

Міністерство освіти і науки України
Державний університет інфраструктури та технологій

Алейніков Владислав Михайлович

АНОТАЦІЯ

до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за темою
«Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом
використання деталізованого масиву глибин в річкових
електронно-картографічних системах»

Спеціальність 271 – Річковий та морський транспорт

Київ — 2020

АНОТАЦІЯ

Алейніков В. М. Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах. – 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 автоматизації річковий електронно-картографічної системи щодо відображення фактичних глибин на системній електронній карті шляхом розробки нових методів, що дозволяють автоматизувати вибір безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна, що маневрує.

Найбільш важливою проблемою сучасної ефективної експлуатації водного транспорту є питання безпеки судноплавства. 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). В якості головної відмінної особливості ВВШ від морських водних шляхів необхідно виділити нестабільність глибин, русел річок і характеристик водних потоків. Це, безумовно, вимагає реалізації обчислювального інтелекту для автоматизації нанесення фактичних глибин на електронні карти для підвищення ефективності експлуатації ВТЗ.

На базі огляду літературних джерел відзначено, що публікації, пов'язані з проблемами автоматизованого оновлення відображуваного масиву глибин у SENC при експлуатації 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 водного транспорту за допомогою додаткових методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS, а також вибору безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна, що маневрує, та охорони навколишнього середовища.

Обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці способу автоматизації роботи функціональних підсистем з підвищеним рівнем безпеки руху на прогнозно-планових маршрутах електронно-картографічної інтелектуалізації 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 водного транспорту на річці Дніпро, а предметом дослідження є методи що визначають структуру і обробку даних у електронно-картографічних засобах річкового судноводіння.

Розглянута методологічна структура дисертації і приведені її методологічне забезпечення. Проведено вибір теми дослідження і визначені її основні напрями. Викладені мета дисертаційного дослідження і його наукова задача, яка представлена незалежними складовими задачами. Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження, причому показано, що при вирішенні незалежних складових задач 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 мережі

автоматизованої передачі поправок до глибин, позначених у SENC, оцінювалася шляхом виконання апріорної оцінки та імітаційного комп'ютерного моделювання з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації пропонованої технології до етапу експлуатації. Для здійснення апріорної оцінки застосовані методи математичного моделювання.

В основній частині роботи приведено характеристику сучасного стану розвитку навігаційної техніки, який характеризується появою на річкових суднах значної кількості засобів електронно-картографічної інтелектуалізації нового покоління, яким властиві покращені технічні та експлуатаційні характеристики. З процесу судноводіння виділена процедура зображення фактичних глибин на екрані монітора. Визначені шляхи отримання достовірної навігаційної інформації для ефективного використання електронно-картографічних засобів при несенні навігаційної вахти. Формалізовані внутрішні та зовнішні зв'язки при експлуатації Inland ECDIS у вигляді єдиної структурної моделі. Застосований системний аналіз щодо використання деталізованого масиву глибин. Здійснено генерування множини альтернатив при системному аналізі проблеми з використанням методу сценаріїв і моделі «чорного ящика». У зв'язку зі значною кількістю альтернатив проведена їх попередня і перспективна класифікація. Обґрунтована можливість використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів базової версії програмного продукту Inland ECDIS, заснованого на «нечіткій» логіці. Визначені формалізовані завдання, вирішення яких необхідне для максимізації тестового покриття при автоматизованому тестуванні Inland ECDIS. Показані основні етапи і розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин, що включає взаємодію системи елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання з використанням математичної моделі у вигляді неорієнтованого графа.

Визначені основні етапи системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин, що мають найбільш специфічний характер. Особливостями викладеної методології є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості,

підвищення частки формальних прийомів, які неминучі при використанні принципів системного підходу. Для зняття невизначеності безпечних областей навігації внаслідок впливу факторів навколишнього середовища здійснено геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації. Відображення реальної ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин при русі судна у n - мірному просторі описано у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь з визначенням математичних прийомів для їх вирішення.

