Національний університет «Одеська морська академія» Міністерство науки і освіти України

> Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Капочкіна Маргарита Борисівна

УДК 629: 556: 527:551

ДИСЕРТАЦІЯ

ГІДРОДИНАМІЧНЕ ТА ФІЗИКО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЯК СКЛАДОВА ГІДРОГРАФІЧНОГО ТА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФЛОТУ

Спеціальність 05.22.13. – навігація та управління рухом

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

М.Б.Капочкіна

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

Одеса - 2021

АНОТАЦІЯ

Капочкіна М.Б. Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту.– 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.

Навігаційне та гідрометеорологічне забезпечення мореплавства, у тому числі, вирішують оперативні завдання управління судном в умовах наявності навігаційних перешкод та в складних гідрометеорологічних умовах. Зазвичай це виконується шляхом створення в морській зоні відповідальності країни геоінформаційних систем з інформаційними шарами про небезпечні глибини, про райони, що тимчасово закриті для судноплавства, про тимчасові навігаційні перешкоди, до яких відносять висоту та довжину хвиль, швидкість та напрям приводного вітру, течії, міни тощо. В інтересах ВМС ЗС України виникає необхідність створення інформаційних шарів про мінну загрозу, підводно-диверсійну загрозу, які базуються, у тому числі, на фізичних полях корабля і, у першу чергу, на гідроакустичному та гідродинамічному полях. У певній мірі це співпадає з завданнями, які вирішує оперативна океанографія, тобто вирішується проблема оперативного моніторингу акваторій шляхом вимірювань (емпіричними методами) та переходу від конкретного (виміряного) до загального розуміння ситуації. Теоретичні методи (від загального уявлення про явище до конкретного значення певної характеристики) в умовах оперативного навігаційного забезпечення мореплавства застосовуються не дуже часто, а в гідрометеорологічному забезпеченні реалізуються виключно при прогнозуванні погодних умов. Результати математичного моделювання,

зазвичай, аналізуються без отримання кількісних оцінок.

Загальної концепції впровадження методів математичного моделювання в геоінформаційні системи навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства досі не існує.

Тому на першому етапі є актуальним на конкретних прикладах продемонструвати можливості математичного моделювання у напрямку гідрометеорологічного і, особливо, навігаційно-гідрографічного забезпечення мореплавства, як складової системи забезпечення безпеки мореплавства, шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна, та на базі отриманого досвіду розширювати перелік задач, які практично вирішуються методами математичного моделювання.

У дисертаційній роботі отримано такі наукові результати:

- вперше запропоновано алгоритм підвищення точності позиціонування суден (розрахунок систематичної похибки визначення орбітальних характеристик геодезичних супутників відносно центру геоцентричної системи WGS-84), що має як фундаментальне теоретичне значення, так і може бути базою для подальшого вдосконалення (зменшення похибки) методів супутникової геодезії з метою забезпечення безпеки мореплавства, шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна, що відрізняється відсутністю відомостей в існуючій науковій літературі;

- вперше запропоновано алгоритм обчислення статистичними методами результатів математичного моделювання розповсюдження гідроакустичної (встановлена можливість хвилі за променевою теорією існування періодичного у просторі проявлення зон акустичної тіні); на практиці це дозволяє більш ефективно використовувати корабельні сонари, що дає можливість забезпечити безпеку мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна. В інтересах ВМС ЗС України це дозволить на більш високому рівні виконувати тактичні прийоми маневрування з урахуванням даних розрахунку акустичних полів самого

корабля та акустичних полів гідроакустичних станцій;

- удосконалено алгоритми статистичних обрахунків результатів математичного моделювання гідродинамічного поля судна, яке генерує корабельні хвилі, що впливають на швидкість руху судна; розроблене методичне підґрунтя визначення критичної швидкості руху судна, при збільшенні якої, за рахунок трансформації корабельних хвиль, відбувається перехід з економного на неекономний режим руху, за якого збільшення потужності не приводить до відповідного збільшення швидкості, що зменшує маневреність судна;

