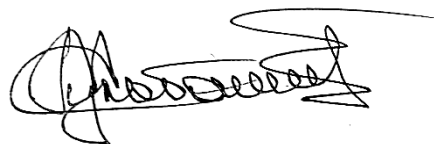


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ”

КУЛЬБАЦЬКИЙ АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ



УДК656.61.052

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

Спеціальність 05.22.13-навігація та управління рухом

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертація є рукопис

Робота виконана у Національному університеті “Одеська морська академія”
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор кафедри
морські технології
Гладких Ігор Іванович,
Національний університет “Одеська морська
академія”, Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор кафедри
геоінформаційних технологій та космічного
моніторингу Землі
Бутенко Ольга Станіславівна
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут» Міністерства освіти і науки України

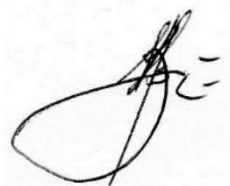
кандидат технічних наук, професор кафедри
технічних систем і процесів управління в
судноводінні,
Доронін Володимир Васильович,
Державний університет інфраструктури та
технологій, Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться 12 травня 2021 р. о 14:30 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська
морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала
засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету
«Одеська морська академія» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2 та за
електронною адресою: www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy.

Автореферат розісланий 12 квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 з вищевказаного витікає, що розробка способів, які 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).

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 місцеперебування 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 RIS 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 габаритів суднового ходу, 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 суднах у процесі експлуатації для вибору безпечного маршруту плавання без модернізації обладнання, а також використовуються розробниками суднових 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 суднового 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи виконане обґрунтування теми, містить зв'язок її з програмами наукових досліджень України по Транспортній стратегії та планами наукових досліджень університету, наведено мету, головну та допоміжні задачі, показано наукову новизну та практичне значення результатів дослідження.

У **першому розділі** шляхом огляду літературних джерел здійснений пошук основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безаварійності судноводіння з використанням методу дедукції.

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 міліну та навалень суден на водних шляхах у районах інтенсивного судноплавства, моделювання руху судна при плаванні в стислих районах, забезпечення точності контролю місця судна та оцінки безпеки судноводіння в стислих умовах.

Вітчизняні вчені Кондрашихін В.Т., Вагущенко Л.Л., Мальцев А.С., Цимбал М.М., Гладких І.І., Алексійчук М.С. та іноземні вчені Фудзії, Танака, зробили значний внесок в рішення зазначених проблем, і показали, що центральним напрямом рішення проблеми підвищення безпеки

судноводіння є вдосконалення методів попередження посадок на мілину та навалень суден на водних шляхах у районах інтенсивного судноплавства. Це дозволило виявити проблеми безпеки при проводках суден на водних шляхах в стислих умовах.

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

У другому розділі було здійснено обґрунтування вибору теми дисертаційного дослідження за факторами актуальності та наукової відповідності до спеціальності, предмет дослідження.

Методами системного підходу розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження, в якій сформульовані мета, головна задача дисертаційного дослідження, робоча гіпотеза, та визначено його об'єкт та предмет. За допомогою методів системного аналізу було сформульовано три допоміжні задачі для вирішення головної наукової задачі дисертації.

Вивчена суть проблеми і методи, які необхідні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження.



Рис. 1. – Розподіл кількості втрачених суден на водних шляхах Європи за 2000-2019 гг.

Розподіл АП по районах

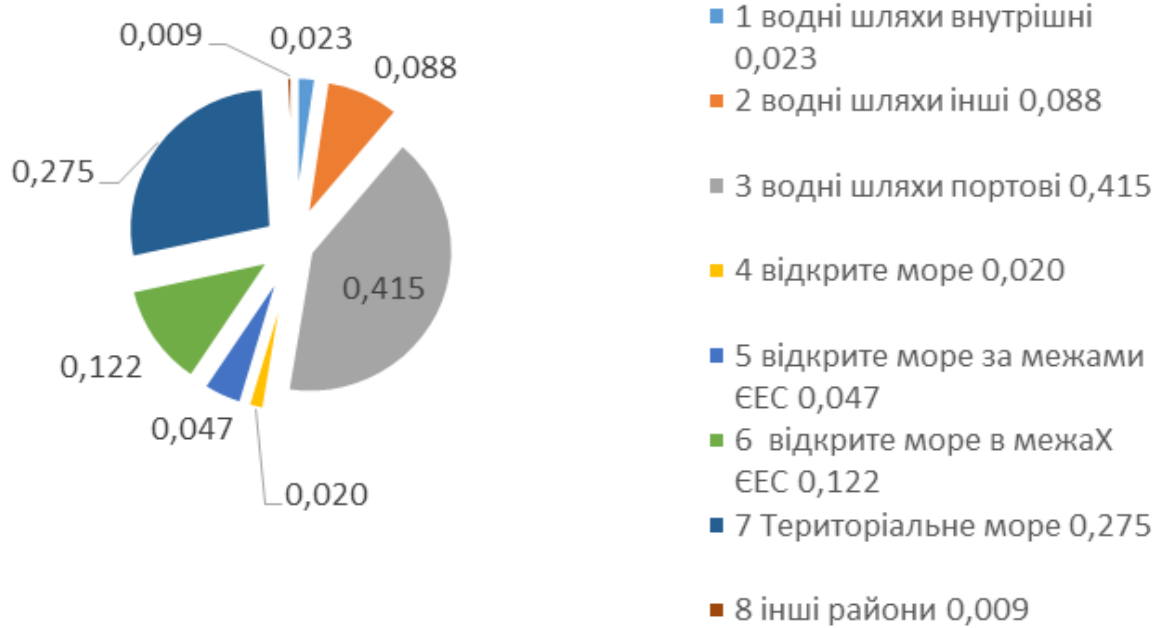


Рис. 2. – Розподіл аварійних подій по районах водних шляхів Європи за 2014-2019 гг.