Здійснена інтелектуальна обробка потоку даних від водомірних постів за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна. Отриманий повний математичний вираз для автоматизованого надходження диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені у SENC. Розроблений сценарій захоплення в Inland ECDIS потоку даних від водомірних постів і автоматизованого введення поправок до вимірних глибин із застосуванням оптимальних варіантів визначення координат рухомого об'єкта у зоні функціональної здійсненності. При використанні різних аспектів, які базуються на деякій сукупності проблемних областей, застосовані критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від водомірних постів.

Для вирішення складного завдання використані гібридні нечіткі нейронні мережі із застосуванням функцій активації нейронів. Таким чином вдалося розв'язати процедуру класифікації вхідних сигналів, зростання або зменшення значень диференційних поправок до глибин, розпізнання навігаційної інформації, що надходить. Вирішення завдання класифікації полягало в розбитті сигналів на динамічні класи і в подальшому виборі координат прототипів. Мірою близькості двох векторів обрана евклідова відстань. Для класифікації використана мережа Кохонена, яка самонавчається без вчителя на основі самоорганізації. При навчанні застосованих нейронних мереж використаний метод обчислення зворотного поширення помилки. Обчислення вихідного вектора зведено до матричного множення. Одним з найважливіших етапів підвищення точності даних, що надходять до Inland ECDIS, є розробка інтелектуальної експертної нейронної мережі, що заснована на прецедентах. Це дозволяє в результаті

навчання формувати базу знань експертної системи за правилами, представленими у формі нечітких висновків. Таким чином вирішена задача вибору гнучкої нечітко-нейронної моделі представлення знань.

Запропоновані структурні та диференціальні символні перетворення об'єктів зовнішнього середовища у системі відображення фактичних глибин на електронній карті. Вирішена задача розміщення водомірних постів з математичним розрахунком межі їх дії.

Визначені програма експериментальних досліджень і шляхи виконання апріорної оцінки запропонованої технології. Програма досліджень базується на запропонованих методах ефективної обробки потоку навігаційних даних в умовах річкової е-навігації. Обрані показники та формули ефективності. На підставі аналізу навігаційно-гідрографічної інформації та картографічного забезпечення судноплавства на р. Дніпро розроблений модульний принцип формування типових ділянок, де в якості модулів обрані відповідні зони зображення Inland ENC. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 9 тестів.

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів ефективного використання водного транспорту. Так, запропоновані методи дозволяють підвищити точність навігаційних параметрів (поправок до глибин) на 10 %; скоротити час для прийняття рішення щодо забезпечення безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити ефективність несення навігаційної вахти в частині скорочення часу на виконання завдання з визначення безпечних глибин на фарватері на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

- вперше запропонована модель оптимізації структури відображення фактичних глибин на SENC, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією процедур (методів) системного та ситуаційного аналізу, в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння;
- вперше отримана математична модель автоматизованого визначення диференціальних поправок до глибин, які позначені на SENC, яка дозволяє, на

відміну від існуючих, забезпечити відображення фактичних глибин на SENC для розв'язання оперативних задач навігації згідно з точнісними критеріями судноплавства;

– удосконалено метод забезпечення функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин на SENC, що дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити своєчасне виявлення мережових аномалій у системі;

– набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури класифікації вхідних сигналів і обчислення зворотного поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність визначення фактичних глибин на SENC.

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 комп'ютерні системи з ЕК» (акт від 05.02.2019). 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 14.03.2019). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені: в судноплавній компанії «Південне річкове пароплавство» (акт впровадження від 12.09.2018), в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» (акт впровадження від 07.03.2019), в ДУ «Держгідрографія» (акт впровадження від 26.02.2019), на борту суден «Vectis Isle» (акт впровадження від 15.11.2018) і судна «Wilson Gaeta» (акт впровадження від 10.07.2019).