- удосконалено алгоритми статистичних обрахунків результатів математичного моделювання акустичного поля судна; створене методичне підгрунтя визначення залежної від швидкості ДЛЯ руху судна довгохвильової складової акустичного поля судна, яке формується підводною частиною корпусу, ЩО дозволяє забезпечити безпеку мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна в умовах мінної загрози;

 отримано подальший розвиток алгоритму статистичного обчислення результатів математичного гідродинамічного моделювання гідродинамічного поля судна, яке раптово може змінювати швидкість його руху, що дозволяє забезпечити безпеку мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судном;

- отримали подальший розвиток алгоритми статистичного обчислення результатів математичного гідродинамічного моделювання дрейфових течій на прикладі акваторії Одеського торгівельного порту. Тобто виконано тестовий розрахунок вертикального розподілу швидкості та напрямку течій в акваторії Одеського торгівельного порту. За умов нагонного вітру в акваторії порту виникають дрейфові (поверхневі) та компенсаційні (придонні) течії. За таких умов дрейф суден з різною осадкою відбуватиметься у різних напрямках. У зв'язку з тим, що течії і зміни їх напрямку та швидкості з глибиною складають суттєву навігаційну загрозу, впливаючи на ефективність засобів керування судном, пропонується у портах та узкостях доповнити існуючу геоінформтивну систему інформаційним шаром 3D течій;

- отримали подальший розвиток алгоритми статистичного обчислення результатів математичного гідродинамічного моделювання процесів формування на морському дні тимчасових навігаційних перешкод типу барів та банок.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що їх застосування дозволяє підвищити якість аналізу поточної навігаційногідрографіч ної та гідрометеорологічної інформації, і таким чином забезпечується більш ефективне маневрування та керування рухом судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені в освітній кафедрі «Морські технології» Національного процес на Університету «Одеська Морська Академія» (акт від 29.01.2021), компанією «DPS – MARINEX LLC» використані для підготовки документів стосовно розслідування причин пошкодження контейнерного терміналу Одеського торгівельного порту під час потужного шторму (акт від 11.02.2021), компанією «ФЕРРІ-ПЛЮС» використані для підготовки документів стосовно забезпечення безпеки доставки вантажів морським транспортом (акт від 01.02.2021), компанією «IDM-KIT» - для підвищення безпеки швартування до причалу та проходження вузкостей з застосуванням лоцманської проводки (акт від 09.02.2021).

керування рухом маневреність Ключові слова: судна, судна, гідродинамічне фізико-статистичне математичне моделювання, навігаційно-гідрографічне гідрометеорологічне моделювання, та забезпечення, гідроакустичне поле судна, гідродинамічне поле судна, похибки супутникової геодезичної системи позиціонування.

Основні наукові результати дисертації:

1. Гладких І.І. Перспективи розвитку оперативної океанографії в Україні / Гладких І.І., Симоненков С.В., Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г., Чеча О.П. // Одеса: Астропринт, 2017 – 116 с. (альтиметричні вимірювання форми геоїду)

2. Kucherenko N. Regularities transformation coastal and accumulative form sea bottom relief for water management / Kucherenko N., Kapochkin B., Kapochkina M. // Meteorology Hydrology and Water Management / Poland, 2015, - С. 43-48 (створення алгоритму і результати літодинамічного моделювання).

3. Гладких I.I. Фізико-статистичне моделювання гідродинамічного поля корабля на базі гідродинамічних розрахунків / Гладких I.I., Капочкіна М.Б. // вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», №9 (1285) 2018, - С. 98 – 106 (створення алгоритму і результати моделювання гідродинамічного поля корабля).

4. Гладких І.І. Фізичні принципи створення гідроакустичних перешкод струменевими виходами газу з морського дна / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», №9 (1285) 2018, - С. 90 – 97. (алгоритм оцінки дальності дії гідролокатору).

5. Капочкина М.Б. Гидродинамическое моделирование принудительной конвекции в Черном море в районе Новороссийска / Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // «ScienceRise» №4/2(9)2015 НВП ПП «Технологічний центр», Т.300, - С. 36-40 (результати гідродинамічного моделювання).

6. Капочкина М.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, том №2 (37) / Київ 2015, - С.162-165 (створення підгрунтя для літодинамічного моделювання).