Таблиця 1- Розподіл аварійних подій районам водних шляхів Європи За2014-2019 гг.

райони	2014	2016	2018	2019	всього	Вага чинника
Водні шляхи внутрішні/ Inland waters	69	66	112	104	455	0,023
Водні шляхи інші/ Internal waters Other / Unspecified	271	264	297	207	1700	0,088
водні шляхи портів / Internal waters Other /Port area	1448	1349	1254	1176	8056	0,415
відкрите море / Open sea Other	125	69	56	10	391	0,020
відкрите море за межами ЄЄЗ / Open sea - Outside EEZ	107	179	142	190	919	0,047
відкрите море в межах ЄЄЗ/ Open sea - Within EEZ	329	399	429	486	2374	0,122
Територіальне море/ Territorial sea	848	903	962	868	5349	0,275
Інші райони/ Other Unspecified	47	15	12	21	174	0,009
Всього /Total	3244	3244	3264	3062	19418	1



Рис. 3. – Розподіл аварійних подій протягом року

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

Більш 50% аварійних подій суден приходить на водні шляхи внутрішніх та прибережних вод, що показав наведений аналіз рівня аварійності суден на національних та водних шляхах ЄС.

Третій розділ присвячений рішення першої допоміжної задачі, а саме:

дослідження залежності інформаційної похибки габаритів суднового ходу від істотних параметрів руху судна.

При рішенні даної задачі були використані такі методи наукового дослідження як: системний аналіз, математичний аналіз та ймовірнісно-статистичні. У розділі досліджено питання передачі інформації між учасниками транспортного процесу. Значний сегмент інформаційного потоку сучасних системи складає безпека провідки суден. Навігаційна інформація - це сукупність даних, що дозволяє на момент часу визначити положення судна в навігаційному просторі. Формування інформаційного навігаційного простору в умовах руху судна відбувається під впливом джерел, способів отримання, методів передачі, сприйняття і реалізація на судні. Навігаційна інформація класифікується за ознаками: по виду вимірів, по своєму складу, по відносній точності, по мірі повноти, по мірі залежності, за характером виміри.

Умовно навігаційну інформацію можна розділити на динамічну і статичну залежно від застосування та часу приходу. В цьому розділі проаналізовані сучасні вітчизняні та Європейські морські й річкові інформаційні системи, методи й способи передачі інформації на судна та берегові станції. РІС сприяють підвищенню безпеки та ефективності експлуатації суден за допомогою:

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

- інформаційну підтримку 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 доступному 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 (за умови наявності СРРС у складі РІС);

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

- взаємодія з відповідними службами інших країн, які функціонують на ВШ, для забезпечення виконання покладених на РІС 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;

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

Нижче наведено на рис.3,4 принципи передачі навігаційної інформації за допомогою NtS повідомлень .

NtS мають такі інформаційні розділи: ідентифікація повідомлення, повідомлення про фарватер і рух. Повідомлення пов'язані з коливанням рівня води, такі як глибина найменша та фактична, висота(вертикальний кліренс), прогноз погоди та льодовий стан.

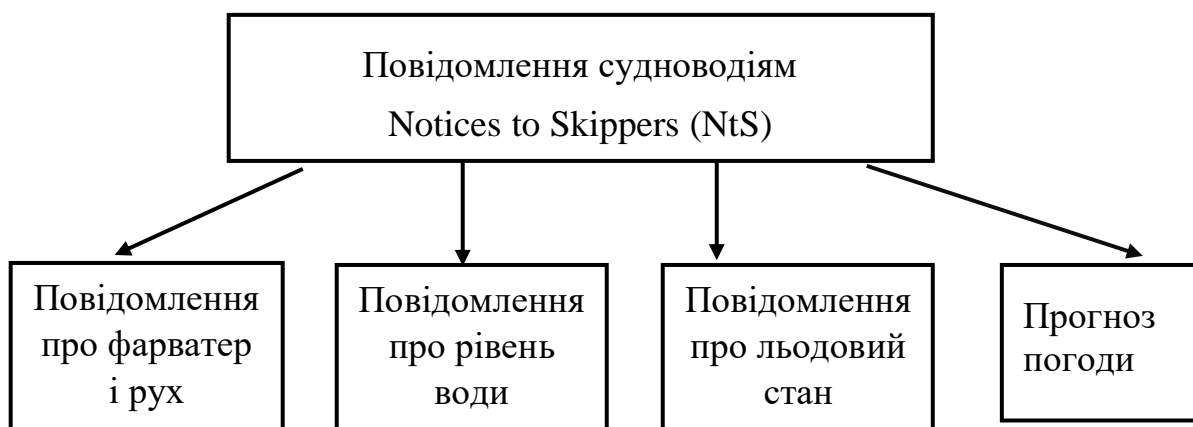


Рис. 4. – Типи NtS повідомлень судноводіям

Стандартизоване повідомлення для судноводіїв в форматі XML містить 5 розділів: ідентифікація, повідомлення про фарватер і рух, повідомлення про рівень води, повідомлення про льодовий стан, прогноз погоди.

