми проводиться оцінка вірогідності безаварійної проводки судна з урахуванням закону розподілу похибки бічного відхилення і точності контролю місця судна.

5.4. Висновки за п'ятим розділом

У даному розділі представлена комп'ютерна програма, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб оцінки вірогідності безаварійної проводки судна запланованим маршрутом на водних шляхах в стислих умовах, яка використовує модель одновимірної щільності похибки бічного відхилення і характеристики маршруту проводки. Показано, що в програмі є три варіанти завдання маршруту проводки судна, один з яких дозволяє використовувати один з стандартних маршрутів, що знаходяться в базі даних програми. Інші два варіанти передбачають інтерактивне формування маршруту проводки введенням масиву точок меж безпечної області і програмної траєкторії руху судна. Причому один з варіантів формування маршруту проводки передбачає використання електронної карти. По завершенню завдання маршруту проводки судна проводиться розрахунок його характеристик, вибирається закон розподілу інформаційної похибки для заданої ділянки, похибки бічного відхилення і задається точність контролю місця судна по бічному відхиленню. З урахуванням вказаних чинників здійснюється оцінка вірогідності безпечної проводки судна заданим маршрутом.

За допомогою імітаційного моделювання виконано порівняння моделей оцінки вірогідності проводки судна заданим маршрутом, в результаті якого одержано висновок про ідентичність моделей, оскільки відмінність вірогідності, одержаної з їх допомогою, складає не більш 1,4%. Тому в розділі приведена програма оцінки вірогідності безпечної проводки, розроблена на моделі одновимірної щільності розподілу вірогідності бічного відхилення.

На завершення розділу приведено опис формування заданого сценарію проведення передрейсової підготовки курсантів та спеціалістів з застосуванням тренажерного обладнання.

Зміст п'ятого розділу опубліковано в роботах [84-87,89-91].

ВИСНОВКИ

Забезпечення безаварійного судноводіння веде до зниження завдання шкоди людському життю та навколишньому середовищу. Навігаційні перешкоди разом з умовами водних шляхів та інтенсивним судноплавством сприяють виникненню аварійних ситуацій, що значно ускладнює проход суден в стислих умовах. Значний вплив на навігаційну небезпеку проводки суден на водних шляхах в стислих умовах мають інформаційна похибка навігаційної обстановки та похибка управління судном.

Інформаційна похибка навігаційної обстановки впливає на точність визначення позиції судна, і має суттєвий вплив на вірогідність безпечної проводки судна в стислих умовах. Для мінімізації ризиків виникнення аварійної ситуації слід розробити спосіб апіорної оцінки безпеки судноводіння з урахуванням точності проводки судна в стислих умовах, яким слід користуватися на етапі планування переходу судна.

Тому розробка способів мінімізації ризиків аварії при плаванні судна в в стислих умовах, що визначає тематику дисертаційної роботи, є актуальним науковим напрямом.

У дисертаційному дослідженні одержано нове вирішення задачі планування вибору високоточного способу контролю для забезпечення проводки судна шляхом розробки методу оцінки навігаційної безпеки з урахуванням інформаційної похибки навігаційної обстановки, що має комп'ютерну реалізацію з мінімізації ризиків аварії

В результаті вирішення головної наукової задачі дисертаційного дослідження удосконалено метод оцінки безпечного судноводіння в залежності від точності проводки судна в стислих умовах, який реалізований в комп'ютерній програмі, і відрізняється визначенням вірогідності безаварійного плавання імітаційним моделюванням з допомогою електронної карти.

У дисертаційній роботі вперше:

- запропонована процедура оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу руху судна;

- отримав подальший розвиток спосіб визначення залежності вірогідності безпечної проводки судна від випадкових інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу, який відрізняється оперативним врахуванням ширини суднового ходу;

- Удосконалено метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального способу планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок.

Практична значимість роботи визначається тим, що результати дослідження можуть бути використані на судах для визначення безпечності маршруту, а також розробниками навігаційних інформаційних систем.

Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Отримані в роботі результати, як теоретичного, так і практичного спрямування, можуть бути використані в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість апріорно визначити рівень безпеки судноводіння при плаванні на водних шляхах в стислих умовах, яким планується, та можливість знизити вплив негативних керованих факторів.

Обґрунтування достовірності отриманих результатів. Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджуються коректною розробкою математичних моделей і їх застосуванням, як і проведенням імітаційним моделюванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (2000-2019) <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynosti-za-2019.pdf>
2. Міністерство транспорту та зв'язку України НАКАЗ від 29.05.2006 N 516 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 9.08.2006р. за N959/12833 Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами (Із змінами, внесеними згідно з Наказами)
3. EMSA. Annual overview of marine casualties and incidents 2009-2019.<http://www.emsa.europa.eu>
4. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2016. <http://www.agcs.allianz.com/>
5. Allianz Global Corporate & Specialty. Safety and Shipping Review 2013. <http://www.agcs.allianz.com/>
6. Australian Shipping Occurrence Statistics 2005 to 2012. <https://www.atsb.gov.au/>
7. Japan Transport Safety Board. <http://www.mlit.go.jp/itsb/Imarrep.html>
8. Marine Accident Investigation Branch.<https://www.gov.uk/>
9. Norwegian Maritime Authority Accident Statistics.<https://www.siofartsdir.no>
10. The Danish Maritime Accident Investigation Board. <http://www.dmaib.com/>
11. The Mariners' Alerting and Reporting Scheme (MARS). Nautical Institute. <http://www.nautinst.org/en/forums/mars/>
12. The world merchant fleet in 2005-2014. Statistics from Equasis. www.equasis.org
13. Transportation Safety Board of Canada. <http://www.tsb.gc.ca/eng/stats/marine/>
14. Review of Maritime Transport. UNCTAD, 2014 - 2020

<https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/WorldSeaborneTrade.html>

15. Bernard Borg. Predictive safety from near miss and hazard reporting / Signal Safety and Training, 2002 - 18 p.
16. Risk focus: loss of power / UK P&I Club, 2012 - 12 p.
17. Аналіз аварійності на суднах УДП .(Матеріали СБМ УДП, капітанія п.Ізмаїл, 1970-2000) СБ14-338 от 03.01. 92
18. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А Бурмака., Э.Н Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.
19. Вагущенко, Л. Л. Системы автоматического управления движением судна : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко, Н. Н.Цымбал. -Одесса : ОНМА, 2002.-210 с.
20. Волков А.Н. Отображение зоны безопасности судна на электронной карте // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013, – С 40 - 45.
21. Гриняк В.М. Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов – Владивосток, - 2016.- 297 с.
22. Погосов С. Г. Береговые системы управления движением судов/ Погосов С. Г., Москвин Г. И. – М.: Судовождение и связь, 1976. – 54 с.
23. Якушев А. О. Выбор оптимальной формы судовой безопасной зоны/ Якушев А. О. //Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 23. – Одесса: «ИздатИнформ», 2013 – с.157-162.
24. Fujii, Y. Studies in marine traffic engineering: traffic capacity / Y. Fujii, K. Tanaka// Journal of Navigation. – 1971. – Vol. 24. - P. 543–552.
25. Goodwin, E.M. A statistical study of ship domains / E.M. Goodwin // Journal of Navigation. – 1975. - Vol. 28. - P. 328–341.
26. Астайкин Д.В. Сравнение способов оценки безопасности плавания в стесненных районах / Д.В.Астайкин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 31-39.

27. Баранов, Ю. К. Навигация : учебн. пособие / Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк, В. А. Логиновский. – СПб.: Издательство Лань, 1997. – 512 с.
28. Вильский Г.Б. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов. / Г .Б. Вильский, А. С. Мальцев , В. В. Бездольный, Е.И.Гончаров. –Одесса –Николаев: Фенікс, 2007. –456 с.
29. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак, В.В. Северин – LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2018. - 239 с.
30. Ворохобин И.И. Траекторная погрешность поворота судна и способы снижения ее величины / И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак, В.В. Северин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017. - С.101 – 105.
31. Васильев А.В. Управляемость судов. Л.: Судостроение, 1989. -328 с.
32. Гришанин К.В., Дегтярев В.В., Селезнев В.М. Водные пути. М: Транспорт, 1986. -400с.
33. 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.
34. Соларев Н.Ф. Безопасность маневрирования речных судов и составов. М.: Транспорт, 1980. - 215 с.
35. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Схвалена Розпорядженням КМУ від 20.10.2010 № 174-р.
36. Наказ МІУ 25.02.2011 № 7 з змінами про комплекс заходів щодо створення річкової інформаційної служби на внутрішніх водних шляхах України.
37. Директива 2005/44/ЕС Европейского парламента и Совета от 7 сентября 2005 года в отношении гармонизированных речных информационных служб на внутренних водных путях в странах Сообщества, ЕС, 2005.

38. Руководящие принципы и рекомендации для речных информационных служб. Пересмотр 1. (ECE/TRANS/SC.3/165/Rev.1), ЕЭК ООН, Нью-Йорк, Женева, 2012.

39. Резолюцією №57 ЄЕК ООН «Руководящие принципы и рекомендации для речных информационных служб».

40. Регламентом (ЄС) № 415/2007 Європейської Комісії від 13 березня 2007 р.

41. Рекомендацією міжнародної асоціації маякових служб (МАМС) А-124 на берегові станції Автоматичної Ідентифікаційної Системи (АІС) та мережеві аспекти служб АІС, ред.1.3, грудень 2008 (IALA Recommendation A-124 on Automatic Identification System (AIS) shore stations and networking aspects relating to the AIS service, Ed.1.3, Dec.2008).

42. Ляшенко А.С. Речные информационные службы в Европе: Порты Украины, № 05(43), 2003.

43. Resolution IMO MSC 85/26 /Add.1 Annex 20 «Strategy for the development and implementation of e-Navigation».

44. Системы отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства (СОЭНКИ ВС). Inland ECDIS: Стандарт Inland ECDIS, версия 2.1. — [Введен. в действия. 16 мая 2008]. —Будапешт: Дунайская комиссия, 2008. — 161 с. — (Стандарт ЕЭК ООН).

45. Encoding Guide for the RIS Index. Version 1.0, EU, 2012.

46. Гладких И.И. Разработка стандарта электронного обмена информацией для судов на внутренних водных путях Украины /И.И.Гладких // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 11 –Одесса: «ИздатИнформ», 2006. –С. 42–51.

47. И. И. Гладких, д.т.н., профессор, А. П. Чеча, ст. преподаватель Обоснование индексации объектов UKRRIS – Одесса., Национальный университет «Одесская морская академия», Украина Судовождение 2016.(_26_13) 77-83с.

48. ЕКНІС (ECDIS). Резолюції No 48 «Рекомендації, що стосуються

системи відображення електронних карт та інформації для внутрішнього судноплавства (ЕКНІС (ECDIS) для внутрішнього судноплавства)» Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.

49. Загальний склад радіо- та навігаційного обладнання суден, що здійснюють плавання на ВВШ в зоні дії РІС, визначається Правилами судноплавства на внутрішніх водних шляхах України, затвердженими наказом Міністерства транспорту України від 16 лютого 2004 року No 91, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 12 липня 2004 року за No 872/9471.

50. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении. –Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.

51. Структурне моделювання та символні перетворення для управління рухом транспортних засобів /В.В. Панін та ін.–К., 2014. – 310 с.,

52. Доронін В.В. Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. –К.: КДАВТ, 2016. – 277 с.

53. Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової Е-навігації І В.В. Доронін к.т.н., професор кафедри «Технічні системи і процеси керування в судноводінні» , В.М. Алейніков, О.М. Спіян аспірант spriyan@ukr.net Одеського національного морського університету No 3 (56), 2018.