Ключові слова: водний транспорт, безпека судноплавства, Inland ECDIS, фактичні глибини, водомірний пост, нейронна мережа, експертна система, апріорна оцінка.

Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:

1. Алейніков, В. М. 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.
2. Алейніков, В. М. 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.
3. Aleynikov, V., Panin, V., Doronin, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of Ukraine. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 2 (45), 125-134 (**Web of Science**).
4. Алейніков, В. М. 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.
5. Алейніков, В. М. 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.
6. Алейніков, В. М. Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової е-навігації / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян // Вісник Одес. нац. морського університету. — 2018. — № 3 (56). — С. 175-196.

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

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Алейніков, В. М. Актуальні проблеми експлуатації Inland ECDIS на ВВШ України / В. М. Алейніков // 18-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 24-28 березня 2014 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту, 2014.— С. 81-82.

9. Алейніков, В. М. Актуальні питання перспективного розвитку електронно-картографічних систем на акваторії річки Дніпро / В. М. Алейніков // 20-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 29-31 березня 2016 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2016.— С. 122-123.

10. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков // 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.

11. Алейніков, В. М. Метод отримання диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на системній електронній карті / Алейніков В. М. // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Держ. ун-т інфрастр. і технол, 2018.— С. 41-44.

12. Алейніков, В. М. Геометричне моделювання нелінійних задач навігації з врахуванням впливу деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій» : матеріали наук.-техн. конф., 14-15 листопада 2017 р., м. Полтава / М-во освіти і науки України, Полтав. нац. техн. ун-т.— Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 52 – 53.

13. Методи прийняття рішень в умовах невизначеності на акваторіях судноводіння / В. М. Алейніков, Г. Л. Баранов, В. В. Доронін // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI '2016), 24-28 травня 2016 р., м. Херсон.— Херсон: Видав. ПП Вишемирський В. С., 2016. — С. 31 – 32.
14. Aleynikov, V. M. (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.
15. 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.

Матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації

16. Патент UA 142156, МПК H04B 10/40 (2013.01) 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 3335 від 03.04.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10, 2020 р.
17. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження е-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 139453 U, МПК G01C 21/28 (2006.01) Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової е-навігації / Алейніков В. М., Алейніков М. В., Доронін В. В., Спіян О. М.; заявник Державний університет інфраструктури та технологій — № u201905627; заяв. 24.05.2019; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1, 2020 р.
19. Алейніков, В. М. 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, В. М. 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, В. М. 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, В. М. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки магістра / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян // Право автора на твір № 3918 від 05.06.2018; авторський договір № 38-18С-НС від 16.04.2018.
23. Алейніков, В. М. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра / Алейніков В.М., Доронін В. В., Спіян О. М. // Право автора на твір № 3919 від 05.06.2018; авт. дог. № 39-18С-НС від 16.04.2018.

ABSTRACT

Aleynikov V. M. Raising of efficiency of waterborne transport operation by using a detailed array of depths in electronic mapping systems for rivers. – Qualifying scientific work as a manuscript. Thesis for Ph.D. in the specialty 271 – Inland water and sea transport. – The State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the automation of the river electronic cartographic system for displaying the actual depths on the system electronic chart by developing new methods that allow to automate the choice of a safe path with observance of the safety requirements of the manoeuvring vessel.

The most important problem of modern efficient operation of waterborne transport is the safety of navigation. 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 manoeuvring space (rivers, port areas, coastal navigation). As the main distinctive features of inland water ways (IWW) as compared with sea waterways it should be necessary to highlight the instability of the depths of river channels and water flow characteristics. This, of course, requires the implementation of computational intelligence for automation of applying actual depths on electronic maps, in order to improve the efficiency of waterborne craft (WBC) operation.

According to literature data, it shall be noted that the publications associated with the problems of automated updating of displayed array of depths in the SENC when using 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 was the improvement and development of efficient methods of operation of waterborne transport with the help of additional methods of implementation of computational intelligence when using a detailed array of depths in Inland ECDIS, as well as the choice of a safe way in compliance with the requirements of safety of manoeuvring vessel's movement, and environmental protection.