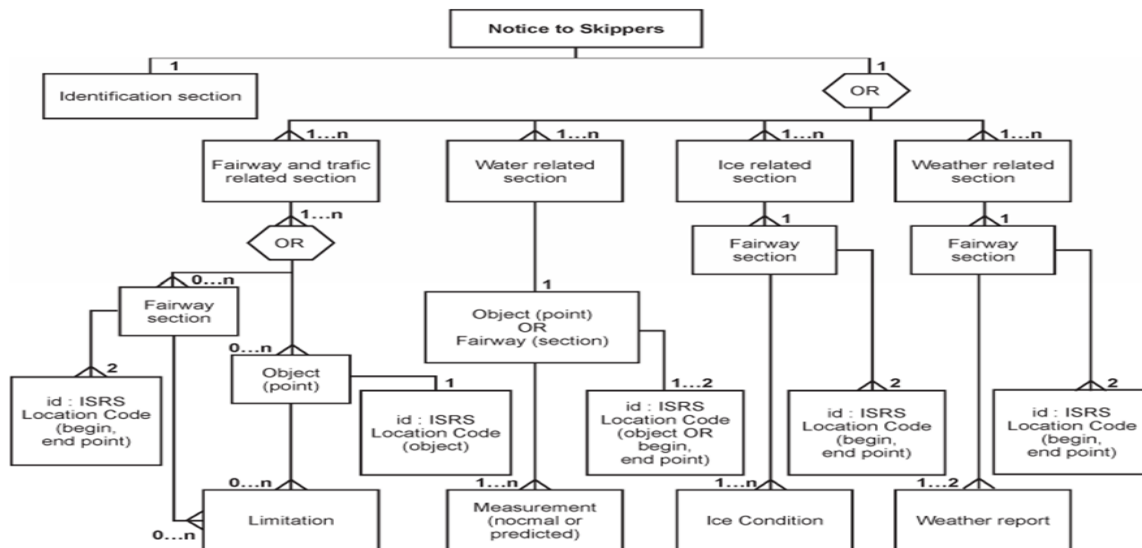


Рис. 5. – Зображення схеми взаємозв'язку існуючих типів NtS

В третьому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання аналізу методів трансформування навігаційної інформації за допомогою РІС та методу динамічного відображення фарватеру на Inland ECDIS. Приведені чинники впливаючі на оцінку ризиків з урахуванням навігаційної інформації в повідомленнях на ділянці водного шляху. Таким чином, незважаючи на стрімкий розвиток радіонавігаційних систем та інформаційних технологій на водному транспорті, актуальним є наукове завдання удосконалення існуючих та розроблення нових моделей та методів аналізу і синтезу системи навігації та управління рухом суден на основі апіорних оцінок ефективності підсистем безпеки провідки суден.

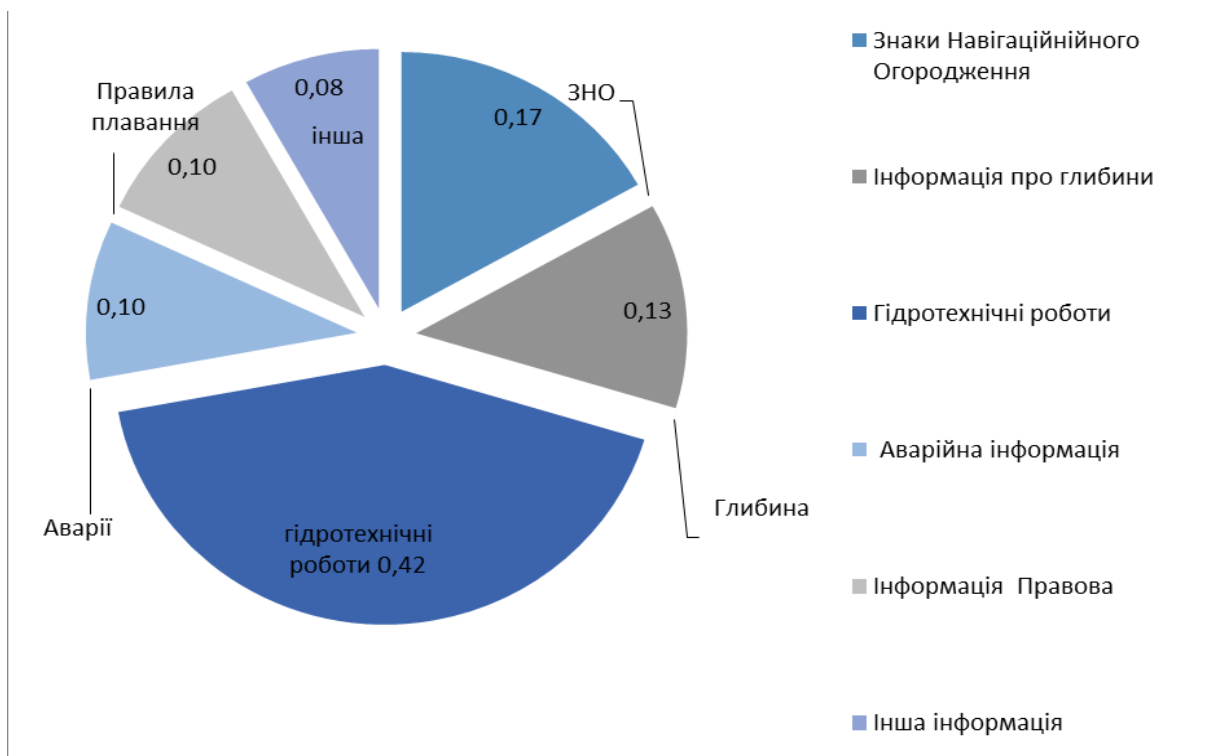


Рис. 6. – Розподіл навігаційної інформації в повідомленнях



Рис. 7. – Розподіл навігаційної інформації в повідомленнях за часом на обраній ділянці водного шляху