54. ECE/TRANS/SC.3/175 Международные стандарты, касающиеся извещений судоводителям и систем электронных судовых сообщений во внутреннем судоходстве Резолюция No 60 принятая Рабочей группой по внутреннему водному транспорту 20 октября 2005 г.

55. О необходимости повышения эффективности речных информационных систем с целью обеспечения безопасности судоходства / Коломиец Д. П., Чимшир В. И.// Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. –Х: НТУ «ХП», –2013. -No 56 (1029).–С.112-117.

56. Повідомлення судноводіям: Регламент Комісії No 018/2032. Електронні судові повідомлення: Регламент Комісії No 2019/1744. (Код ООН по типам транспортних средств (СЕФАКТ ООН, рекомендація №28); Официальный номер судна ЦКСР (официальный номер судна розробляється також ЕЭК ООН); Идентификационный номер судна ИМО (резолюция ИМО А.600/15, глава XI, статья 3 конвенции СОЛАС);)

57. Инструкция по расстановке знаков навигационной путевой обстановки на Дунае принята Постановлением Сорок девятой сессии Дунайской Комиссии (док. ДК/СЕС 49/24 от 23 апреля 1991 г. док. ДК/СЕС 66/22) от 8 мая 2006 г.).

58. IALA Guideline No. 1078 On The Use of Aids to Navigation i-n the Design of Fairways Edition 1 June 2011

59. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. Монография./ В. Т. Кондрашихин” М.: Транспорт, 1981. - 206 с.

60. Шевченко А.И., Дыба В. Г. Результаты опытных проводок судов по входному каналу порта Южный с использованием БРЛС. Статья./ А.И Шевченко, В. Г. Дыба – Экспресс-информация ЦБНТИ ММФ. Сер. Судовождение и связь. 1982. Вып. 3 (148), с. 1-9.

61. Прохоренков А.А. Использование трехмерных навигационных карт для повышения навигационной безопасности плавания по внутренним водным путям. Международный журнал перспективных исследований, Т. 9, No1, 2019, с.26 - 49.

62. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М.: Наука, 1980.

63. Вильский Г.Б. Исследование информационной безопасности водных путей / Г.Б. Вильский// Судовождение: Сб. научн. тр. - Вып.18. / Одеса: «ВидавІнформ» ОНМА, 2010, — С. 38-47.

64. Мальцев А. С. Теорія і практика безпечного управління судном при маневруванні. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. —Одесса.: ОНМА, 2007. – 37 с.

65. Ворохобин И.И. Процедура оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах/ И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014.- № 4 . - С. 119 - 126.
66. Некрасов С. Н., Прохоренков А. А. Ситуационный метод оценки навигационной безопасности плавания // Сборник докладов 57-й Международной молодежной научно-технической конференции «МОЛОДЕЖЬ — НАУКА — ИННОВАЦИИ», посвященной 200-летию транспортного образования в России, 25–26 ноября 2009.: в 2 т. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. — Т. 1 — 261 с.
67. Некрасов С.Н. Оценка и прогнозирование опасных навигационных ситуаций / С.Н. Некрасов, И.В. Капустин, М.С. Старов. // Журнал университета водных коммуникаций. –СПб: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013. —Вып. 2 (18). С. 98-100.
68. Прохоренков А. А. Комбинированный метод оценки навигационной безопасности плавания по ВВП // Журнал университета водных коммуникаций выпуск №1, 2011, стр. 106-109.
69. Северин В.В. Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом / В.В. Северин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017. - С. 94 -98.
70. Тихонов І. В. Методологічні основи полієргатичного забезпечення навігації та управління рухом водних транспортних засобів (цільова технологія безпеки). Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. –К.: ДУІТ, 2018. – 441 с.
71. Олшамовский С. Б., Земляновский Д. К., Щепетов И. А. Организация безопасности плавания судов. - М.: Транспорт, 1979.- 213 с.
72. Миюсов С.М. Синтез и отображение информационной структуры текущей навигационной ситуации / С.М. Миюсов // Судовождение. Сб. науч. тр. / ОНМА. — вып.11 —Одесса: «ИздатИнформ», 2006. — С. 87–91.
73. Кондрашихин В.Т. О погрешностях измерений/ Кондрашихин В.Т.

// Геодезия и картография. – 1977. – № 5. – С. 11-16.

74. Кондрашихин В.Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / Кондрашихин В.Т. // Судовождение и связь: Тр. ЦНИИМФ. – 1973. – Вып. 173. – С. 41-49.

75. Бурмака И.А. Теория и методы внешнего оптимального управления судов в ситуации опасного сближения: монография / И.А. Бурмака -Одесса: НУ «ОМА», 2019 -284 с.

76. Вильский Г.Б. Информационные риски судовождения / Г.Б Вильский // Наук. Вісник ХДМА — № 1(4) / Херсон: ХДМІ, 2012. — С.17-26.

77. Мойсеенко С. С. Анализ проблемы оценки рисков в промышленном рыболовстве / С. С. Мойсеенко, Л. Е. Мейлер, В.А.Бондарев [и д р.] // Материалы II Балтийского морского форума. —Светлогорск, 26 – 30 мая. —2014. —С. 76–83.

78. Топалов В.П. Риски в судоходстве/ В.П. Топалов, В.Г. Торский.- Одесса: Астропринт, 2007. -368 с.

79. Фаустова О.Г. Расчет прогностических оценок системы "природа - морское судно" и вероятностей отказов технических средств судна/ О.Г. Фаустова, С.С. Мойсеенко // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012: МатериалыМеждународнойнаучно-практической конференции.-Сборник научных трудов SWorld, 2012.-Вып. 3.-Одесса: Куприенко, 2012.–С. 43-48.

80. Леонтьев В.А. Формирование профессиональных навыков судоводителей [Текст] / В.А.Леонтьев.–М.: Транспорт, 1987. –224 с.: ил., табл. –Библиогр.:с. 221–222

81. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника (1983). — 263 с.

82. Kulbatsky A. Influence of sound refraction in Azov-Black sea region on the efficiency of searching objectives by the hydrolocators of a circular survey/ I.Gladkykh, B. Kapochkin, **A.Kulbatsky** – Science Rice № 2(43)2018

p.14-18.

83. Kulbatsky A. Dynamic models of ENC in the estuaries of rivers / I. Gladkykh, **A.Kulbatsky** – Сучасні технології в будівництві.-сб.наук.праць ОДАБА.-вип.1, Одеса, 2017, стор. 21-28.

84. Kulbatsky A. Estimation risk of Navigation / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №6 December 2020, p. 66-75.

85. Kulbatsky A. Remote simulator development for RIS (River Information Service) operators / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №15 February 2021,

86. Кульбацкий А. А. Особенности подготовки судоводителей для работы на морских и внутренних водных путях / **А. А. Кульбацкий** // Морська освіта, - Одеса №1-2, 2011, стор. 19-21.

87. А.А. Кульбацкий Оценка риска аварийных происшествий в стесненных условиях / И. И. Гладких, **А. А. Кульбацкий**, В. А. Дубовик //Матеріали науково-методичної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2019 – Одеса: НУ «ОМА»,

88. Кульбацкий А. А. Способ подавления помех РЛС от судовых конструкций в стесненных районах / **А. А. Кульбацкий**, В. А. Дубовик, И. А. Шевченко //Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (Морський та річковий транспорт): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», - 15-16 листопада 2018, Одеса. – С. 323-324.

89. Кульбацкий А. А. Обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях Украины и Европейского союза / И. И. Гладких, **А. А. Кульбацкий** // Матеріали науково-методичної конференції «Забезпечення безаварійного плавання суден», - 16-17 листопада 2011, Одеса.

90. Кульбацкий А. А. Обеспечение навигационной безопасности

судоходства на устьевых участках рек / **А. А. Кульбацкий**, // Научно-методична конференція. «Сучасні проблеми підвищення безпеки судноплавства», 19-21 листопада 2008 – Одеса : ОНМА, 2008.

91. Кульбацкий А. А. Оцінка точності при проведенні суден по українському участку р. Дунай / К. А. Горшков, **А. А. Кульбацкий** // Міжнародна науково-технічна конференція. «Сучасне судноплавство і морська освіта», 7-9 квітня 2004 – Одеса : ОНМА, 2004.

