

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України

Алєйніков Михайло Владиславович

АНОТАЦІЯ

до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії
«Моделі і методи ефективного судноводіння з використанням
інструментального методу навігації на річці Дніпро»

Спеціальність 271 – Річковий та морський транспорт

Галузь знань – 27 Транспорт

Київ — 2020

АНОТАЦІЯ

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

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

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

перспективі відмова від установки берегових і плавучих засобів навігаційного обладнання. До того ж слід зазначити, що введення інструментального методу навігації дозволить в особливий період оперативно закривати судноплавство по фарватеру і здійснювати проводку тільки обраних суден. Впровадження інструментального методу навігації розглядається як системний об'єкт з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів і їх властивостей.

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

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

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

Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження.

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

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

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

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

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

функціонування з Inland radar. Визначений алгоритм автоматизованого визначення граничних значень навігаційних параметрів при русі судна із застосуванням можливих варіантів положення лінії відносного руху на SENC і математичної моделі місцеположення руху точки по траєкторії у різних ортогональних системах координат.

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

Визначені програма експериментальних досліджень і шляхи виконання апріорної оцінки пропонованої технології. Обрані показники та формули ефективності. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 12 тестів. Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів ефективного використання водного транспорту. Так, запропоновані методи дозволяють: підвищити точність

навігаційних параметрів на 10 %; скоротити час для прийняття рішення щодо забезпечення безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити ефективність несення навігаційної вахти на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

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

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

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

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

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

Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при викладанні дисципліни «Навігаційні інформаційні системи» (акт від 14.05.2019). Матеріали дисертаційного дослідження також використовуються в тренажерній підготовці в Київському Центрі підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців водного транспорту за напрямками «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 26.12.2018), в Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training" за напрямом «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 14.01.2019). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені: в судноплавній компанії «Південне річкове пароплавство» (акт впровадження від 30.04.2019), в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» (акт впровадження від 21.05.2019), в ДУ «Держгідрографія» (акт впровадження від 14.05.2019), на судні «Vectis Isle» (акт впровадження від 25.03.2019).

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

Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:

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

2. Алейніков, М. В. Спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти / М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий

вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2015. — № 2 (13). — С. 303-316.

3. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.

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

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

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

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

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

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Aleynikov, M. V. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.

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

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

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

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

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

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

Матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRACT

Alieinikov, M. V. Models and Methods of Efficient Navigation Using the Instrumental Navigation Method on the Dnieper River – Qualifying scientific work as

a manuscript. Thesis for the Ph.D. in the specialty 271 – Inland water and sea transport. – The State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the application of the instrumental method of navigation on the Dnieper river by developing new methods that allow to automate the performance of navigation tasks in the electronic-cartographic system. The most important problem of modern efficient operation of waterborne transport is the safety of navigation. In most cases, probability of safe navigation does not exceed the required level. According to obtained data on the dynamics of waterborne transport accident rate in recent years, it can be argued that the accident rate remains at the same level, and the largest percentage falls on accidents in limited maneuvering space (rivers, port areas, coastal navigation).

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

According to literature data, it shall be noted that the publications associated with the problem instrumental navigation method with the help of Inland ECDIS are very limited, and some aspects are explored not completely, superficially and casually. According to literature data analysis, it was found that the central direction of the solution of this problem is the improvement and development of efficient

methods of operation of waterborne transport with the help of additional methods of implementation of computational intelligence, the choice of a safe way in compliance with the requirements of safety of maneuvering vessel's movement, and environmental protection.

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

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

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

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

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

In the main part of the work the review and the analysis of the development of modern navigation systems has been performed for solving the problems of traffic control on inland waterways of Ukraine. The existing dominant infrastructure and technical factors, features of river navigation which limiting navigation on the Dnieper river were defined. The procedure for obtaining information for ship control using Inland ECDIS was defined. Analysis of current state of functioning of electronic cartographic means in water areas of navigation was carried out. Conditions and requirements for the system of effective support of decision-making by the skipper, and expert systems were formulated. For determining the direction of the thesis research, a comparative analysis of the differences in the standards of sea and river ECDIS was given. As well, it was proved that Inland ECDIS should become a part of an integrated information system for traffic management on inland waterways. It was established that the theory of functional density of instrumental navigation method provides new approaches to solving the scientific problem, and includes a set of logically related foundations. Criteria for assessing functional stability of instrumental navigation method on inland waterways of Ukraine were applied. The main stages of functional stability of instrumental navigation method including the system of elements of coastal infrastructure and ship navigation equipment were shown. An algorithm was developed for implementing system functional stability by using a mathematical model in the form of undirected graph. Quantitative criteria were given for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation that should be taken into account for the formalization of the criteria laid down in the logic of the functioning of the expert system. System analysis of implementation of instrumental method of navigation was applied. General scheme of stages of improvement of the efficient operation of