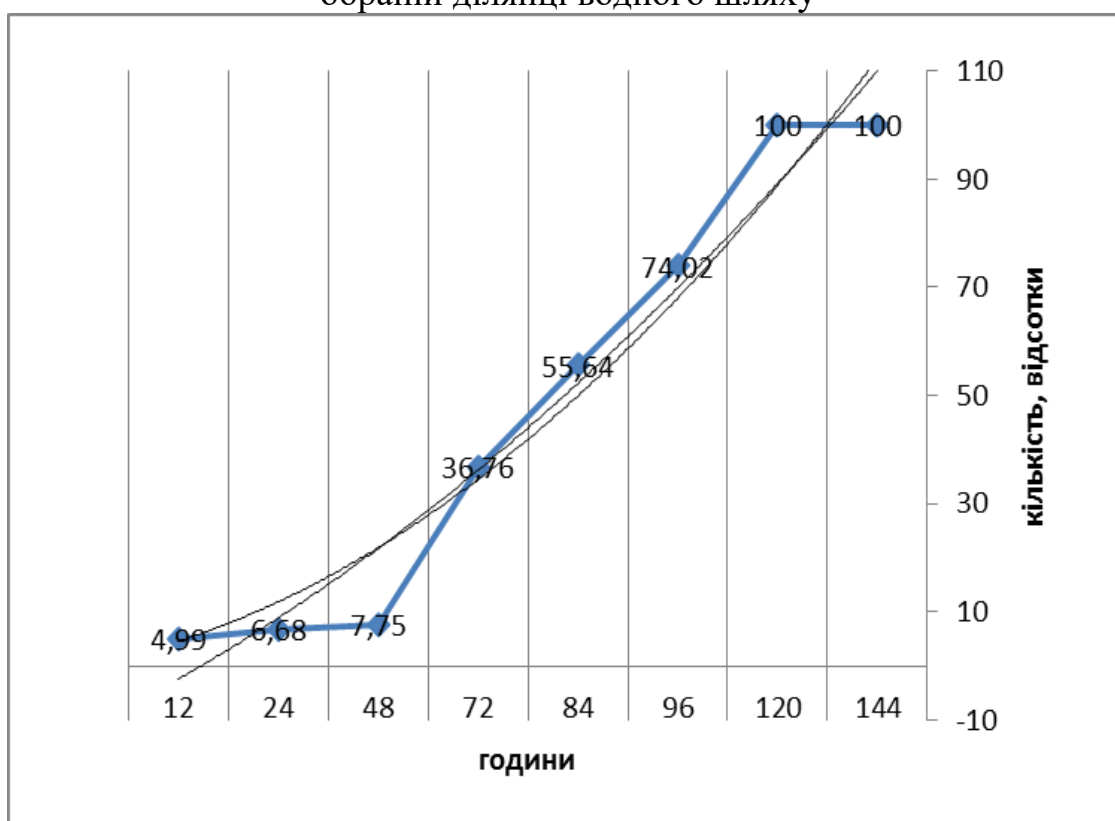


Рис. 8. – Розподіл навігаційної інформації за часом для ділянки водних шляхів

Одержані дані відносно розподілу навігаційної інформації в повідомленнях на ділянці водного шляху. Проведений аналіз складу інформації р. Дунай, поступаючи на судно показав, що має суттєвий вплив на безпеку провідки суден в стислих умовах.

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. Нижче наведено принцип поєднання усіх 4-х стандартів РІС за допомогою RISIndex в єдиному інформаційному просторі (рис.7,8)

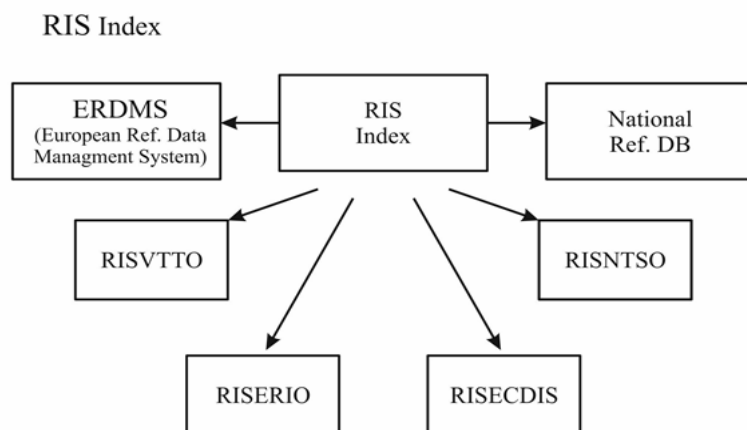


Рис. 9. – Системи, що використовують РІС індексацію.

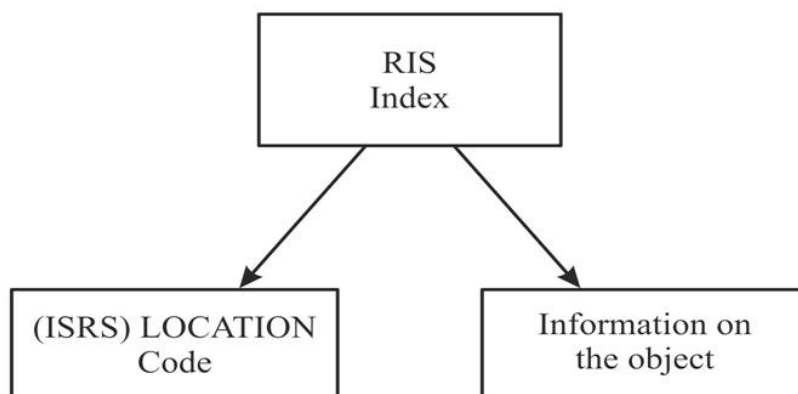


Рис. 10. – Базові елементи РІС індексу.