The main direction of thesis research devoted to the development of method of automation of functional subsystems with an increased level of traffic safety on forecast-planned routes of electronic cartographic intellectualization in various emergency conditions was substantiated. 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 transport on the Dnieper River, and the subject of the study are methods that determine the structure and processing of data in electronic-cartographic means of river navigation.

The methodological structure of the thesis is considered, 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 efficiency of the network of automated correction transmission to the depths included in SENC was evaluated by performing a priori estimation and computer generated simulation in order to determine the expected efficiency and feasibility of the proposed technology before the operation stage. Mathematical modeling techniques were applied for a priori estimation.

The main part of the thesis presents the characteristics of the current state of navigation technology, which is characterized by a significant number of means of electronic cartographic intellectualization of new generation used on river craft, characterized by improved technical and operational characteristics. The procedure for displaying the actual depths was separated from the navigation process. The ways of acquisition of reliable navigation information for the effective use of electronic cartographic means during the navigation watch were determined. Internal and external links while operating Inland ECDIS were formalized as a single structural model. System analysis was applied to the detailed array of depths. A set of alternatives was

generated in the system analysis of the problem by using the scenario method and the black box model. Due to the large number of alternatives, their preliminary and prospective classification was carried out. The possibility of using computational intelligence in detecting defects in the basic version of Inland ECDIS software based on "fuzzy" logic was proved. Formalized problems the solution of which is necessary for maximizing test coverings at automated testing of Inland ECDIS were defined. The main stages were shown, and the algorithm was developed for implementing systems for automatic display of actual depths functional stability including interaction of coastal infrastructure element system and vessel navigation equipment with the use of mathematical model in the form of undirected graph.

The main stages of system optimization of structure, and strategy for using the detailed array of the most specific depths were determined. The peculiarities of the presented methodology are overcoming the multi-criteria optimization problems, determining their volume and quality, increasing the share of formal techniques that are inevitable when using the principles of comprehensive approach. In order to control uncertainties of safe navigation areas due to environmental factors, geometric simulation of functional nonlinear navigation problems was carried out. Mapping of real situational dynamics of the use of a detailed depth bank when moving the vessel in n -dimensional space was described as differential-integral equations with the definition of mathematical devices for their solution.

Intelligent processing of data flow obtained from water stage gauges, according to character-expressed Laplace transforms, when moving the vessel. A complete mathematical expression was obtained for automated receipt of differential corrections for measured depths indicated in SENC. A script of data flow pinning in Inland ECDIS from water stage gauges, and automated entering of corrections for measured depths with the use of the best options for determining the movable object coordinates in the area of functional feasibility. When using various aspects based on a certain set of problem areas, the criteria of intelligent processing of navigation data flows obtained from water stage gauges were applied.

Hybrid fuzzy neural networks with activation function in neural networks were used for solving intricate problems. Thus, we managed to solve the procedure for input signal classification, increase or decrease in the values of differential corrections for depths, recognition of processing navigation information. Classification problem solving was to divide the signals into dynamic classes, and then select the coordinates of prototypes. Euclidean distance was chosen as proximity measure for two vectors. Kohonen network was used for classification as a self-organized map which is trained using unsupervised learning. When training applied neural networks, the backpropagation method was used. Calculation of output vector was reduced to matrix multiplication. One of the most important stages of improving the accuracy of data obtained by Inland ECDIS is the development of intelligent expert precedent-based neural network. This allows to form a knowledge base of expert system according to training results, by the rules presented in the form of fuzzy conclusions. Thus, the problem of choosing a flexible fuzzy-neural knowledge representation model was solved.

Structural and differential character transforms of external environment objects through the actual depth display system on electronic maps were proposed. The problem of placing water stage gauges with mathematical calculation of the limits of their action was solved.