7. Гладких І.І. Вплив аномальних властивостей води на гідроакустичні технології / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Вісник Національного технічного університетум» Харківський політехнічний інститут». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» № 7 (1229) 2017, - С. 164-172 (створення алгоритму моделювання дальності дії гідролокатору).

8. Капочкина А.Б. Результаты Красноморских экспедиций кафедры океанологии ОГЭКУ / Капочкина А.Б., Малышев А.И., Капочкина М.Б. // Системы контроля окружающей среды: сборник научных трудов МГИ НАНУ – 2009. – Вып. 12. –С. 414-417 (створення підгрунтя для літодинамічного моделювання).

9. Михайлов В.И. Долгосрочное прогнозирование оползневой опасности в прибрежной зоне морей / Михайлов В.И., Капочкина М.Б., Кучеренко Н.В. // Научно-технический журнал «Системы контроля окружающей среды», Выпуск 16, 2011- С. 312-314 (створення підгрунтя для літодинамічного моделювання).

10. Гладких И.И. Исследование Эйлеровской свободной нутации Земли / Гладких И.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // «ScienceRise» № 6 / 2 (11) 2015 НВП ПП «Технологічний центр», Т.300, - С. 15-18 (створення алгоритму і моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

11. Гладких И.И. Современный уровень технологий, использующих гидроакустические методы для обеспечения навигации и морских поисковоспасательных работ / Гладких И.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Первый независимый научный вестник «технические науки» / № 1 / 2015, Т. 2000, -С. 47-54 (створення алгоритму і результати моделювання акустичного поля).

12. Гладких И.И. Перспективы технологий, использующих гидроакустические методы, для обеспечения навигации и морских поисково-спасательных работ / Гладких И.И., Кучеренко Н.В., Капочкина

М.Б., Зорин В.Ю. // «Первый независимый научный вестник (технические науки) №2/2015» / Т. 2000, - С. 60-66 (створення алгоритму і результати моделювання акустичного поля).

13. Гладких И.И. Влияние подводных газовых струй на достоверность результатов морских гидроакустических измерений / Гладких И.И., Кучеренко Н.В., Зорин В.Ю., Капочкина М.Б. // Перший незалежний науковий вісник «технічні науки» №8/2016, Т. 2000, м. Київ - С. 72-81 (створення алгоритму моделювання дальності дії гідролокатору).

14. Капочкіна М.Б. Гідродинамічне моделювання, як складова моніторингу гідрооптичних характеристик морського середовища / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса) / №1(3) (технічні науки), С. 49-54 (створення алгоритму пошуку підводних цілей).

15. Гладких И.И. Концептуальные положения мониторинга подводной обстановки морской акватории Азово-Черноморского региона / Гладких И.И., Михайлов В.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Первый независимый научный вестник (технические науки) №3/2015, Т 2000, - С. 88-94 (створення алгоритму пошуку підводних цілей).

16. Гладких І.І. Причини виникнення підводного звукового каналу / Гладких І.І., Н.В. Кучеренко, М.Б. Капочкіна, І.Ф. Нізамутдінов // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил Укаїни «Державний океанаріум» № 1 (2) - Одеса: Фенікс, 2018. - С.194 – 206. (створення алгоритму пошуку підводних цілей).

17. Кучеренко Н.В. Проблеми зв'язку, позиціонування та керування загоном протипідводно-диверсійних сил / Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Соколовський Р.В. // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил України «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія» № 1 (3) – 2020, Одеса, - С. 71-77 (створення алгоритму пошуку підводних цілей).

Проблемні 18. Кучеренко H.B. питання застосування гідроакустичних засобів гідролокації та пеленгації підводних цілей / Кучеренко Н.В., Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Барган О.Г. // збірник Сил Укаїни праць науково-дослідного центру Збройних наукових «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія» № 1 (3) – 2020, Одеса, - С. 124-131. (створення алгоритму пошуку підводних цілей).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

19. Капочкина М.Б. Математическое моделирование гидродинамического и теплового полей корабля на примере корвета. Постановка задачи / Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи» м. Одеса 10-11 вересня 2015 року. – С. 51 (створення алгоритму і моделювання гідродинамічного поля корабля).