ДОДАТКИ

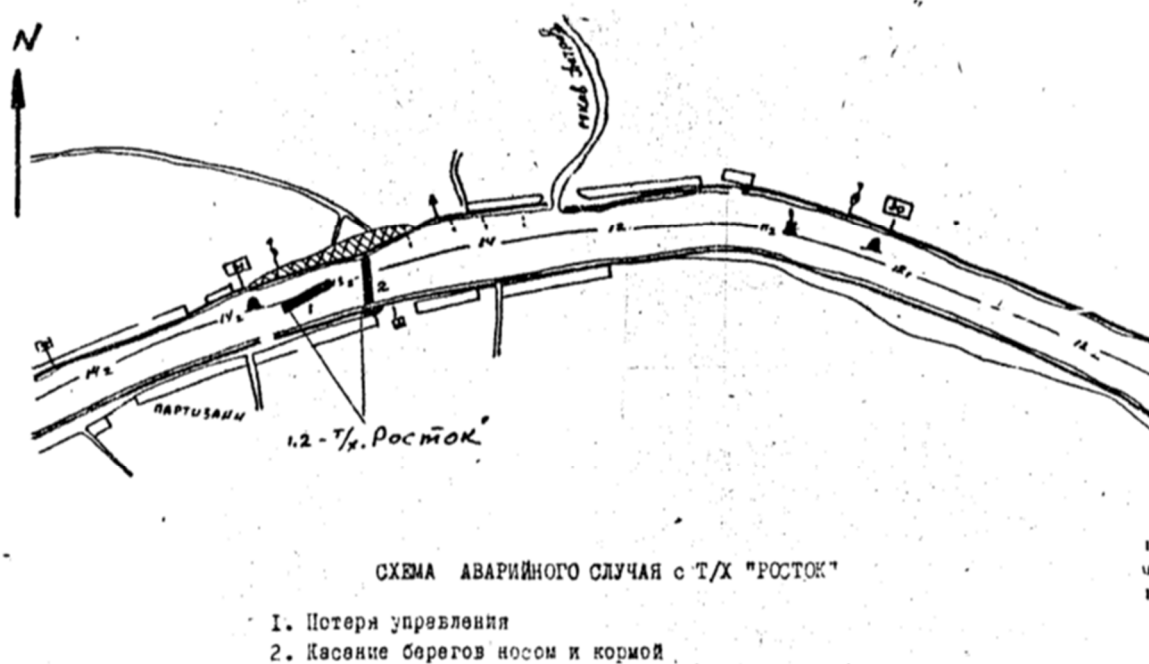


Рис. 1а Додаток А – схема місця аварії т/х «Росток», Сулинське гирло р. Дунай

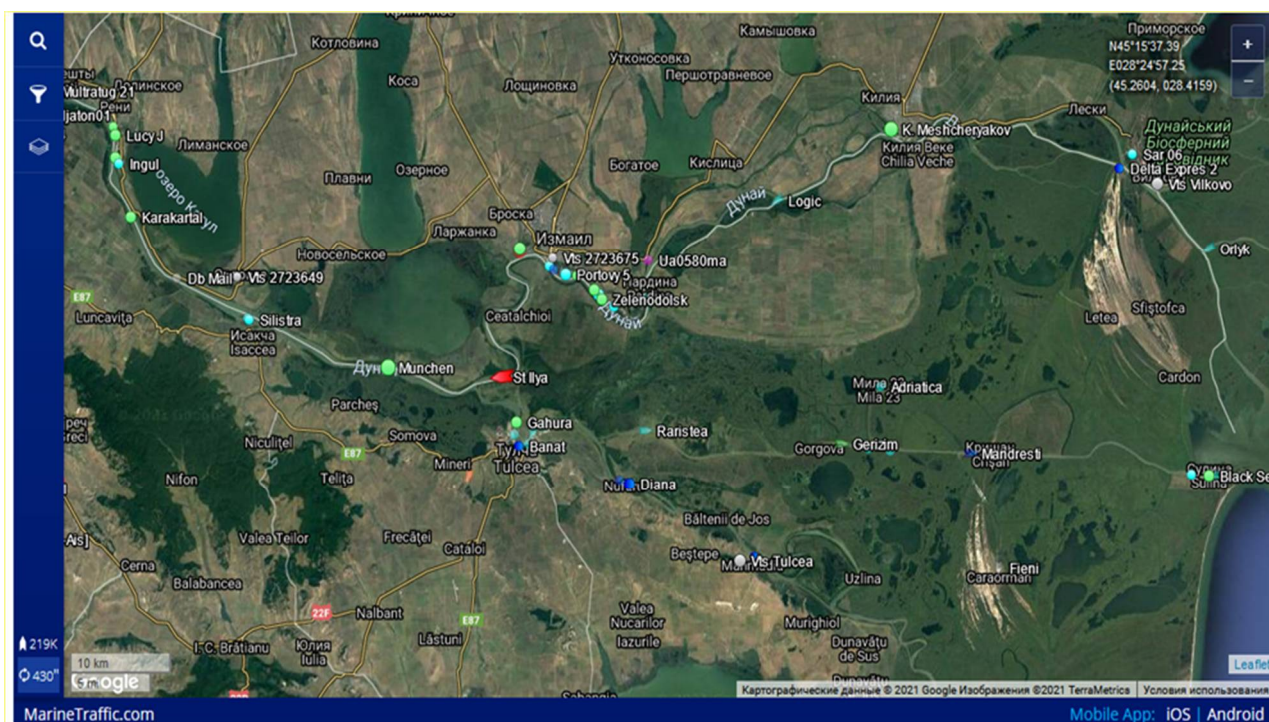


Рис. 1б Додаток А – Сулинське гирло р. Дунай

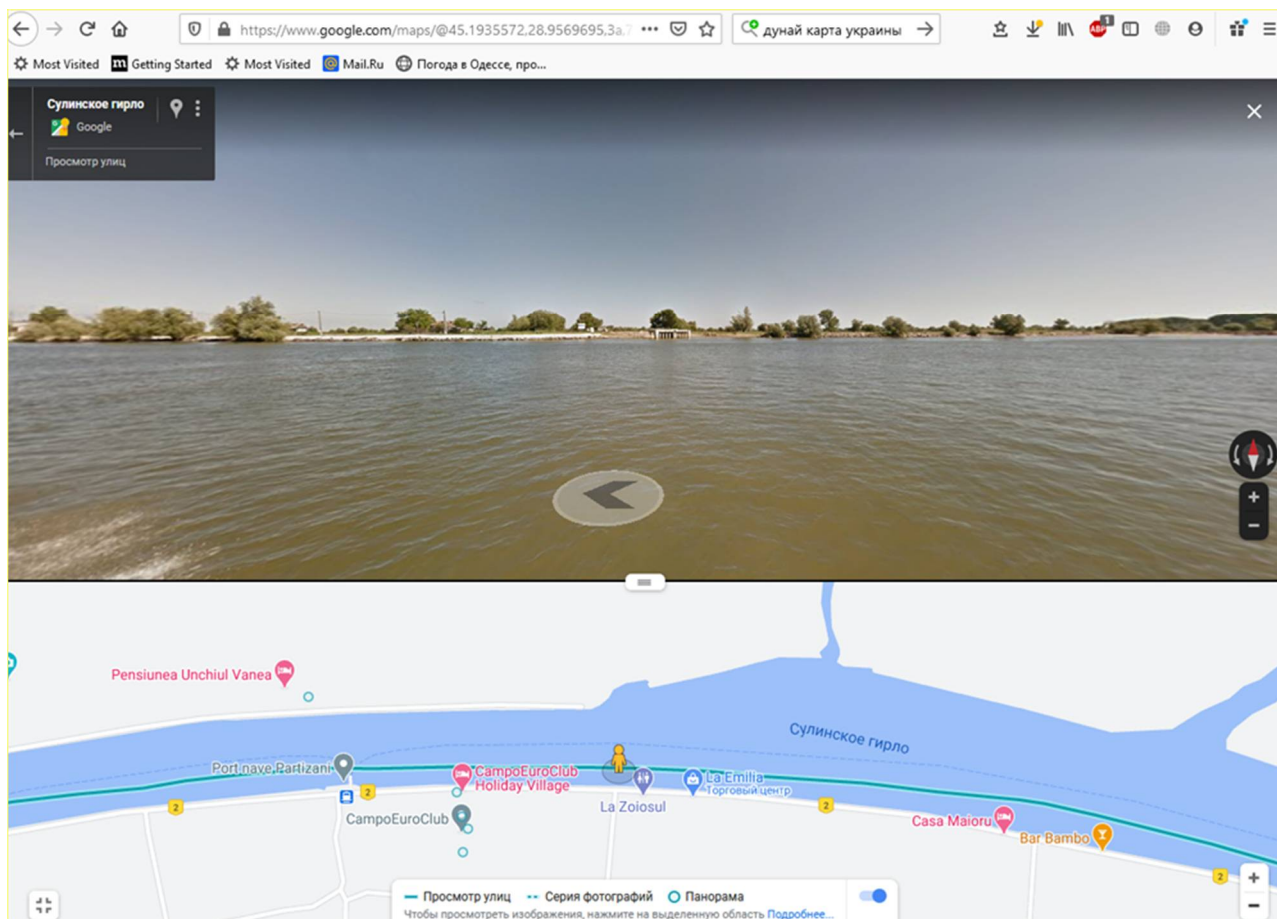


Рис. 1в Додаток А – Сулинське гирло р.Дунай

Рис.1а,б,в (Додаток А) – Схема аварії т/х Росток

Таблиця 1(Додаток А) Особливості судноводіння на ВВШ

Особливості судноводіння
Наявність гідротехнічних споруд та об'єктів, що обмежують габарити суднового ходу, як мости, траверси, дамби, шлюзи, лінії електропередачі, трубопроводи.
Умови ВВШ, які сприяють обмеженню габаритів суднового ходу, гідрологічні -коливання рівня води та течії, метеорологічні -видимість, вітер, морфологічні – перевали, перекати та інші, геологічні упродовж усього суднового ходу
Недостатня кількість вітчизняних контрольно-коригуючих станцій, що не завжди дозволяє визначати місцеположення судна на судновому ходу з необхідною точністю для безпечної провідки
Сигнали РЛС, GPS -d GPS, в окремих районах екрануються будівлями, гідротехнічними та іншими спорудами, у деяких районах сигнали

викривлюється місцевим рельєфом
Зображення на екрані РЛС залежить від вітра та коливань рівня води, інформація про які надаються водомірними постами.
Складність виконання коректури річкових навігаційних карт за інформацією від РІС та місцевих інформаційних структур. Наявність РІС, взаємодія з якою потребує відповідної спеціальної підготовки.
Застосовуються системи електронних карт Inland ECDIS. Експлуатація цих систем потребує підвищення спеціального рівня підготовки.
Складність розходження суден як візуально, так і за допомогою РЛС, в тому числі і в умовах обмеженої видимості. На морських суднах та змішаного плавання РЛС за своїми характеристиками поступаються річковим радарам.
Інтенсивність руху та перетин фарватеру маломірним та прогулянковими суднами

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

- 6.підвищення точності контролю навігаційного місцезнаходження суден;
- 7.підвищення точності контролю фактичного запасу глибин під кілем судна;
- 8.формалізація методів прогнозування подій та процесів руху суден;
11. вдосконалення керованості суден та їх управління;
12. попередження зіткнень суден;