В третьому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання аналізу методів трансформування навігаційної інформації за допомогою РІС та методу динамічного відображення фарватеру на Inland ECDIS. Приведені чинники впливаючі на оцінку ризиків з урахуванням навігаційної інформації в повідомленнях на ділянці водного шляху. Одержано дані відносно закону розподілу похибки навігаційної інформації в повідомленнях на обраній ділянці водного шляху. Проведено аналіз складу інформації на ділянках водних шляхів р. Дунай, щодо передач на судна показав, що вона 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 цьому 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 позиції судна на обраній ділянці водних шляхів слід розраховувати в припущенні щодо розподілу закону Пуассону. Зміст третього розділу опубліковано в роботах [3,6]

У четвертому розділі розроблена процедура формалізації основних параметрів для оцінки вірогідності безаварійної провідки судна водними шляхами в стислих умовах. Розрахована оцінка вірогідності безаварійної провідки судна водними шляхами в стислих умовах визначення вірогідності для випадків, що судно не зіткнеться з іншими суднами або небезпеками, не сяде на міліну. Рух судна характеризується шириною його маневреної смуги з безпечною глибиною та висотою.

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

$$P_H = P_{Ш} * P_C * P_{Л}, \quad (1)$$

$$P_{Ш} = f(V_f; h)$$

де:

$P_{Ш}$ - вірогідність безпеки водного шляху;

P_C - вірогідність безпеки судна;

$P_{Л}$ - вірогідність надійності спеціаліста (судноводія);

V_f - ширина фарватеру;

h - глибина фарватеру;

$$P_H = P_1 * P_2 * P_3 * P_4 * P_5 * P_6 * P_7 * P_8 * P_9, \quad (2)$$

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 провідки суден на водних шляхах, який проявляється в разі нездійснення хоча б одного з приватних подій, набуде вигляду

$$P_H = (Q_9) + P_9(Q_4) + P_4(Q_7)P_9 + P_4P_7(Q_8)P_9 + P_4(Q_6)P_7P_8P_9 + P_4(Q_2)P_6P_7P_8P_9 + P_2(Q_3)P_4P_6P_7P_8P_9 + P_2(Q_5)P_3P_4P_6P_7P_8P_9 + (Q_1)P_2P_3P_4P_6P_7P_8P_9, \quad (3)$$

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 приватних 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 приватних 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.

Розглянутий ситуаційний метод оцінки навігаційної безпеки плавання на водних шляхах, враховуючий основні властивості якісно-складної організаційно-технічної системи проводки суден в стислих умовах.

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.

$$P_{\text{НБ}} = P_{\text{Н}} * P_{\text{І}} \quad (4)$$

де: $P_{\text{І}}$ – ймовірність, характеризуюча зміну інформаційного складу навігаційного поля обраної ділянки водних шляхів. Загальний вираз навігаційної безпеки для проводки суден, який враховує (1,4), набуде вигляду

$$P_{\text{НБ}} = P_{\text{В}} * P_{\text{Т}} * P_{\text{І}} \quad (5)$$

Для кількісної оцінки навігаційної безпеки проводки суден на водних шляхах проведено аналіз застосовуваних критеріїв. 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).

$$\left. \begin{aligned} L_{\text{ЗНБ}} &= L + m_D + S_1 + S_2 + \Delta D \\ B_{\text{ЗНБ}} &= f(B_c; B_{cx}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$B_{\text{СХ}} = B_{\text{П1}} + \Delta B_{\text{ГР1}} + B_{\text{П2}} + \Delta B_{\text{ГР2}} + \Delta B_{\text{МП}} \quad (7)$$

$$B_{\text{П}} = L_c \cdot \sin C + B_c \cdot \cos C \quad (8)$$

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);

L_c, B_c – довжина та ширина судна, (м);

C – кут дрейфу;

$B_{п1}, B_{п2}$, – ширина смуги руху для першого та другого суден;

$\Delta B_{гр1}, \Delta B_{гр2}$, – відстань між смугами руху суден до обмеження смуги руху для першого та другого судна, відповідно, (м);

$\Delta B_{мп}$ – відстань між смугами руху суден, (м);.

Нижче наведено принцип оцінки безпеки проводки судна з урахуванням коливання рівня води (рис.11)

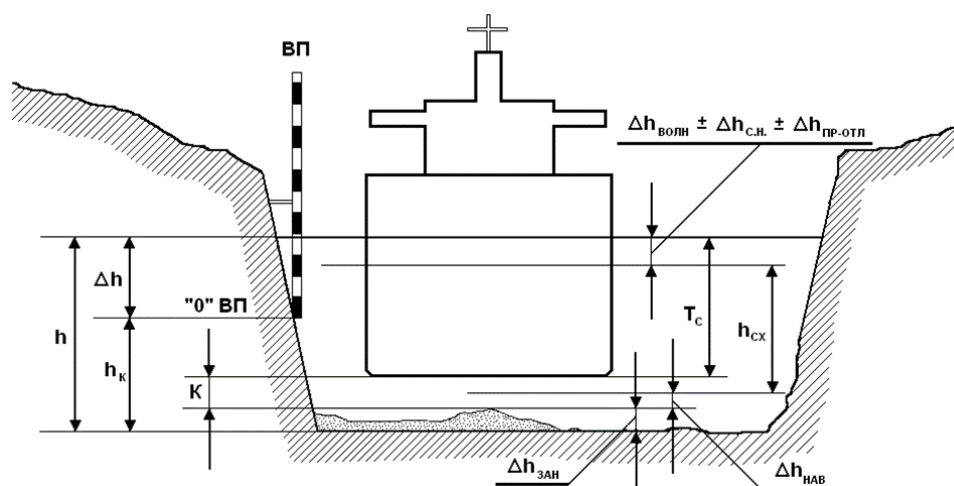


Рисунок 11.- Складові моделі для оцінки безпеки проводки судна з урахуванням коливання рівня води.