The program of experimental studies and the ways of a priori estimation of the proposed technology were determined. The study program is based on the proposed methods of effective processing of navigation data flow under the conditions of inland water *e*-navigation. Performance indicators and formulas were selected. According to the analysis of navigation and hydrographic information and cartographic support of navigation on the Dnieper river, modular principle of formation of standard sites was developed, with the selection of corresponding Inland ENC display zones as modules. The method of experimental studies in the form of 9 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 (corrections for

depths) 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 in terms of the reduction of time for the performance of the task of determining the safe navigable depths 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, a model for optimizing the structure of actual depth on the SENC, which differs from the previously known integration (methods) of systematic and situational analysis procedures in different emergency river navigation;
- for the first time, a mathematical model has been obtained for the automated determination of differential corrections to depths indicated on the SENC, which allows, unlike the existing ones, to provide a reflection of the actual depths on the SENC for solving operational navigation problems in accordance with accurate navigation criteria
- advanced method of provision functional stability of the system of automatic display of actual depths on the SENC, which allows, unlike the existing ones, to ensure timely detection of network anomalies in the system;
- the method of using neural networks has been further developed by solving the procedure of classifying the input signals and calculating the back propagation of the error, which allows, unlike the existing ones, to increase the accuracy of determining the actual depths on the SENC.

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 computer-based systems with EC" (the act as of 05.02.2019). 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 26.12.2018), 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 14.03.2019). Application results of thesis research are introduced in the following institutions: shipping company "South river shipping company" (certificate of implementation as of 12.09.2018), River information service of the branch "DELTA-PILOT" (the implementation act as of 07.03.2019), the state directorate "State hydrographic service of Ukraine" (certificate of implementation as of 26.02.2019), aboard the ships "Vectis Isle" (the implementation act as of 15.11.2018) and "Wilson Gaeta" (the implementation act as of 10.07.2019).

Keywords: waterborne transport, safety of navigation, Inland ECDIS, actual depths, water stage gauge, neural network, expert system, a priori estimation.

Scientific papers in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Aleynikov V. M. Using computational intelligence when detecting functional defects in the basic version of the ECDIS software product / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Water transport. Collection of research papers. — 2016. — No. 2 (25). — P. 54 – 63.
2. Aleynikov V. M. Application of criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Advanced technologies. Collection of research papers. — 2019. — No. 1 (8). — P. 21-29.
3. Aleynikov, V., Panin, V., Doronin, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of Ukraine. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 2 (45), 125-134 (**Web of Science**).
4. Aleynikov V. M. Methods of implementing computational intelligence using a detailed array of depths in river electronic cartographic systems / V. M. Aleynikov, M.

V. Aleynikov, V. V. Doronin // Bulletin of the Odessa National Maritime University. - 2018. — No. 1 (54). — P. 158-181.

5. Aleynikov V. M. Context-oriented approach in intelligent processing of data streams from water gauge posts during vessel movement. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy. Scientific journal. — 2017. — No. 2 (17). — P. 27-35.

6. Aleynikov V. M. Structural transformations of environmental objects in the conditions of river *e*-Navigation / V. M. Aleynikov V. V. Doronin, O. M. Spiyan // Bulletin of the Odessa National Maritime University. — 2018. — No. 3 (56). — P. 175-196.

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

Scientific papers certifying the approbation of dissertation materials:

8. Aleynikov V. M. Actual problems of operation of Inland ECDIS on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov // 18th scientific and methodological conference of teachers, postgraduates and students: materials of the scientific and methodological conference, March 24-28, 2014, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv State Maritime Academy. — Kyiv : 2014.— P. 81-82.

9. Aleynikov V. M. Current issues of perspective development of electronic cartographic systems in the water area of the Dnipro river / V. M. Aleynikov // 20th scientific and methodological conference of teachers, postgraduates and students: materials of the scientific and methodological conference, March 29-31, 2016, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv State Maritime Academy. — Kyiv: Kyiv State Maritime Academy, 2016.— P. 122-123.