Аналіз аварійності

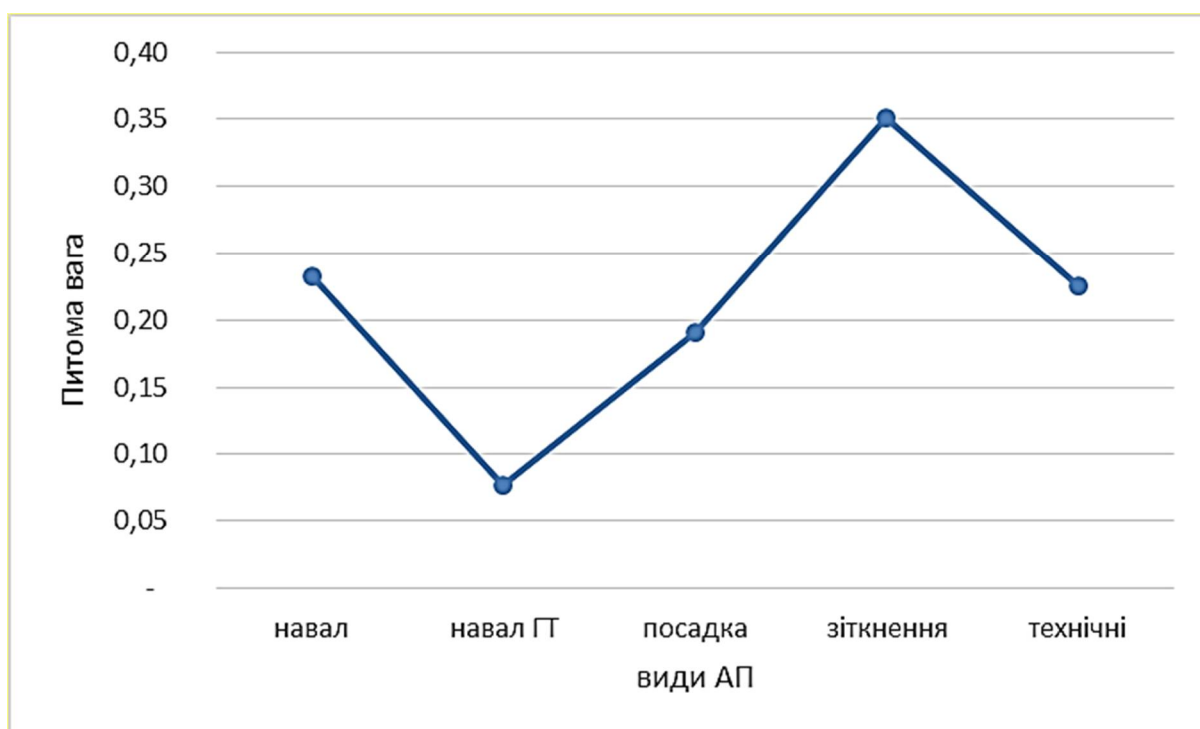


Рис. 2а Додаток А –р.Дунай



Рис. 2б Додаток А – Керч-Єнікальський канал



Рис. 2в Додаток А – Втрати світового флоту, види АП

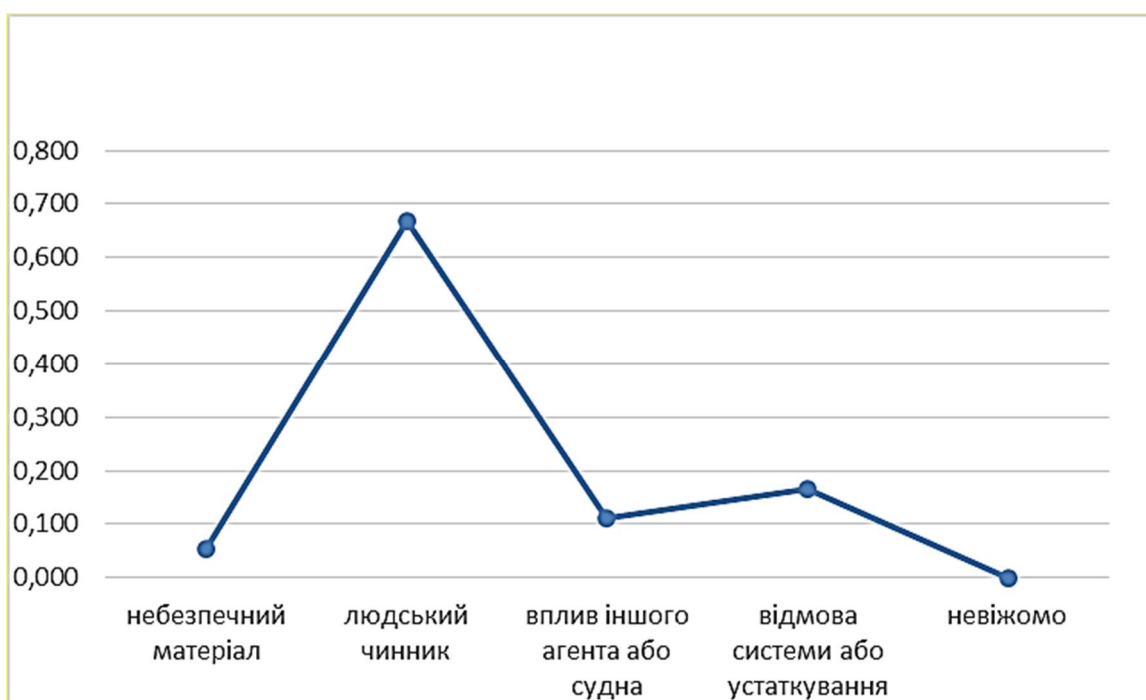


Рис. 2г Додаток А – Втрати світового флоту, види АП

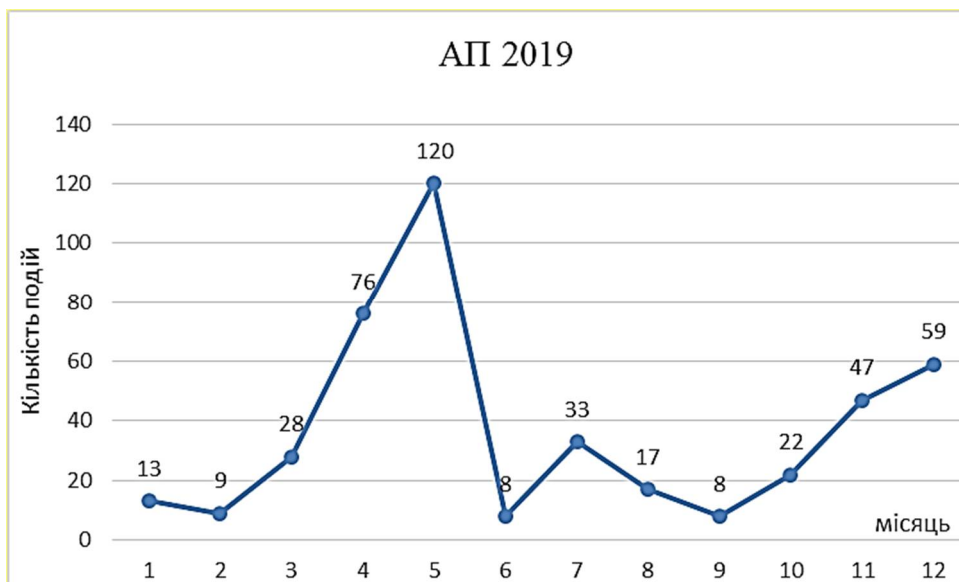


Рис. 2д Додаток А – Розподіл втрат флоту по місяцям за 2019 (МВ)
 М.Б., не враховує аварії на поромах або проблеми, які були виправлені екіпажем і не вимагали буксирування. За рибним господарством здійснюється моніторинг, але повідомляється лише про великі аварії.

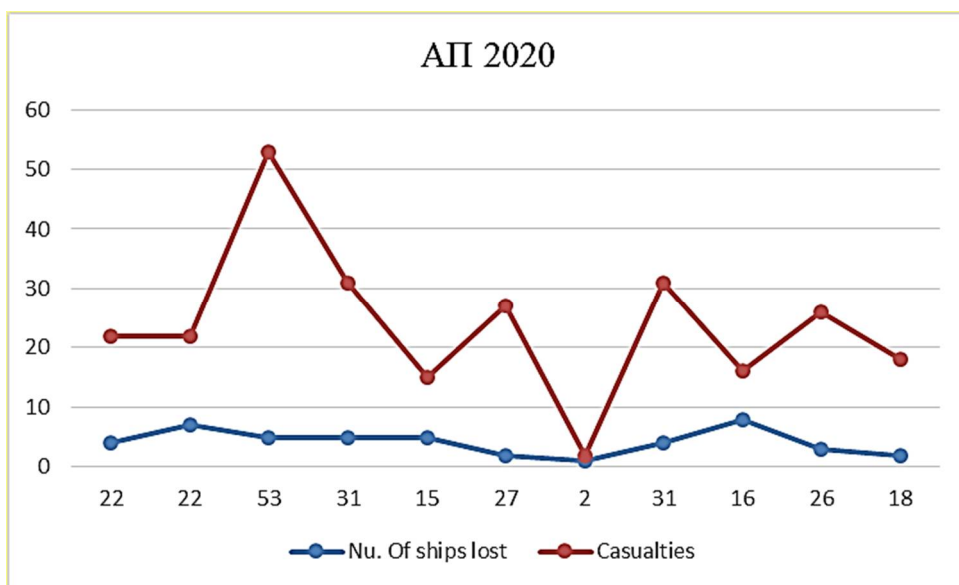


Рис. 2є - Розподіл втрат флоту по місяцям за 2019 (МВ)

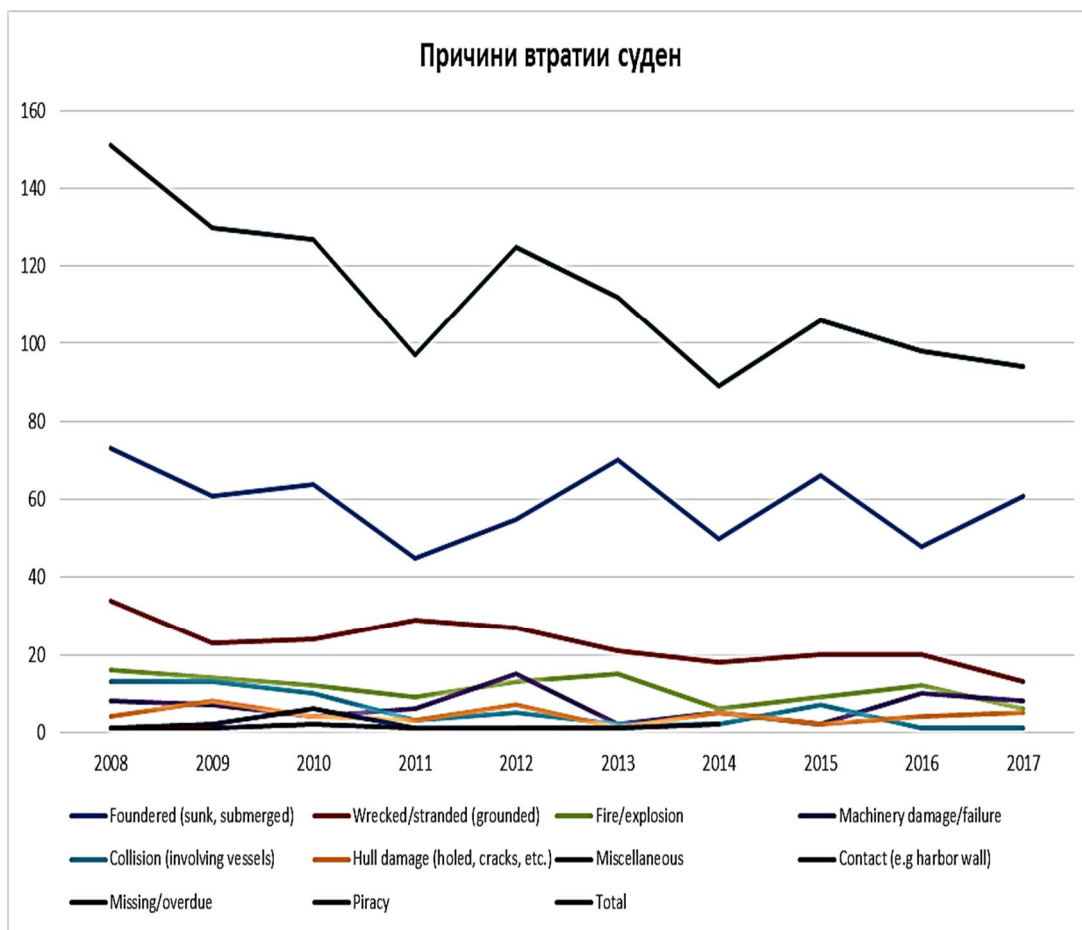


Рис. 2ж Додаток А – Розподіл втрат флоту за чинниками за 2008-2019 (МВ)



Рис. 2ж - Розподіл втрат флоту за чинниками за 2008-2019 (МВ)

Таблиця 1 Додаток А Оцінка безпеки руху судна на ділянці водного шляху з урахуванням похибки навігаційної інформації

		видимість		Pi	Інформ.	
		нормальна	обмежена			Доба
		1,00	1,00	1,00	1,00	3
		1,00	0,50	0,02	0,50	2
		1,00	0,00	0,00	0,00	1
m	m	1	2	3	4	
	Стратегія	B1	B2	B3	B4	min
1	S1	6,2	6,2	0,1	3,1	0,1
2	S2	6,5	3,3	0,1	3,3	0,1
3	S3	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
4	S4	9,1	4,6	0,2	4,6	0,2
5	S5	9,7	9,7	9,7	0,0	0,0
6	S6	9,5	9,5	9,5	0,0	0,0
	max	9,7	9,7	9,7	9,1	

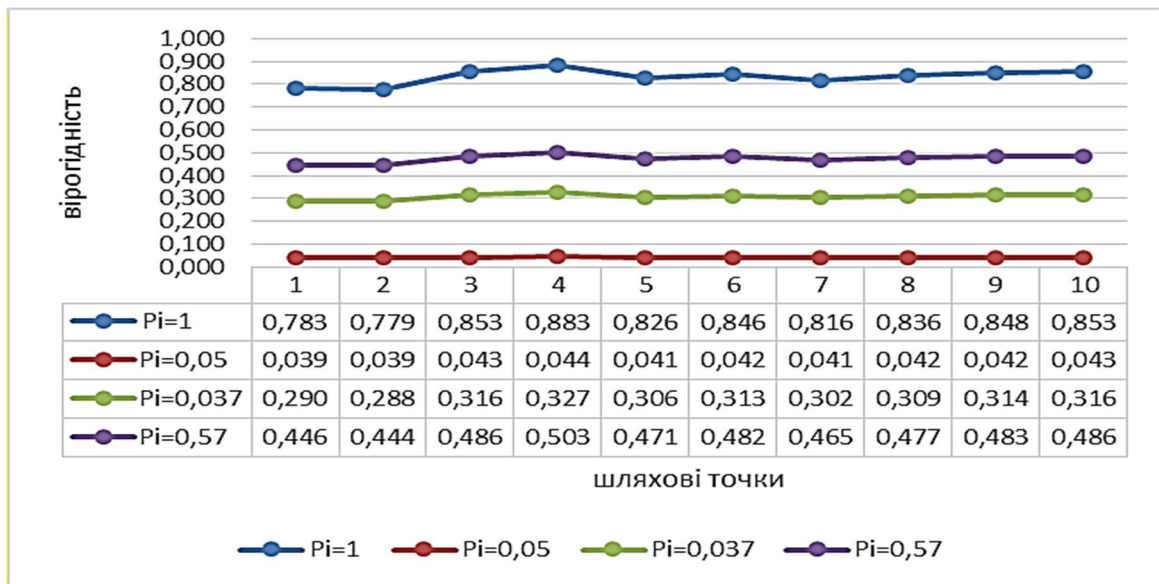


Рис. 3 Додаток А – Значення оцінки вірогідності повноти інформаційного повідомлення стосовно зміни габаритів суднового ходу

Список публікацій здобувача, відомості про апробацію
і матеріали, які додатково відображають наукові результати
дисертації

Основні наукові результати дисертації.