20. Капочкін Б.Б. Вимоги та граничні умови цифрового моделювання гідродинаміки підводної техніки / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 р. Київ. – С. 46 (створення алгоритму i гідродинамічного моделювання та гідроакустичного поля корабля).

21. Капочкина М.Б. Математическое моделирование литодинамических процессов / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б. // Міжнародна наукова конференція молодих учених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення», Одеса 7 – 9 жовтня 2014, – С. 224 - 226 (створення алгоритму і результати літодинамічного моделювання).

22. Капочкін Б.Б. Визначення, шляхом математичного моделювання, гідродинамічного впливу на бонові загородження на прикладі

Одеського порту / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Актуальні проблеми підготовки, застосування Збройних Сил України, управління ними, їх оперативного та матеріально-технічного забезпечення», 27-28 вересня 2016 р. / м. Київ, - С. 279-280 (створення алгоритму і результати моделювання течій в Одеському морському порті).

23. Гладких И.И. Эйлеровская свободная нутация Земли / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Одеса 24-28 серпня 2015; Збірник тез 15-ої української конференції з космічних досліджень / Друкарня Видавничого дому «Академперіодика» 2015, - С. 192 (створення алгоритму і моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

24. Михайлов В.И. Влияние субмаринной разгузки подземных вод на гидрографию морей / Михайлов В.И., Кучеренко Н.В., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря» / Одеса 2011 р.– С. 24-26 (обгрунтування алгоритму літодинамічного моделювання).

25. Капочкин Б.Б. Формирование аккумулятивных форм рельефа морского дна геодинамическими процесами / Капочкин Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря», Одеса, 2012 р. - С. 46-48 (обгрунтування алгоритму літодинамічного моделювання).

26. Михайлов В.И. Изменения уровня Черного моря / Михайлов В.И., Кучеренко Н.В,. Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологія міста та рекреаційних зон», Одеса 2010 р. - С. 34-36 (обґрунтування алгоритму моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

27. Кучеренко Н.В. Трансформация береговой зоны и климатическая аномалия лета 2010 / Кучеренко Н.В., Капочкин Б.Б.,

Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практична конференції «Екологічні проблеми Чорного моря», Одеса 2010. - С. 28-29 (обгрунтування алгоритму літодинамічного моделювання).

28. Кучеренко Н.В. Определение погрешностей измерения уровня Мирового океана / Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б. // Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Актуальные проблемы современной гидрометеорологии» / Одеса 2012., - С. 48 (обгрунтування алгоритму моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

29. Капочкина М.Б. Методические проблемы мониторинга уровня океанов и морей / Капочкина М.Б., Хриненко В.В. // Збірник тез доповідей VIII міжнародної конференції «Молоді науковці – географічній науці» / Київ 2012 р.- С. 42 (обгрунтування алгоритму моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

30. Капочкіна М.Б. Реверсивные геодеформации по данным измерений перманентной геодезической сети / Капочкина М.Б., Куцан В.В. // XI міжнародна міждициплінарна конференція «Шевченківська весна» / Київ 2013 р. С. 24-26 (обгрунтування алгоритму моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

31. Капочкина М.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкина М.Б. // XIV наукова конференція молодих вчених, Одеський державний екологічний університет, Одеса, 22-24 квітня 2014 р.– С. 18-19 (обгрунтування алгоритму літодинамічного моделювання).

32. Капочкин Б.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник наукових праць XV Всеукраїнської (з міжнародною участю) науково - практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці», Київський національний Університет ім. Тараса Шевченка / Київ, 2014, - С. 65 – 67 (обгрунтування алгоритму

літодинамічного моделювання).

33. Кучеренко Н.В. Про доцільність створення географічної інформаційної системи з гідрометеорології, океанології, гідрографії та геофізики для використання її у воєнній сфері / Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи», м. Одеса 10-11 вересня 2015 року. – С. 111 (обрунтування мети дисертаційного дослідження).