waterborne transport was developed. Informal procedures are widely used in system analysis: combination of formal and informal methods of analysis and synthesis. Review and analysis of literary sources on the research topic was carried out. The main directions of research on this issue were analyzed. Ways to address some of issues of improving the efficiency of the processes of operation of navigation electronic mapping tools not disclosed in full were substantiated. Dissertation roadmap has been developed with the definition of mechanisms for its implementation.

The methodology and the main stages of system optimization of the structure of instrumental navigation method were stated and substantiated. Navigation parameters for watercraft stabilization task and functional stability of the system were determined. Watercraft stabilization task, the process of measuring the deviation from the reference program line were considered on program trajectories displayed on SENC. Mathematical calculations were given for determining the position of any point on the watercraft by two points with known positions. A model of two-channel stabilization mode for obtaining navigation parameters based on Inland ECDIS was proposed. The method of implementation of computational intelligence using a detailed array of depths in electronic mapping systems for rivers was applied. The method of expansion of functionality of Inland ECDIS due to mutual functioning with Inland radar was proved. An algorithm was determined for automated determination of boundary values of watercraft navigation parameters by using possible options for the position of the relative motion line in SENC, and mathematical model of the point location along the trajectory in different orthogonal coordinate systems.

A criterion method was justified for assessing the solution of tasks of context-oriented intellectual processing of navigation data flow, where each individual alternative was evaluated by a specific number (criterion, target function). Requirements to context management were formulated. In contrast to the traditional use of fuzzy logic, a hybrid approach was used, in which different actively interacting computational models function in different parts of system. A game

matrix was constructed for the choice of an optimal strategy on the basis of the developed list of information situations related to the uncertainty of the environment. A model of decision-making under multi-criteria, based on overall effectiveness criteria was proposed. The Normalization method was applied to solve this problem; weight method and convolution method. The stages of building of a hybrid neuro-fuzzy model with the identification of the system of priorities of the subject were determined. Neuronal activation functions were applied. Architecture of artificial neural network of instrumental navigation method was constructed. A model of neuro-fuzzy expert system in the structure of logical conclusions of Inland ECDIS operator was proposed. The task of placing external entity object for obtaining optimal flow of navigation data was solved.

The program of experimental studies and the ways of a priori estimation of the proposed technology were determined. Performance indicators and formulas were selected. The method of experimental studies in the form of 12 tests was determined. Obtained results of experimental studies confirm the effectiveness of the proposed methods of efficient waterborne transport operation. Thus, the proposed methods contribute to improving accuracy of navigation parameters by 10 %; reducing the time for decision making on ensuring the safety of navigation by the captain's shift assistant by 10 times; improving efficiency of navigation watch keeping by 30 %; increasing the probability of safe navigation to 0.97.

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

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

- for the first time, a model of context-oriented intelligent processing of navigation data streams is proposed, which, unlike the existing ones, provides processing of automated data in an electronic chart system for solving operational navigation problems;
- an advanced, method of automated determination of limit values of navigational parameters when a vessel is moving along the fairway, which allows, unlike the existing ones, to use the integration of vector electronic chart data and external sensors;
- has been further developed, method of using neural networks by solving the procedure of calculating the reverse error propagation, which allows, unlike the existing ones, to increase the accuracy of navigation parameters due to the training of the neural network.

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

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

service of Ukraine" (certificate of implementation as of 14.05.2019), aboard the ship "Vectis Isle " (the implementation act as of 25.03.2019).

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

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

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

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

3. Алейніков, М. В. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.

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

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

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

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

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

The publications which certify approbation of materials of dissertation.

9. Aleynikov, M. V. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179.

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

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

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

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

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

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

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

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

17. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження *e*-навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алєйніков, М. В. Алєйніков, В. В. Доронін, О.М. Сп'ян ; заявник Державний

університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № у 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

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

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

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

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

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

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