1. Kulbatsky A. Influence of sound refraction in Azov-Black sea region on the efficiency of searching objectives by the hydrolocators of a circular survey/ I.Gladkykh, B. Kapochkin, **A.Kulbatsky** – Science Rice № 2(43)2018 p.14-18.
2. Kulbatsky A. Dynamic models of ENC in the estuaries of rivers / I. Gladkykh, **A.Kulbatsky** – Сучасні технології в будівництві.-сб.наук.праць ОДАБА.-вип.1, Одеса, 2017, стор. 21-28.
3. Kulbatsky A. Estimation risk of Navigation / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №6 December 2020, p. 21-28.
4. Kulbatsky A. Remote simulator development for RIS (River Information Service) operators / **A.Kulbatsky** //«Modern engineering and innovative technologies» №15 February 2021,
5. Кульбацкий А. А. Особенности подготовки судоводителей для работы на морских и внутренних водных путях / **А. А. Кульбацкий** // Морська освіта, - Одеса №1-2, 2011, стор. 19-21.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

6. А.А. Кульбацкий Оценка риска аварийных происшествий в стесненных условиях / И. И. Гладких, А. А. Кульбацкий, В. А. Дубовик //Матеріали науково-методичної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15-16 листопада 2019 – Одеса: НУ «ОМА»,
7. Кульбацкий А. А. Способ подавления помех РЛС от судовых конструкций в стесненных районах / А. А. Кульбацкий, В. А. Дубовик, И. А.

Шевченко //Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (Морський та річковий транспорт): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», - 15-16 листопада 2018, Одеса. – С. 323-324.

8. Кульбацкий А. А. Обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях Украины и Европейского союза / И. И. Гладких, А. А. Кульбацкий // Матеріали науково-методичної конференції «Забезпечення безаварійного плавання суден», - 16-17 листопада 2011, Одеса.

9. Кульбацкий А. А. Обеспечение навигационной безопасности судоходства на устьевых участках рек / А. А. Кульбацкий, // Науково-методична конференція. «Сучасні проблеми підвищення безпеки судноплавства», 19-21 листопада 2008 – Одеса : ОНМА, 2008.

10. Кульбацкий А. А. Оцінка точності при проведенні суден по українському участку р. Дунай / К. А. Горшков, А. А. Кульбацкий // Міжнародна науково-технічна конференція. «Сучасне судноплавство і морська освіта», 7-9 квітня 2004 – Одеса : ОНМА, 2004.

Лістинг програм для розрахунку значень оцінки безпеки проводки суден на водних шляхах з урахуванням інформаційних технологій

```
package calc.api;
```

```
@FieldDefaults(level = AccessLevel.PRIVATE, makeFinal = true)
public class FunctionExecutor {

    static double PI = 3.14;
    static String LOG_DELIMITER1 = String.join("",
Collections.nCopies(250, "="));
    static String LOG_DELIMITER2 = String.join("",
Collections.nCopies(250, "-"));
    static LaplaceDistribution LAPLACE = new LaplaceDistribution(0.,
0.8);
    static ObjectMapper OBJECT_MAPPER = createObjectMapper();
    static LogsWriter LOG_WRITER = new LogsWriter();

    Input input;

    PQ pq;
    double dTp;
    double bC;
    double h;

    public FunctionExecutor(Input input) {
        this.input = input;

        this.dTp = input.getSulinaV() / 2;
        this.bC = input.getRostockB();
        this.h = input.getSulinaT();

        this.pq = new PQ(
            input.getP1(),
            input.getP3(),
            input.getP4(),
            input.getP5(),
            input.getP6(),
```

```

        input.getP7(),
        input.getP8(),
        input.getP9()
    );
}

public Result exec() {
    logInputValues();

    List<Table1> resultTable1 = new LinkedList<>();
    List<Table2> resultTable2 = new LinkedList<>();
    Strategy strategy1 =
Strategy.builder().name(S1.name()).build();
    Strategy strategy2 =
Strategy.builder().name(S2.name()).build();
    Strategy strategy3 =
Strategy.builder().name(S3.name()).build();
    Strategy strategy4 =
Strategy.builder().name(S4.name()).build();
    Strategy strategy5 =
Strategy.builder().name(S5.name()).build();
    Strategy strategy6 =
Strategy.builder().name(S6.name()).build();

    for (int i = input.getK(); i >= 1; i--) {
        LOG_WRITER.write(String.format("i = %d", i));

        final double dop = i * input.getRostockL();
        final double oDiv2 = Math.atan(input.getBBui() / (dop *
2));

        final double dlb = dop / Math.cos(oDiv2);
        final double dpb = (input.getBBui() / 2) /
Math.sin(oDiv2);
        final double alpha = 0.00176 * Math.pow(oDiv2, 2) + 0.008
* oDiv2 + 2.21372;
        final double bOcm = dop * (Math.tan(alpha * PI/180));
        final double bM = 0.035 * (input.getVC() * input.getT() +
input.getRostockL()) + 0.57 * bC + 0.197 *
(Math.pow(input.getRostockL(), 2) / input.getR()); // BM =0,035(Vc*t
+Lc)+057*Bc +0,197*(Lc*Lc /R )
        final double deltaBmRls = 0.0349 * input.getBBui() /
Math.sin(oDiv2 * 2);
        final double deltaBmGps = 0.5 * bC + 30;
    }
}

```

```

final double deltaBmDGps = 0.5 * bC;
final double bPa_1 = bC + bM + bOcm;
final double bpRls_1 = bC + bM + deltaBmRls;
final double bpGps_1 = bC + bM + deltaBmGps;
final double bpDGps_1 = bC + bM + deltaBmDGps;
final double threeBc_1 = 3 * bC;

LOG_WRITER.write(toMap(new Object[][] {
    { "dop", dop },
    { "oDiv2", oDiv2 },
    { "dlb", dlb },
    { "dpb", dpb },
    { "alpha", alpha },
    { "bOcm", bOcm },
    { "bPa_1", bPa_1 },
    { "bM", bM },
    { "deltaBmRls", deltaBmRls },
    { "deltaBmGps", deltaBmGps },
    { "deltaBmDGps", deltaBmDGps }
}));

final double p1 = input.getIK() + input.getKY();
final double p2 = input.getIK() - input.getKY();
final double d1 = dlb / 1852;

//

final double d2 = dpb / 1852;

//

final double q = round(0, oDiv2 * 2 * 57.3);
//  $\theta = (\Theta/2) * 2 * 57,3$ 
final double twoD = dTp / (Math.sqrt(2 * 0.05 * (2 /
Math.sin(q * PI / 180))) * 185 + bC + bM);
final double twoB = dTp / ((0.020942408 *
Math.sqrt(Math.pow(d1, 2) + Math.pow(d2, 2)) / Math.sin(q * PI / 180))
* 185); //
2B=Dtp/((0,020942408*КОРЕНЬ(Д1^2+Д2^2)/SIN(θ*ΠИ()/180))*185)
final double d1B1 = dTp / ((2 *
Math.sqrt(Math.pow((0.010471204 * d1), 2) + 0.25)) * 185);
final double d2B2 = dTp / ((2 *
Math.sqrt(Math.pow((0.010471204 * d2), 2) + 0.25)) * 185);
final double bPa_2 = dTp / (bPa_1 / 2);

//

final double bpRls_2 = dTp / (bpRls_1 / 2);

//

```

```

        final double bpGps_2 = round(0, bPa_1) / (round(0,
bpGps_1) / 2);
        final double bpDGps_2 = round(0, bPa_1) / (round(0,
bpDGps_1) / 2);
        final double threeBc_2 = dTp / (threeBc_1 / 2);
//
        final double hDivT = h / input.getRostockT();
        final double d0 = 0;
        final double bTwoD = Math.sqrt(2 * 0.05 * (2 / Math.sin(q
* PI / 180))) * 93 + bC + bM;
        final double bTwoB = ((0.020942408 *
Math.sqrt(Math.pow(d1, 2) + Math.pow(d2, 2)) / Math.sin(q * PI /
180))) * 93 + bC + bM;
//

LOG_WRITER.write(toMap(new Object[][] {
    { "d1", d1 },
    { "d2", d2 },
    { "q", q },
    { "twoD", twoD },
    { "twoB", twoB },
    { "d1B1", d1B1 },
    { "d2B2", d2B2 },
    { "bPa_2", bPa_2 },
    { "bpRls_2", bpRls_2 },
    { "bpGps_2", bpGps_2 },
    { "bpDGps_2", bpDGps_2 },
    { "hDivT", hDivT }
}));

final Table1 table1 = Table1.builder()
    .index(i)
    .dop(toBigDecimal(dop))
    .bTwoD(toBigDecimal(bTwoD))
    .bTwoB(toBigDecimal(bTwoB))
    .bPa(toBigDecimal(bPa_1))
    .bpRls(toBigDecimal(bpRls_1))
    .bpGps(toBigDecimal(bpGps_1))
    .bpDGps(toBigDecimal(bpDGps_1))
    .threeBc(toBigDecimal(threeBc_1))
    .build();
LOG_WRITER.write(table1);
resultTable1.add(table1);

```

```

final double FtwoD = getLaplaceDistribution(twoD);
final double FtwoB = getLaplaceDistribution(twoB);
final double Fd1B1 = getLaplaceDistribution(d1B1);
final double Fd2B2 = getLaplaceDistribution(d2B2);
final double Fd0 = getLaplaceDistribution(d0);
final double FbPa_2 = getLaplaceDistribution(bPa_2);
final double FbpRls_2 = getLaplaceDistribution(bpRls_2);
final double FbpGps_2 = getLaplaceDistribution(bpGps_2);
final double FbpDGps_2 = getLaplaceDistribution(bpDGps_2);
final double FhDivT = getLaplaceDistribution(hDivT);
final double FbOcm = getLaplaceDistribution(bOcm);

final Table2 table2 = Table2.builder()
    .index(i)
    .dop(toBigDecimal(dop))
    .FtwoB(toBigDecimal(FtwoB))
    .FbPa(toBigDecimal(FbPa_2))
    .FbpRls(toBigDecimal(FbpRls_2))
    .FbpGps(toBigDecimal(FbpGps_2))
    .FbpDGps(toBigDecimal(FbpDGps_2))
    .FtwoD(toBigDecimal(FtwoD))
    .build();

resultTable2.add(table2);

final StrategyData s1Data = buildStrategyData(i, dop,
threeBc_1, bTwoD, FtwoD, FhDivT);
final StrategyData s2Data = buildStrategyData(i, dop,
threeBc_1, bTwoB, FtwoB, FhDivT);
final StrategyData s3Data = buildStrategyData(i, dop,
threeBc_1, bPa_1, FbPa_2, FhDivT);
final StrategyData s4Data = buildStrategyData(i, dop,
threeBc_1, bpRls_1, FbpRls_2, FhDivT);
final StrategyData s5Data = buildStrategyData(i, dop,
threeBc_1, bpGps_1, FbpGps_2, FhDivT);
final StrategyData s6Data = buildStrategyData(i, dop,
threeBc_1, bpDGps_1, FbpDGps_2, FhDivT);

strategy1.addData(s1Data);
strategy2.addData(s2Data);
strategy3.addData(s3Data);
strategy4.addData(s4Data);