Розрахунок глибини на лімітуючих ділянках в межах смуги руху:

$$h = h_k + \Delta h, \quad (9)$$

$$h_{сх} = h - \Delta h_{волн} - \Delta h_{нав} \pm \Delta h_{с.н.} - \Delta h_{зан} \pm \Delta h_{пр-отл}, \quad (10)$$

$$T = T_c + \Delta T_{нав}, \quad (11)$$

$$K = h_{сх} - T, \quad (12)$$

де T_c - осадка судна на ходу, (м);

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

$\Delta h_{с-н}, \Delta h_{пр-отл}$ - величини сгіно-нагіних та приливних явищ, (м);

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

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

Δh - поправка, що вводитьься за рахунок показань водомірного поста, (м);

K – кліренс - відстань між найнижчою точкою 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.

У цьому розділі розроблені процедури формалізації основних параметрів з метою оцінки вірогідності безаварійної проводки судна на водних шляхах в стислих умовах. Одержано аналітичні вирази для оцінки впливу обмеженості на безпеку. Представлена математична модель оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих умовах з урахуванням характеристик району плавання, таким чином вирішена друга допоміжна задача дослідження. Показано, що середнє значення вірогідності безпечного плавання з урахуванням частоти перебування суден в стислих районах визначає кількість аварійних випадків внаслідок посадок на міліну. Розглянуто вплив прогнозування рівня води на вірогідність безпечної проводки. Наведений спосіб моделювання динамічної карти дає можливість скласти прогноз замулення дна ділянки на заданий період часу. Зміст третього розділу опубліковано в роботах [1-3,7,10].

У п'ятому розділі розроблена процедура формалізації основних параметрів для оцінки вірогідності безаварійної проводки судна водними шляхами в стислих умовах. 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 двох модулів, що дозволяють провести судно.

За допомогою першого модуля оцінюються навігаційні параметри способів проводки судна на обраній ділянці з оцінкою вірогідності безпечної проводки судна з урахуванням інформаційних навігаційних похибок на ділянці водного шляху.

За допомогою другого модуля проводиться формування маршруту проводки судна на ділянці водного шляху з оцінкою вірогідності безпечної проводки судна способами інструментальних та прискорених методів контролю з урахуванням інформаційних навігаційних похибок на ділянці водного шляху та застосуванням способу віртуальних ЗНО.

Для оцінки ризику A на ділянці та прийняття рішення

$$A = \frac{P_n \left(\Delta F - \left(\sum_{i=1}^n S_i / V_i \right) \cdot C_X - C_{CT} t_{CT} - b_3 \right)}{(1 - P_n) \cdot (\mu_n D_q + b_2)} \geq 1, \quad (13)$$

$$\Delta F = f \cdot D_q - (C_X \cdot t_X^1 + C_{CT} \cdot t_{CT}^1 + b_1 + C_X \cdot t^{11}), \quad (14)$$

$$\mu_n = \frac{\sum_{i=1}^n T Y_{N_i}}{n_n \cdot D_q}, \quad (15)$$

де:

P_n – оцінка навігаційної безпеки на обраній ділянці;

S_i – протяжність ділянки, пройденого 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 першою частиною рейсу; при невиконанні умов перевезення вантажу; з проходженням вузькості.

TU_{Ni} - технічні збитки в результаті розглянутого виду аварій в даному районі плавання;

n_n - кількість розглянутих випадків;

f - фрахтова ставка,

$D_{ч}$ - кількість вантажу;

Для визначення можливого часу очікування поліпшення навігаційних умов скористаємося виразом

$$t_{ст} = \frac{(\Delta F - b_3 - (\sum_{i=1}^n S_i / V_i)) - (1/P_H - 1) (\mu_n D_{ч} + b_2)}{C_{ст}}, \quad (16)$$