34. Капочкина М.Б. Концепция НИЦ мониторинга подводной обстановки морской акватории Азово-Черноморского региона / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б., Зорин В.Ю. // Географічна наука і освіта в Україні, Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції, збірник тез доповідей ЦОП «Глобус», Київ 26-28 листопада 2015, С. 161-162 (обгрунтувавння алгоритму моделювання акустичних полів океану).

35. Капочкіна М.Б. Щодо розробки концепції моніторингу підводної обстановки на шельфах Чорного та Азовського морів України / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 р. - Київ. - С. 46 (обгрунтувавння алгоритму моделювання акустичного поля корабля).

36. Капочкіна М.Б. Перспективи співпраці з країнами НАТО в галузі гідрометеорологічного та гідрографічного забезпечення флоту / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю // VI науково-технічна конференція «проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 - Київ. - С. 47 (обрунтування задач дисертаційного дослідження).

37. Капочкін Б.Б. Використання геоінформаційних систем при оперативному забезпеченні ВМС ЗС України. Проблемні питання / Капочкін Б.Б., Петрушенко І.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та

перспективи», 22-23 вересня 2016. - С. 142., м. Одеса (обрунтування задач дисертаційного дослідження).

38. Петрушенко І.В. Проблемні питання оцінки якості гідрометеорологічних та гідрографічних карт / Петрушенко І.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // XIV міжнародна науково-практична конференція «Шевченківська весна 2016», Київський національний університет ім. Т.Г. Шевченка, м. Київ 6-8 квітня 2016, - С. 54-56 (обрунтування мети дисертаційного дослідження).

39. Капочкіна М.Б. Про доцільність створення підводної мережецентричної системи / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю., Капочкін Б.Б. // Двадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 13-14 квітня 2016 року – С. 51 (обрунтування мети дисертаційного дослідження).

40. Гладких И.И. Концептуальные положення создания системи освещения подводной обстановки в Черном море / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник наукових праць XVII науково-технічної конференції «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку в ГМЗЛБ, в системах радіонавігації, в системах управління рухом суден», 27-28 жовтня 2016, ОНМА м. Одеса, електронне видання (обрунтування мети дисертаційного дослідження), (обрунтування задач дисертаційного дослідження).

41. Михайлов В.І. Проблемні питання та перспективи дистанційних досліджень морського середовища / Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г. // Збірник наукових праць XVII науковотехнічної конференції «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку в ГМЗЛБ, в системах радіонавігації, в системах управління рухом суден», 27-28 жовтня 2016, ОНМА м. Одеса, електронне видання (обрунтування задач дисертаційного дослідження).

42. Капочкіна М. Б. Місце оперативно-тактичного моделювання в сучасній війні / Капочкіна М. Б., Капочкін Б.Б., Соколовський Р.В., Сарай

В.В. // Збірник наукових праць 28 міжнародної науково-пракичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 13-15 травня 2020 - С. 111 – Харків (створення алгоритму оперативно-тактичного моделювання).

43. Капочкін Б. Б. Перспективна система гідрометеорологічного та навігаційно-гідрографічного забезпечення ВМС в об'єднаних операціях / Капочкін Б. Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Міжнародна науковопрактична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 10-11 вересня 2020, м. Одеса. – С. 276 (обрунтування задач дисертаційного дослідження).

44. Гладких І.І. Планування бойових дій в умовах просторово часових змін навігаційних умов в мілководних районах азовського та чорного морів / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Міжнародна науково-практична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 10-11вересня 2020, м. Одеса. – С. 181 (обрунтування задач дисертаційного дослідження).

45. Капочкіна М.Б. Математичне моделювання акустичного поля корабля / Капочкіна М.Б, Гладких І.І., Кучеренко Н.В. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Графічні технології моделювання об'єктів, процесів та явищ», 23-24 квітня 2020 року, м. Одеса. - С. 39 (створення алгоритму і моделювання акустичного поля корабля).