```

```

strategy5.addData(s5Data);
strategy6.addData(s6Data);

        final double s1 = s(FtwoD);      // S1(K) по формуле выше
при P2D(K)=  $\Phi(yR1)2D_{\text{инстр}}(K)$ 
        final double s2 = s(Fd1B1);      // S2(K) по формуле выше
при P2D(K)=  $\Phi(yR3)BD(K)$ 
        final double s3 = s(FbPa_2);     // S3(K) по формуле выше
при P2D(K)=  $\Phi(yR6)B_{\Pi}(K)$ 
        final double s4 = s(FbpRls_2);   // S4(K) по формуле выше
при P2D(K)=  $\Phi(yR7)(\text{рлс})(K)$ 
        final double s5 = s(FbpGps_2);   // S5(K) по формуле выше
при P2D(K)=  $\Phi(yR8)(\text{GPS})(K)$ 
        final double s6 = s(FbpDGps_2);  // S6(K) по формуле выше
при P2D(K)=  $B(D\text{-GPS})(K)$ 

        { "s1", s1 },
        { "s2", s2 },
        { "s3", s3 },
        { "s4", s4 },
        { "s5", s5 },
        { "s6", s6 },
    }));

        final List<Double> bS1 = list(s1, input.getKv0() * s1,
input.getKv2() * s1, input.getKv1() * s1);
        final List<Double> bS2 = list(s2, input.getKv0() * s2,
input.getKv2() * s2, input.getKv1() * s2);
        final List<Double> bS3 = list(s3, input.getKv0() * s3, s3,
s3);
        final List<Double> bS4 = list(s4, input.getKv0() * s4,
input.getKv2() * s4, input.getKv1() * s4);
        final List<Double> bS5 = list(s5, input.getKv0() * s5, s5,
input.getKv1() * s5);
        final List<Double> bS6 = list(s6, input.getKv0() * s6, s6,
input.getKv3() * s6);

        final List<List<Double>> bsList = list(bS1, bS2, bS3, bS4,
bS5, bS6);

        final List<Double> b1S = transform(0, bsList);
        final List<Double> b2S = transform(1, bsList);

```

```

final List<Double> b3S = transform(2, bsList);
final List<Double> b4S = transform(3, bsList);

// Критерій Лапласа
final List<Double> laplList = map(bsList, this::lapl);
final double kOptLapl = Collections.max(laplList);
final int laplStrategy = laplList.indexOf(kOptLapl) + 1;
LOG_WRITER.write(toMapObj(new Object[][]{
    { "laplList", laplList },
    { "kOptLapl", kOptLapl },
    { "laplStrategy", laplStrategy }
})));

// Критерій Вальда
final List<Double> valdList = map(bsList,
Collections::min);
final double kOptVald = Collections.max(valdList);
final int valdStrategy = valdList.indexOf(kOptVald) + 1;
LOG_WRITER.write(toMapObj(new Object[][]{
    { "valdList", valdList },
    { "kOptVald", kOptVald },
    { "valdStrategy", valdStrategy }
})));

// Критерій Гурвіца2
final List<Double> gurv2List = map(bsList, this::gurv2);
final double kOptGurv2 = Collections.max(gurv2List);
final int gurv2Strategy = gurv2List.indexOf(kOptGurv2) +
1;

LOG_WRITER.write(toMapObj(new Object[][]{
    { "gurv2List", valdList },
    { "kOptGurv2", kOptVald },
    { "gurv2Strategy", gurv2Strategy }
})));

// Критерій Гурвіца1
final List<Double> gurv1List = map(bsList, this::gurv1);
final double kOptGurv1 = Collections.max(gurv1List);
final int gurv1Strategy = gurv1List.indexOf(kOptGurv1) +
1;

LOG_WRITER.write(toMapObj(new Object[][]{
    { "gurv1List", gurv1List },

```

```

        { "kOptGurv1", kOptGurv1 },
        { "gurv1Strategy", gurv1Strategy }
    }));

    // Критерій Севіджа.
    final List<List<Double>> listBS = list(b1S, b2S, b3S,
b4S);

    s1Data.setSavigeList(savigaS(listBS, bS1));
    s2Data.setSavigeList(savigaS(listBS, bS2));
    s3Data.setSavigeList(savigaS(listBS, bS3));
    s4Data.setSavigeList(savigaS(listBS, bS4));
    s5Data.setSavigeList(savigaS(listBS, bS5));
    s6Data.setSavigeList(savigaS(listBS, bS6));

    final List<Double> savidgaList = List.of(
        s1Data.getSavigeMax().doubleValue(),
        s2Data.getSavigeMax().doubleValue(),
        s3Data.getSavigeMax().doubleValue(),
        s4Data.getSavigeMax().doubleValue(),
        s5Data.getSavigeMax().doubleValue(),
        s6Data.getSavigeMax().doubleValue());
    final double kOptSaviga = Collections.min(savidgaList);
    final int savigaStrategy = savidgaList.indexOf(kOptSaviga)
+ 1;

    }

    List<Strategy> strategies = List.of(strategy1, strategy2,
strategy3, strategy4, strategy5, strategy6).stream()
        .map(this::setMaxSavigeValue)
        .collect(Collectors.toList());

    final List<BigDecimal> scoreValues = strategies.stream()
        .map(Strategy::getScoreValue)
        .sorted()
        .collect(Collectors.toList());

    strategies.forEach(strategy ->
strategy.setScorePosition(scoreValues.indexOf(strategy.getScoreValue()
) + 1));

    return Result.builder()
        .bList(resultTable1)

```



```

        .fBList(resultTable2)
        .strategies(strategies)
        .build();
    }

    private Strategy setMaxSavigeValue(Strategy strategy) {
        final BigDecimal savigeMaxValue = strategy.getData().stream()
            .max(Comparator.comparing(StrategyData::getSavigeMax))
            .get()
            .getSavigeMax();
        strategy.setScoreValue(savigeMaxValue);
        return strategy;
    }

    private StrategyData buildStrategyData(int i, double dop, double
threeBc, double Bp, double fBp, double fHDivT) {
        return StrategyData.builder()
            .index(i)
            .dop(toBigDecimal(dop))
            .sulinaV(toBigDecimal(input.getSulinaV()))
            .threeBc(toBigDecimal(threeBc))
            .Bp(toBigDecimal(Bp))
            .fBp(toBigDecimal(fBp))
            .pi1(toBigDecimal(fBp * fHDivT * input.getPiDay1()))
            .pi2(toBigDecimal(fBp * fHDivT * input.getPiDay2()))
            .pi3(toBigDecimal(fBp * fHDivT * input.getPiDay3()))
            .build();
    }

    private static <T> LinkedList<T> list(T... obj) {
        return new LinkedList<T>(Arrays.asList(obj));
    }

    private double round(int i, double value) {
        return new BigDecimal(value).setScale(i,
RoundingMode.HALF_UP).doubleValue();
    }

    private List<Double> savigaS(List<List<Double>> bSList,
List<Double> sb) {
        AtomicInteger index = new AtomicInteger(0);
        return bSList.stream()

```

```

        .map(bs -> Collections.max(bs) -
sb.get(index.getAndIncrement()))
        .collect(Collectors.toList());
    }

    private List<Double> map(List<List<Double>> list, Function<? super
List<Double>, ? extends Double> mapper) {
        return list.stream()
            .map(mapper)
            .collect(Collectors.toList());
    }

    private double sum(List<Double> list) {
        return list.stream()
            .mapToDouble(value -> value)
            .sum();
    }

    private double lapl(List<Double> sb) {

        return (1 / input.getN_lapl()) * sum(sb);
    }

    private double gurv2(List<Double> sb) {

        return input.getAlpha_g2() * Collections.max(sb) + (1 -
input.getAlpha_g2()) * Collections.min(sb);
    }

    private double gurv1(List<Double> sb) {
        // Kguv1= Alpha_g1*max(B1,B2,B3,B4)+
Alpha_g1*min(B1,B2,B3,B4)
        return input.getAlpha_g1() * Collections.max(sb) + (1 -
input.getAlpha_g1()) * Collections.min(sb);
    }

    private List<Double> transform(Integer index, List<List<Double>>
lists) {
        return lists.stream()
            .map(list -> list.get(index))
            .collect(Collectors.toList());
    }

```

```

private double s(double p2dK) {
    double X77 = p2dK * input.getE();
    double AA77 = (1 - p2dK) * input.getKPos();
    double AC76 = input.getTyPos();
    double AD77 = (1 - p2dK) * input.getKNab();
    double AF76 = 1; // ТУНАВ
    double AG77 = (1 - p2dK) * input.getKSt();
    double AI76 = 1;
    double AJ77 = (1 - p2dK) * input.getKLed() * 1;

    return X77 + AA77 * AC76 + AD77 * AF76 + AG77 * AI76 + AJ77 *
AI76;

}

private double getLaplaceDistribution(double value) {

    if (value <= 1) {
        return (f(1) - f(0)) * 1 * value + f(0);
    } else if (value <= 2) {
        return (f(2) - f(1)) * 1 * (value - 1) + f(1);
    } else if (value <= 2.5) {
        return (f(2.5) - f(2)) / 0.5 * (value - 2) + f(2);
    } else if (value <= 3) {
        return (f(3) - f(2.5)) / 0.5 * (value - 2.5) + f(2.5);
    } else if (value <= 3.5) {
        return (f(3.5) - f(3)) / 0.5 * (value - 3) + f(3);
    } else if (value <= 4) {
        return (f(4) - f(3.5)) / 0.5 * (value - 3.5) + f(3.5);
    } else if (value <= 4.5) {
        return (f(4.5) - f(4)) / 0.5 * (value - 4) + f(4);
    } else if (value <= 5) {
        return (f(5) - f(4.5)) / 0.5 * (value - 4.5) + f(4.5);
    } else {
        return 0.99999;
    }
}

private double f(double value) {
    return LAPLACE.cumulativeProbability(value);
}

```

```

private double getPhk(double Fb) {
    final double P2 = Fb;
    final double Q2 = 1 -Fb;

    // PH = (Q9)+P9(Q4)+P4(Q7)P9+ P4P7(Q8)P9 + P4(Q6)P7 P8 P9 +
    P4(Q2)P6P7P8P9 +P2(Q3)P4P6P7P8P9+P2(Q5)P3P4P6P7P8P9+(Q1)P2P3P4P6P7P8P9
    return pq.getQ9()
        + input.getP9() * pq.getQ4()
        + input.getP4() * pq.getQ7() * input.getP9()
        + input.getP4() * input.getP7() * pq.getQ8() *
input.getP9()
        + input.getP4() * pq.getQ6() * input.getP7() *
input.getP8() * input.getP9()
        + input.getP4() * Q2 * input.getP6() * input.getP7() *
input.getP8() * input.getP9()
        + P2 * pq.getQ3() * input.getP4() + input.getP6() *
input.getP7() * input.getP8() * input.getP9()
        + P2 * pq.getQ5() * input.getP3() * input.getP4() +
input.getP6() * input.getP7() * input.getP8() * input.getP9()
        + pq.getQ1() * P2 * input.getP3() * input.getP4() +
input.getP6() * input.getP7() * input.getP8() * input.getP9()

    public static BigDecimal toBigDecimal(double value) {
        return toBigDecimal(2, value);
    }

    private static BigDecimal toBigDecimal(int round, double value) {
        return new BigDecimal(value).setScale(round,
RoundingMode.HALF_UP);
    }
}

```

```

import React from "react";
import {Chart, LineAdvance, Axis, Coord} from 'bizcharts';
import {Legend} from "../Legend";
import styled from "styled-components";

const Container = styled.div`
    display: flex;
    flex-direction: column;