Алгоритм оцінки ризику представлений на рис.12

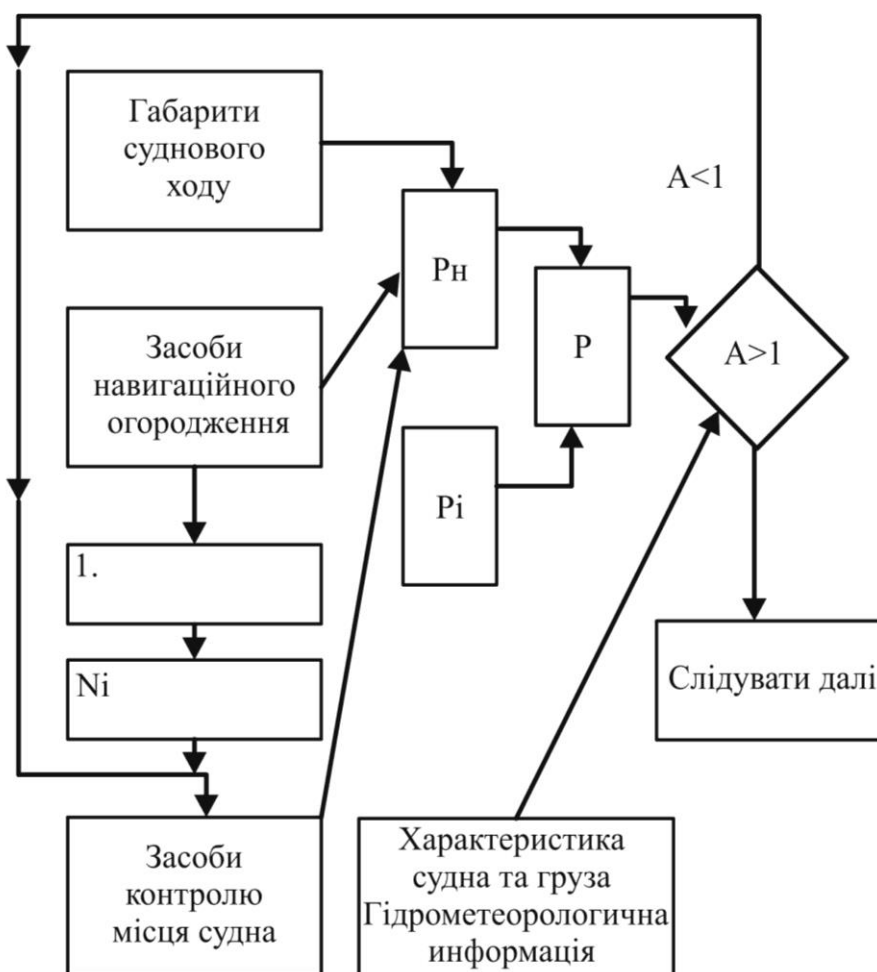


Рисунок 12.- Складові моделі для мінімізації ризиків аварії проводки судна з урахуванням інформаційних навігаційних похибок на ділянці водного шляху з вибором оптимального способу контролю місця

Нижче наведено принцип оцінки безпеки проводки судна з урахуванням способу контролю місця (рис.13)

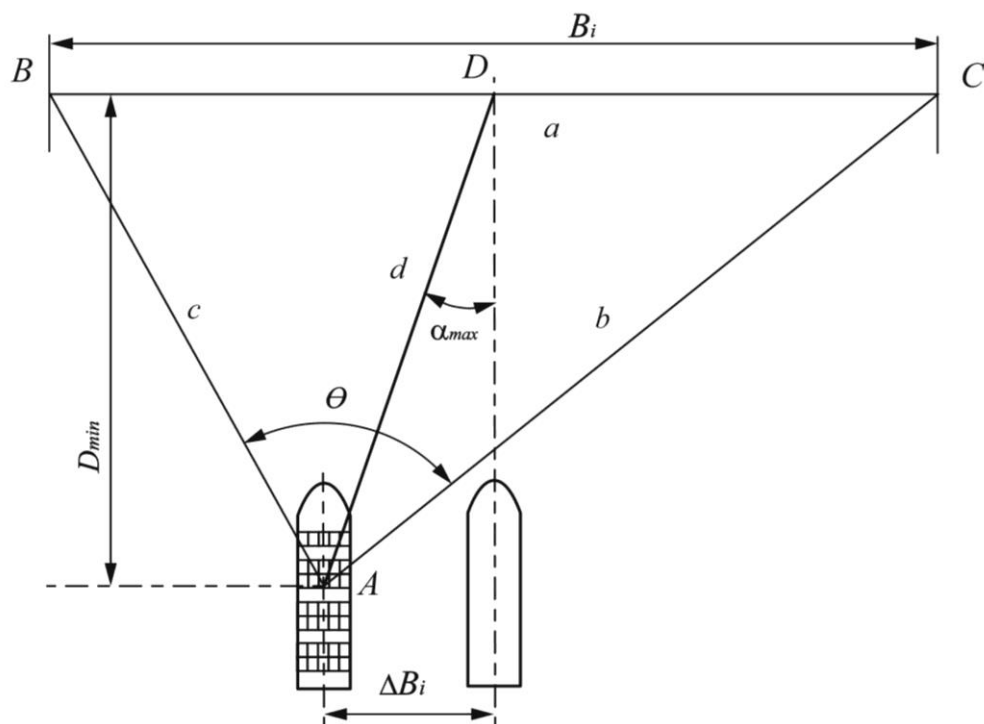


Рисунок 13. – Спосіб оцінки дистанції до небезпеки.

Формула, що зв'язує довжину $AD = d$, проведеної до основи трикутника BC (точніше, її квадрат), з довжинами відрізків BD ; DC , на які вона ділить підставу, і бічними сторонами AB ; AC .

Бічними сторони AB ; AC відповідно $D_{ЛБ}$; $D_{ПБ}$ відстані до віртуальних ЗНО, з дистанцією між ними $B_{вбуоу}$.

$$AD = d$$

$$d = (D_{ЛБ}^2 \times (DC/BC) + D_{ПБ}^2 \times (DB/BC) - DB \times DC)^{(1/2)}, \quad (17)$$

При $DB = DC$, (17) приймає вид

$$d = (0,5 * D_{ЛБ}^2 + 0,5 * D_{ПБ}^2 - DB^2)^{(1/2)},$$

Приведений вираз дозволяє покращити результат розрахунків до 7 відсотків від дистанції.

У даному розділі представлена комп'ютерна програма, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб оцінки вірогідності безаварійної проводки судна плановим маршрутом на водних шляхах в стислих умовах, яка використовує модель одновимірної щільності похибки бічного відхилення і характеристики маршруту проводки.