Апробація результатів дисертаційної роботи підтверджена дипломом ІІІ ступеня Всеукраїнського конкурсу МОН України студентських наукових робіт з географічних наук за наукову роботу під шифром: «Бора» за 2012 р.; перемогою на другому турі конкурсу студентських наукових робіт МОН України з географії «Можливості програмного забезпечення FlowVision для вирішення задач літодинаміки»; дипломом учасника Третього туру Всеросійської студентської олімпіади (ВСО) за напрямком «Гідрометеорологія», Санкт-Петербург 2012; дипломом І ступеню VIII міжнародної конференції «Молоді науковці – географічній науці», Київ 2012 р., секція «Картографія і ГІС» за доповідь «Методические проблемы мониторинга уровня океанов и морей»; дипломом II ступеня XI міжнародної міждисциплінарної конференції «Шевченківська весна», Київ 2013 р., секція «Картографія та ГІС» за доповідь «Реверсивные геодеформации по данным измерений перманентной геодезической сети».

ANNOTATION

Kapochkina M. Hydrodynamic and physico-statistical modeling, as a component of hydrographic and hydrometeorological suppor of the fleet - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.22.13 - navigation and traffic management (271-River and sea transport). National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2021.

Navigational and hydrometeorological support of navigation, including, solve operational tasks of vessel management in the conditions of presence of navigation obstacles and in difficult hydrometeorological conditions. This is usually done by creating in the maritime area of responsibility of the country geographic information systems with information layers about dangerous depths, areas temporarily closed to navigation, temporary navigation obstacles, which include the height and length of waves, wind speed and direction, currents, mines etc. In the interests of the Navy of the Armed Forces of Ukraine there is a need to create information layers about the mine threat, submarine threat, which are based, inter alia, on the physical fields of the ship and, above all, on the hydroacoustic and hydrodynamic fields. To some extent, this coincides with the tasks solved by operational oceanography, ie the problem of operational monitoring of waters by measurements (empirical methods) and the transition from a specific (measured) to a general understanding of the situation. Theoretical methods (from a general idea of the phenomenon to the specific value of a certain characteristic) in terms of operational navigation support of navigation are not used very often, and in hydrometeorological support are implemented only when forecasting weather conditions. The results of mathematical modeling are usually

analyzed without obtaining quantitative estimates.

There is still no general concept for the introduction of mathematical modeling methods in geographic information systems of navigation-hydrographic and hydrometeorological support of navigation.

Therefore, at the first stage it is important to demonstrate the possibilities of mathematical modeling in the direction of hydrometeorological and, especially, navigational and hydrographic support of navigation, as part of the safety system, by effectively maneuvering and controlling the movement of the ship, and on the basis of experience which are practically solved by methods of mathematical modeling.

The following scientific results were obtained in the dissertation:

- for the first time an algorithm for improving the positioning accuracy of ships (calculation of systematic error in determining the orbital characteristics of geodetic satellites relative to the center of the geocentric system WGS-84) is proposed, which has both fundamental theoretical significance and can be the basis for further improvement ensuring the safety of navigation, through effective maneuvering and control of the movement of the vessel, characterized by a lack of information in the existing scientific literature;

- for the first time the algorithm of calculation by statistical methods of results of mathematical modeling of propagation of a hydroacoustic wave according to the radiation theory is offered (possibility of existence of periodic in space of display of zones of an acoustic shadow is established); in practice, this allows more efficient use of ship sonar, which makes it possible to ensure the safety of navigation by effectively maneuvering and controlling the movement of the vessel. In the interests of the Navy of the Armed Forces of Ukraine, this will allow at a higher level to perform tactical maneuvering techniques, taking into account the data of the calculation of the acoustic fields of the ship and the acoustic fields of sonar stations;

- improved algorithms for statistical calculations of the results of mathematical modeling of the hydrodynamic field of the ship, which generates

ship waves that affect the speed of the ship; developed a methodological basis for determining the critical speed of the ship, increasing which, due to the transformation of ship waves, there is a transition from economy to uneconomic mode of movement, in which increasing power does not lead to a corresponding increase in speed, which reduces maneuverability;

- algorithms of statistical calculations of results of mathematical modeling of acoustic field of the vessel are improved; created a methodological basis for determining the speed-dependent long-wave component of the acoustic field of the vessel, which is formed by the underwater part of the hull, which allows to ensure the safety of navigation by effectively maneuvering and controlling the movement of the vessel in a mine threat;