```

```

    justify-content: center;
    align-items: center;
    width: 100%;
    box-sizing: border-box;
`;

const LegendWrapper = styled.div`
    display: flex;
    justify-content: center;
    align-items: center;
    width: 100%;
    box-sizing: border-box;
`;

export const ChartComponent = ({data, blist = false, fblist = false})
=> {
    if (blist)
        return (
            <Container>
                <Chart
                    padding={[30, 70, 30, 70]}
                    autoFit
                    height={400}
                    data={data}
                    scale={{
                        dop: {min: 0, type: 'linear-strict'},
                        btwoD: {min: 16, max: 200, type: 'linear-
strict'},
                        btwoB: {min: 16, max: 200, type: 'linear-
strict'},
                        bpRls: {min: 16, max: 200, type: 'linear-
strict'},
                        threeBc: {min: 16, max: 200, type: 'linear-
strict'},
                        bpa: {min: 16, max: 200, type: 'linear-
strict'},
                        bpDGps: {min: 16, max: 200, type: 'linear-
strict'},
                    }}
                >
                    <Coord reflect='x' />

                    <Axis name='dop' />

```

```

        <Axis name='btwoD' title={false} grid={true}
position={"right"} visible/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*btwoD' color='red' />

        <Axis name='btwoB' title={false} grid={true}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*btwoB' color='green' />

        <Axis name='bpRls' title={false} grid={true}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*bpRls' color='blue' />

        <Axis name='threeBc' title={false} grid={true}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*threeBc' color='orangered' />

        <Axis name='bpa' title={false} grid={true}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*bpa' color='black' />

        <Axis name='bpDGps' title={false} grid={true}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*bpDGps' color='orange' />
    </Chart>
    <LegendWrapper>
        <Legend name={'Bp Gps'} color={'magenta'} />
        <Legend name={'Bp D-Gps'} color={'orange'} />
        <Legend name={'Bp a'} color={'black'} />
        <Legend name={'3 Bc'} color={'orangered'} />
        <Legend name={'Bp Rls'} color={'blue'} />
        <Legend name={'2B'} color={'green'} />
        <Legend name={'2D'} color={'red'} />
    </LegendWrapper>
</Container>
);

```

```

    if (fblist)
      return (
        <Container>
          <Chart
            padding={[30, 70, 30, 70]}
            autoFit
            height={400}
            data={data}
            scale={{
              dop: {min: 0, type: 'linear-strict'},
              ftwoD: {min: 0.5, max: 1.1, type: 'linear-
strict'},
              ftwoB: {min: 0.5, max: 1.1, type: 'linear-
strict'},
              fbPa: {min: 0.5, max: 1.1, type: 'linear-
strict'},
              fbpRls: {min: 0.5, max: 1.1, type: 'linear-
strict'},
              fbpGps: {min: 0.5, max: 1.1, type: 'linear-
strict'},
              fbpDGps: {min: 0.5, max: 1.1, type: 'linear-
strict'},
            }}
          >
            <Coord reflect='x' />

            <Axis name='dop' />

            <Axis name='ftwoD' title={false} grid={false}
visible={false} />
            <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*ftwoD' color='red' />

            <Axis name='ftwoB' title={false} grid={false}
visible={false} />
            <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*ftwoB' color='green' />

            <Axis name='fbPa' title={false} grid={false}
visible={false} />
            <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*fbPa' color='blue' />

```

```

        <Axis name='fbpRls' title={false} grid={false}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*fbpRls' color='magenta' />

        <Axis name='fbpGps' title={false} grid={false}
visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*fbpGps' color='orange' />

        <Axis name='fbpDGps' title={false}
position={"right"} />
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*fbpDGps' color='orangered' />
    </Chart>

    <LegendWrapper>
        <Legend name={'P Rls'} color={'magenta'} />
        <Legend name={'P Gps'} color={'orange'} />
        <Legend name={'P D-Gps'} color={'orangered'} />
        <Legend name={'P a'} color={'blue'} />
        <Legend name={'P 2B'} color={'green'} />
        <Legend name={'P 2D'} color={'red'} />
    </LegendWrapper>
</Container>

);

let minY=-100;
let maxY=100;
return (
    <Container>
        <Chart
            padding={[10, 70, 30, 70]}
            autoFit
            height={350}
            data={
                data.map(c => ({
                    ...c,
                    farvL: -c.sulinaV / 2,
                    farvR: c.sulinaV / 2,
                    bpL: -c.bp / 2,
                    bpR: c.bp / 2,
                    threeBcL: -c.threeBc,

```



```

        threeBcR: c.threeBc
    )))
}
scale={{
    dop: {min: 0, type: 'linear-strict'},
    farvL: {min:-data[0].sulinaV/2, max:
data[0].sulinaV/2, type: 'linear-strict'},
    farvR: {min:-data[0].sulinaV/2, max:
data[0].sulinaV/2, type: 'linear-strict'},
    threeBcL: {min:-data[0].sulinaV/2, max:
data[0].sulinaV/2, type: 'linear-strict'},
    threeBcR: {min:-data[0].sulinaV/2, max:
data[0].sulinaV/2, type: 'linear-strict'},
    bpL: {min:-data[0].sulinaV/2, max:
data[0].sulinaV/2, type: 'linear-strict'},
    bpR: {min:-data[0].sulinaV/2, max:
data[0].sulinaV/2, type: 'linear-strict'},
}}
>
<Coord reflect='x' />

<Axis name="dop" />

<Axis name="farvL" visible={false} />
<LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*farvL' color='red' />

<Axis name="farvR" position={'left'} />
<LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*farvR' color='red' />

<Axis name="threeBcL" visible={false} />
<LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*threeBcL' color='yellow' />

<Axis name="threeBcR" visible={false} />
<LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*threeBcR' color='yellow' />

<Axis name="bpL" visible={false} />
<LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*bpL' color='blue' />

```

```

        <Axis name="bpR" visible={false}/>
        <LineAdvance point={{size: 3}} size={2}
position='dop*bpR' color='blue' />
    </Chart>

    <LegendWrapper>
        <Legend name={'Левая граница'} color={'red'}/>
        <Legend name={'Правая граница'} color={'red'}/>

        <Legend name={'Маневрир ЛБ'} color={'yellow'}/>
        <Legend name={'Маневрир ПБ'} color={'yellow'}/>

        <Legend name={'Ожидание ЛБ'} color={'blue'}/>
        <Legend name={'Ожидание ПБ'} color={'blue'}/>
    </LegendWrapper>
</Container>

    );
};

import React from "react";
import styled from "styled-components";

const Container = styled.div`
    display: flex;
    justify-content: center;
    align-items: center;
    width: 100px;
    box-sizing: border-box;
`;

const Name = styled.div`
    display: flex;
    margin-right: 5px;
    font-size: 14px;
`;

const Color = styled.div`
    display: flex;
    width: 8px;
    height: 8px;
    border-radius: 50%;
    background: ${({ color }) => color};
`;

```

```

export const Legend = ({ name, color }) => {

  return (
    <Container>
      <Name>{name}</Name>
      <Color color={color} />
    </Container>
  );
};

import React, { useCallback } from "react";
import styled from 'styled-components';

const Container = styled.div`
  display: flex;
  width: 100%;
  justify-content: space-between;
  align-items: center;
  margin-bottom: 5px;
`;

const FieldName = styled.div`
  font-weight: bold;
`;

const FieldDescription = styled.span`
  display: flex;
  justify-content: center;
  align-items: center;
  font-size: 12px;
`;

const InputWrapper = styled.div`
  display: flex;
`;

const Input = styled.input`
  width: 30px;
  font-size: 12px;
`;

```

```

export const Field = ({name, value, label, description, onChange}) =>
{

  const handleChange = useCallback((e) => {
    onChange(name, e.target.value);
  }, [name, onChange]);

  return (
    <Container>
      <FieldName>{label}</FieldName>
      <FieldDescription>{description}</FieldDescription>
      <InputWrapper>
        <Input type='number' onChange={handleChange} value={value} />
      </InputWrapper>
    </Container>
  );
};

```

```
package diploma.api;
```

```

import com.fasterxml.jackson.databind.ObjectMapper;
import lombok.AccessLevel;
import lombok.SneakyThrows;
import lombok.experimental.FieldDefaults;

```

```

import java.io.File;
import java.io.FileWriter;
import java.nio.file.Files;
import java.nio.file.Path;
import java.nio.file.Paths;
import java.sql.Date;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.time.Instant;

```

```

@FieldDefaults(level = AccessLevel.PRIVATE, makeFinal = true)
public class LogsWriter {

```

```

    static SimpleDateFormat DATE_FORMAT = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss");
    static String FILE_PATH =
Paths.get("").toAbsolutePath().toString() +
"/src/main/resources/logs/";

```

```

        static String FILE_NAME = "logs-" +
DATE_FORMAT.format(Date.from(Instant.now())) + ".txt";
        static ObjectMapper OBJECT_MAPPER = new ObjectMapper();
        static File FILE = new File(FILE_PATH + FILE_NAME);

        @SneakyThrows
        public void write(Object obj) {
            final String content = OBJECT_MAPPER.writeValueAsString(obj) +
"\n";

            try (FileWriter writer = new FileWriter(FILE, true)) {
                writer.write(content);
            }
        }

        @SneakyThrows
        public static void createLogsDirectory() {
            Path path = Paths.get(FILE_PATH);
            Files.createDirectories(path);
            if (!FILE.exists()) {
                FILE.createNewFile();
            }
        }
    }

package diploma.api;

import com.fasterxml.jackson.core.JsonGenerator;
import com.fasterxml.jackson.databind.JsonSerializer;
import com.fasterxml.jackson.databind.MapperFeature;
import com.fasterxml.jackson.databind.ObjectMapper;
import com.fasterxml.jackson.databind.SerializerProvider;
import org.springframework.context.annotation.Bean;
import org.springframework.context.annotation.Configuration;

import java.io.IOException;
import java.math.BigDecimal;
import java.math.RoundingMode;

@Configuration
public class DoubleSerializer extends JsonSerializer<Double> {

    @Override

```

```
        public void serialize(Double value, JsonGenerator jgen,
        SerializerProvider provider) throws IOException {
            jgen.writeNumber(new BigDecimal(value).setScale(2,
        RoundingMode.HALF_UP));
        }

        @Bean
        ObjectMapper objectMapper() {
            return new ObjectMapper()
                .enable(MapperFeature.ACCEPT_CASE_INSENSITIVE_PROPERTIES);
        }
    }
}
```

С.2. РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«СУДНОВОДІННЯ НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ»

Міністерство освіти і науки України

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан факультету МПтаТ

к. т. н., доцент. _____ І. І. ВОРОХОБІН

“ _____ ” _____ 2014 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«СУДНОВОДІННЯ НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ»

Для курсантів та студентів вищих морських навчальних закладів.

Напрямок підготовки: **6.070104 «Морський та річковий транспорт»**

Освітньо - кваліфікаційного рівня - **бакалавр**

Денна форма навчання

Таблиця 1. Розподіл годин загального обсягу дисципліни відповідно до навчального плану спеціальності

Курс та семестр вивчення за навчальним планом	4 курс, 8 семестр	Всього
Повний обсяг часу на вивчення дисципліни, в годинах	65	65
У тому числі аудиторні заняття	34	34
З них: лекційні практичні (семінарські) лабораторні Види завдань та робіт (РР, РГР, КР, КП)	20	20
	14	14
	Курсова робота Модульний контроль	Курсова робота Модульний контроль
Обсяг часу на СРК, у годинах	31	31
Підсумкова форма контролю: І (іспит)	І	І

Програму навчальної дисципліни склав

ст. викладач **КУЛЬБАЦЬКИЙ Андрій Анатолійович.**

Робоча програма розглянута і схвалена на засіданні кафедри «СМ і ВВШ»

“ 26 ” 08 2014 р., протокол № 1

Зав. Кафедрою «СМ і ВВШ» _____ (В. О. БОБИР)

к. т. н., доцент.