10. Aleynikov V. M. Application of criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov // 21st scientific and methodological conference of teachers, postgraduates and students: materials of the scientific and methodological conference, March 27-29, 2017, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv State Maritime Academy. — Київ : Kyiv State Maritime Academy, 2017.— P. 117-120.
11. Aleynikov V. M. Method for obtaining differential corrections to the measured depths, which are indicated on the system electronic map / Aleynikov V. M. // Scientific and methodological conference: materials of the scientific and methodological conference, March 26-29, 2018, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, State University of Infrastructure and Technology, 2018. — P. 41-44.
12. Aleynikov V. M. Geometric modeling of nonlinear navigation problems taking into account the influence of a detailed array of depths in electronic cartographic systems / V. M. Aleynikov // First All-Ukrainian scientific and technical conference "Problems of Infocommunications": materials of the scientific and technical conference, November 14-15, 2017, Poltava / Ministry of Education and Science of Ukraine, Poltava National Technical University.— Poltava: NCO Military College of the Military Institute of Telecommunications and Informatization, 2017. — P. 52 – 53.
13. Methods of decision-making in the conditions of uncertainty in the water areas of navigation / V. M. Aleynikov, H. L. Baranov, V. V. Doronin // International scientific conference "Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI' 2016)", May 24-28, 2016, Kherson. — Kherson: Publisher: PP Vyshemirsky V. S., 2016. — P. 31 – 32.
14. Aleynikov, V. M. (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.

15. Multi-criteria model of navigation data processing in river electronic cartographic systems / V.M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // International scientific conference "Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence" (ISDMCI' 2016), May 21-27, 2018, Kherson. — Kherson: Publisher: PP Vyshemirsky V. S., 2018. – P. 152 – 154.

Scientific papers that additionally reflect the scientific results of the dissertation

16. Patent UA 142156, MIIK H04B 10/40 (2013.01). A method for using a detailed array of depths in n -dimensional space when a ship is moving / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin, O. M. Spiyan; applicant State University of Infrastructure and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine. — Application No. u 2019 03335 dated 03.04.2019; published 25.05 in 2020, Bull No. 10, 2020.

17. Patent UA, Class, G01C 21/28 series. The method of system analysis of the introduction of e -navigation on inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin, O. M. Spiyan; applicant State University of Infrastructure and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine. — Application No. u 2019 03967 dated 16.04.2019; published in 2020, Bull. 2020.

18. Patent UA 139453 U, IPC G01C 21/28 (2006.01) Method for intelligent processing of navigation data flows in river e-navigation / Aleynikov V. M., Aleynikov M. V., Doronin V. V., Spiyan O. M.; applicant State University of Infrastructure and Technology - No. u201905627; Application dated 24.05.2019; published on 10.01.2020, Bull. No. 1, 2020.

19. Aleynikov V. M. Using computational intelligence when detecting functional defects in the basic version of the ECDIS software product / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Author's right to work No. 3920 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 35-18C-HC dated 13.04.2018.

20. Aleynikov V. M. Context-oriented approach in intelligent processing of data streams from water gauge posts during vessel movement. M. Aleynikov, M. V.

Aleynikov, V. V. Doronin // Author's right to work No. 3917 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 36-18C-HC dated 13.04.2018.

21. Aleynikov V. M. Application of criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Author's right to work No. 3921 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 37-18C-HC dated 13.04.2018.

22. Aleynikov V. M. Collection of tasks for laboratory work. Educational and professional program for Master's training / V. M. Aleynikov V. V. Doronin, O. M. Spiyan // Author's right to work No. 3918 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 38-18C-HC dated 16.04.2018.

23. Aleynikov V. M. Collection of tasks for laboratory work. Educational and professional program for Bachelor's training / Aleynikov V.M., Doronin V. V., Spiyan O. M. // Author's right to work No. 3919 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 39-18C-HC dated 16.04.2018.