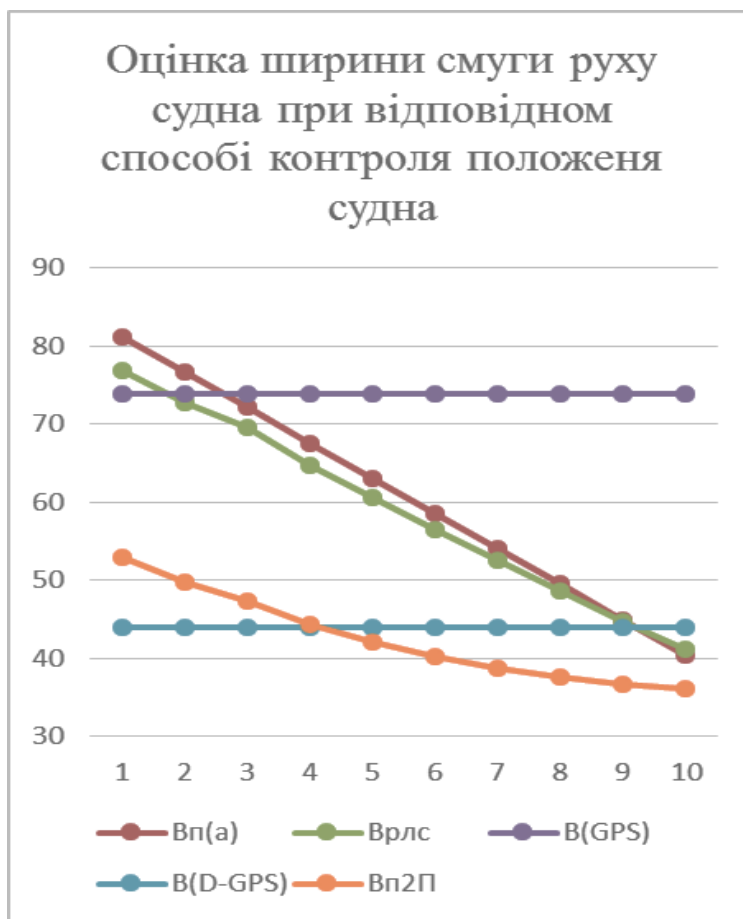


Рис.14. – Оцінка ширини смуги руху .

За допомогою імітаційного моделювання виконано порівняння моделей оцінки вірогідності проводки судна за даним 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 передрейсовою підготовки курсантів, студентів та спеціалістів з застосуванням тренажерного обладнання. Зміст третього розділу опубліковано в роботах [3-6,8,9,11]

ВИСНОВКИ

Забезпечення безаварійного судноводіння веде до зниження шкоди людському життю та навколишньому середовищу. Навігаційні перешкоди разом з умовами водних шляхів та інтенсивним судноплаством 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.

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.

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.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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.

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 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.

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.

У дисертаційному дослідженні наведено аналітичні вирази, які формалізують відповідність вимог по габаритам судового ходу, розмірностям судна і точності контролю місця судна.

Отримано аналітичні вирази критеріїв оцінки вірогідності безпечного плавання в стислих умовах.

Запропонована процедура оцінювання величини інформаційної похибки габаритів суднового ходу залежно від динамічної моделі прогнозу його руху.

Розглянуто питання урахування впливу достовірності прогнозування рівня води на вірогідність безпечної проводки.

Запропоновано удосконалений метод оцінки безпечної проводки суден шляхом вибору оптимального способу планування шляху та використання способів високоточного управління з урахуванням інформаційних похибок. Представлено результати імітаційного моделювання оцінки вірогідності проводки судна плановим маршрутом на водних шляхах в стислих умовах з урахуванням інформаційних технологій.

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

АННОТАЦИЯ

Кульбацкий А.А. Повышение эффективности судовождения на водных путях Украины с применением современных информационных технологий. - Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук (доктора философии) за специальностью 05.22.13 - навигация и управление движением (271 Речной и морской транспорт). - Национальный университет "Одесская морская академия". - Одесса, 2021.

В диссертационном исследовании приведены аналитические выражения, которые формализуют соответствие требований по габаритам суднового хода, размерениям судна и точности контроля места судна.

Получены аналитические выражения критериев оценки достоверности безопасного плавания в стесненных условиях.

Предложенная процедура оценивания величины информационной погрешности габаритов суднового хода в зависимости от динамической модели прогноза его движения.

Рассмотрен вопрос учета влияния достоверности прогнозирования уровня воды на вероятность безопасной проводки.

Предложен усовершенствованный метод оценки безопасной проводки судов путем выбора оптимального способа планирования пути и использования способов высокоточного управления с учетом информационных погрешностей. Представлены результаты имитационного моделирования оценки вероятности проводки судна планируемым маршрутом на водных путях в стесненных условиях с учетом информационных технологий.

Ключевые слова: безопасность судовождения, проводка судов, водные

пути, речные информационные системы, современные информационные технологии.

ANNOTATION

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.

Analytical expressions formalizing compliance with the requirements for fairway dimensions, ship measurements and accuracy of control of the ship's position are given in the dissertation research.

Analytical expressions of assessment criteria of accuracy of safe navigation in congested waters have been obtained.

The procedure of estimating the value of information error in fairway dimensions depending on dynamic model of the ship motion prediction has been suggested.

The issue of considering the effect of water level prediction accuracy on safe navigation have been addressed.

The improved method of safe navigation assessment by choosing the best possible way of route planning and using the ways of high-accuracy control taking in to account information errors has been suggested.

The results of simulation modelling of safe navigation assessment according to the planned route on the waterways in congested waterstaging into account information technologies.

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

Підп. до друку 1.04.2021. Формат 60x84/16. Папірофсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И21-04-24

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності
ДК № 1292 від 20.03.2003