Робоча програма обговорена і схвалена на засіданні вченої ради факультету «МП та Т»

“ 27 ” 08 2014 р., протокол № 1

Декан факультету «МП та Т» _____ (І. І. ВОРОХОБІН)

к. т. н., доц.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета програми.

Підготувати курсантів для виконання обов'язків вахтового помічника на морських та внутрішніх водних шляхах.

1.2. Основні задачі.

Вивчення курсу " Судноводіння на внутрішніх водних шляхах " проводиться для здобуття майбутніми судноводіями змішаного плавання теоретичних знань та практичних навичок для роботи в специфічних умовах й режимі судноплавства на внутрішніх водних шляхах.

Теоретичні знання включають в собі основні довідки судноводіння з урахуванням гідрологічних та метеорологічних умов, морфологічних та геологічних особливостей річок, суднохідних каналів та водосховищ, розглядають засоби навігаційного обладнання на внутрішніх водних шляхах, прилади та засоби орієнтації в плаванні.

Так як безпечність плавання, згідно з особливостями окомірно-радіолокаційного методом судноводіння на внутрішніх водних шляхах в значній мірі залежить від практичних навичок в специфічних умовах судноплавства на обраних ділянках водних шляхів, то обрані річки Дніпро, Дунай, Дон, Майн та Рейн. Вибір ділянок водних шляхів цих річок визначається наявністю стійких змішаних (річка-море) вантажопотоків із Західної Європи до портів Чорного, Азовського та Середземного морів і роботою суден АТ "Укррічфлот" та ВАТ "УДАСКО" в міжнародному плаванні по транс'європейському водному сполученні Рейн - Майн - Дунай – Дніпро, Рейн - Майн - Дунай - Дон. Тому практичні знання включають в собі аналіз умов ділянок водних шляхів цих річок: їх навігаційно-гідрометеорологічну характеристику, розташування навігаційних небезпек та її запобігання виникненню аварійних ситуацій, особливості судноплавних умов, організацію проводки суден і составів, а також дають рекомендації судноводіям по проходженню обмежених для плавання ділянок і відображені в робочому учбовому плані и тексті програми й встановлені згідно с розділами А-11/1, А-VIII/1 Конвенцій ІМО від 1974,1978 и 1995 років та їх Асамблей від 1981, 1983, 1989 та 2000- 2010 років.

2. ПРИБЛИЗНИЙ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ .

Таблиця 2. Розподіл програмного матеріалу по блоках змістових модулів (БЗМ) та формах навчальної роботи

Найменування блоків змістовних модулів (розділів) і змістових модулів (тем) дисципліни	Шифр блоків	Кількість навчальних годин				Література (посилання на джерела)
	змістових модулів в і змістових модулів в відповідно до ОПП	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні (семінарські) заняття	Самостійна робота	
1	2	3	4	5	6	7
Блок змістових модулів (БЗМ) № 1						
Правила плавання на ВВШ України, Європи						
ЗМ 1.1. Вступ. Короткі відомості про історію використання внутрішніх водних шляхів для судноплавства						
Курс "Судноводіння на внутрішніх водних шляхах", його зміст, задачі та значення для судноводіїв. Основні розділи дисципліни. Особливості плавання на внутрішніх водних шляхах.		0,5				[1,]
ЗМ 1.2. Правила плавання на морських та річкових ділянках, каналах, водосховищах та озерах України.		0,5	1		1	[1,8]
ЗМ 1.3. Правила плавання на ВВШ Європи. Вимоги правил плавання до суден та складів.		0,5	1		1	[1,9]
ЗМ 1.4. Міжнародні та національні нормативно-правові документи забезпечення безпеки плавання на МШ та ВВШ Європи.		0,5			1	[1,10]

Всього по БЗМ №1		2	2	0	3	
Судноводіння на ВВП України, Європи						
1	2	3	4	5	6	7
Блок змістових модулів (БЗМ) № 2						
ЗМ 2.1. Теоретичні засади керування та маневреності окремих суден. Скерованість та кермові пристрої, загальний огляд. Вплив керма на керування судном. Види суднових рухів, що застосовуються на ВВП. Вплив рухів на скерованість: одногвинтові, двогвинтові, трьохгвинтові судна. Пристрої для покращення керуваності судна. Зворотливість, стійкість на курсі, рухливість та інерційні властивості.		1			1	[1,2]
ЗМ 2.2. Зворотливість, стійкість на курсі, рухливість та інерційні властивості. Вплив зовнішніх факторів на керуваність та маневреність судна: вітер, хвилювання, течії, мілководдя. Маневрові якості суден на підводних крилах та повітряній подушці.		0,5			1	[1,3]
ЗМ 2.3. Теоретичні засади керування та маневреності буксируючих та що штовхаються суднових составів. Скерованість та кермові пристрої, загальний огляд. Вплив керма на керування составом. Вплив рухів на скерованість: буксируючи та що штовхаються суднових составів. Пристрої для покращення керуваності судна та скерованість.		0,5	1		1	[1,4]
ЗМ 2.4. Зворотливість, стійкість на курсі, рухливість та інерційні властивості. Вплив зовнішніх факторів на скерованість та маневреність составів, що буксируються: вітер, хвилювання, течії, мілководдя.		0,5	1		1	[1, 2]

ЗМ 2.5. Керування складами. Існуючі засоби буксирування. Їх суть і ефективність використання. Виконання та розвиток засобів штовхання суден. Перевага та її ефективність. Формування складів, що штовхаються та буксируються.		0,5			2	[1,3]
ЗМ 2.6. Керування окремими суднами та складами при виконанні поворотів і обертів, привалах та відвалах суден, при постановці та зніманні з якорю. Рух суден крізь пережат, вузькість, під мостами. Зустріч та обгін суден.		0,5	1		2	[1,6]
ЗМ 2.7. Керування окремими суднами та складами. Умови плавання на водосховищах і підходи до них. Штормове плавання. Особливості плавання навесні та під час льодоходу. Стоянка суден під час льодоходу. Буксировка суден подвійною та потрійною тягою.		0,5	1		1	[1,2]
ЗМ 2.8. Безпека судноплавства. Керування суднами в особливих випадках при зніманні з мілини. Рятуння людей на воді. Керування суднами з пошкодженим корпусом та під час пожежі.		1			1	[1,4]
ЗМ 2.9. Забезпечення безпеки судноводіння в умовах обмеженої видимості на ВВШ України, Європи.		1			2	[1,4]
ЗМ 2.10. Застосування РІС на ВВШ. Структура РІС. Проводка судна водними шляхами з застосуванням інформаційних технологій на ВВШ.		1	1		2	[1,4]
ЗМ 2.11. Застосування АІС на ВВШ. Окомірні радіолокаційні проводки суден. Сумісне використання на ВВШ АІС з іншими ТЗН.		1	1		2	
Всього по БЗМ №2		8	6	0	16	
Всього по БЗМ № 1,2		10	8	0	19	

ДОДАТОК D

Акти впровадження результатів дисертації

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Перший проректор Національного
 університету «Одеська морська академія»
 д. ю. н., професор

О.М. Шемякін

« 17 » _____ 2021 р.

А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи
 здобувача Кульбацького Андрія Анатолійовича на тему
 «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України з
 застосуванням сучасних інформаційних технологій» в освітньому процесі
 університету

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Пархоменко М.М. та директор ННІ МПіТ к. т. н., доцент Ворохобін І.І., склали цей акт в тому, що результати дисертації здобувача Кульбацького Андрія Анатолійовича на тему «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України з застосуванням сучасних інформаційних технологій» впроваджені в освітній процес на кафедрі «Морські технології» в дисциплінах «Менеджмент морських ресурсів», «Океанські шляхи світу».

Начальник навчального
 відділу



Пархоменко М. М.

Директор ННІ МПіТ,
 к. т. н., доцент



Ворохобін І.І.

АКТ УПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в Річковій інформаційній службі України філії «Дельта-лоцман» державного підприємства «Адміністрація морських портів України» Міністерства Інфраструктури України упроваджені рекомендації по процедурі оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна, які одержані за результатами дисертаційної роботи Кульбацького Андрія Анатолійовича на тему «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України із застосуванням сучасних інформаційних технологій».

Упроваджено процедуру оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна, яка може бути небезпечної або/та, що заважає. Запропонований спосіб передбачає оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна та вибір безпечної траєкторії руху судна з урахуванням інформаційних похибок оцінки габаритів судового ходу.

Рекомендований спосіб визначення процедури оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна та вибір безпечної траєкторії руху судна був упроваджений в роботу системи РІС України під час використання стандарту T&T.

Начальник Річкової інформаційної служби України
філії «Дельта-лоцман» державного підприємства
«Адміністрація морських портів України»
Міністерства Інфраструктури України

10.02.2021



Ляшенко О.С.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Дунайського інституту
Національного університету

«Одеська морська академія»

д.т.н., проф.  Чимшир В.І.

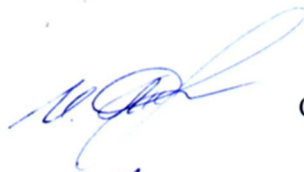
22 02 2021 р.

А К Т

про впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача Кульбацького Андрія Анатолійовича на тему «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України із застосуванням сучасних інформаційних технологій» у навчальному процесі інституту.

Комісія у складі: заступника директора з науково-педагогічної роботи д.п.н., професора Смирнкової І.М., завідувача кафедри навігації та управління судном д.п.н., доцент Даниленко О.Б. і завідувача кафедри інженерних дисциплін к.т.н., доцент Тарасенко Т.В. склала цей акт підтверджуючи, що у освітній процес Дунайського інституту впроваджено процедуру оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна, яка може бути небезпечною або/та, що заважає. Запропонований спосіб передбачає оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна та вибір безпечної траєкторії руху судна з урахуванням інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу.

Заступник директора з НІПР
д.п.н., професор



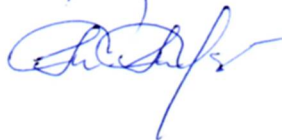
Смирнова І.М.

Завідувач кафедри НІУС
к.п.н., доцент



Даниленко О.Б.

Завідувач кафедри ІД
к.т.н., доцент



Тарасенко Т.В.

АКТ УПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в приватному вищому учбовому закладі Інститут післядипломної освіти «Одеський морський тренажерний центр» одержали упровадження в учбовий процес наступні результати дисертаційної роботи Кульбацького Андрія Анатолійовича на тему «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України з застосуванням сучасних інформаційних технологій»:

- спосіб оцінювання величини інформаційної похибки при проведенні судна;
- вибір безпечної траєкторії руху судна з урахуванням інформаційних похибок оцінки габаритів судового ходу.

Директор

Інституту післядипломної освіти

«Одеський морський тренажерний центр».

к. т. н., професор

24.01.2021



Пашенко Ю.В.

АКТ УПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що в представництві компанії «Zodiac Maritime Ltd» упроваджені рекомендації по процедурі оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна, які одержані за результатами дисертаційної роботи **Кульбацького Андрія Анатолійовича** на тему «Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України із застосуванням сучасних інформаційних технологій».

Упроваджено процедуру оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна, яка може бути небезпечної або/та, що заважає. Запропонований спосіб передбачає оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна та вибір безпечної траєкторії руху судна з урахуванням інформаційних похибок оцінки габаритів суднового ходу.

Рекомендований спосіб визначення процедури оцінювання величини інформаційної похибки проводки судна та вибір безпечної траєкторії руху судна був упроваджений в роботу системи РІС України під час використання стандарту T&T.

Директор представництва
«Zodiac Maritime Ltd»

22 81 2021



Єрісов С.О.