- further development of the algorithm for statistical calculation of the results of mathematical hydrodynamic modeling of the hydrodynamic field of the vessel, which can suddenly change the speed of its movement, which allows to ensure the safety of navigation by effectively maneuvering and controlling the movement of the vessel;

- algorithms for statistical calculation of the results of mathematical hydrodynamic modeling of drift currents on the example of the water area of the Odessa commercial port were further developed. That is, a test calculation of the vertical distribution of speed and direction of currents in the waters of the Odessa commercial port was performed. Under conditions of gusty wind in the water area of the port there are drift (surface) and compensatory (bottom) currents. Under such conditions, the drift of vessels with different draft will occur in different directions. Due to the fact that currents and changes in their direction and speed with depth pose a significant navigational threat, affecting the effectiveness of ship control, it is proposed to supplement the existing geoinformation system in ports and narrows with an information layer of 3D currents;

- algorithms of statistical calculation of results of mathematical hydrodynamic modeling of processes of formation on the seabed of temporary navigation obstacles like bars and cans were further developed.

The practical significance of the obtained results is that their application allows to improve the quality of the analysis of the current navigationhydrographic and hydrometeorological information, and thus provides more effective maneuvering and control of the vessel's movement.

The practical results of the dissertation research were introduced into the educational process at the Department of Marine Technologies of the National University "Odessa Maritime Academy" (act from 29.01.2021), the company "DPS - MARINEX LLC" used to prepare documents to investigate the causes of damage to the container terminal of Odessa commercial port. during a severe storm (act of 11.02.2021), the company "FERRY-PLUS" used to prepare documents on the safety of cargo delivery by sea (act of 01.02.2021), the company "IDM-KIT" - to increase the safety of mooring to the berth and passage of narrows with the use of pilotage (act of 09.02.2021).

Key words: vessel traffic control, ship maneuverability, mathematical hydrodynamic modeling, physical and statistical modeling, navigation-hydrographic and hydrometeorological support, hydroacoustic field of the ship, hydrodynamic field of the ship, errors of the satellite geodetic positioning system.

The main scientific results of the dissertation.

1. Гладких І.І. Перспективи розвитку оперативної океанографії в Україні / Гладких І.І., Симоненков С.В., Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г., Чеча О.П. // Одеса: Астропринт, 2017 – 116 с. (altimetric measurements of the shape of the geoid).

2. Kucherenko N. Regularities transformation coastal and accumulative form sea bottom relief for water management / Kucherenko N., Kapochkin B., Kapochkina M. // Meteorology Hydrology and Water Management / Poland, 2015 - C. 43-48 (creation of algorithm and results of lithodynamic modeling).

3. Гладких І.І. Фізико статистичне моделювання гідродинамічного поля корабля на базі гідродинамічних розрахунків / Гладких І.І., Капочкіна М.Б. // вісник Національного технічного університету «Харківський

політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологій» №9 (1285) 2018 - С. 98 – 106 (creation of algorithm and results of modeling of hydrodynamic field of the ship).

4. Гладких І.І. Фізичні принципи створення гідроакустичних перешкод струменевими виходами газу з морського дна вісник / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологій» №9 (1285) 2018 - С. 90 – 97 (algorithm for estimating the range of the sonar).

5. Капочкина М.Б. Гидродинамическое моделирование принудительной конвекции в Черном море в районе Новороссийска / Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // «ScienceRise» №4/2(9)2015 НВП ПП «Технологічний центр», Т.300, - С. 36-40 (results of hydrodynamic modeling).

6. Капочкина М.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, том №2 (37) / Київ 2015 - С.162-165 (creating a basis for lithodynamic modeling).

7. Гладких I.I. Вплив аномальних властивостей води на гідроакустичні технології /Гладких I.I., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Вісник Національного технічного університетум» Харківський політехнічний інститут». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях»№ 7 (1229) 2017 - С. 164-172 (creation of an algorithm for modeling the range of the sonar).

8. Капочкина А.Б. Результаты Красноморских экспедиций кафедры океанологии ОГЭКУ / Капочкина А.Б., Малышев А.И., Капочкина М.Б. // Системы контроля окружающей среды: сборник научных трудов МГИ НАНУ – 2009. – Вып. 12. –С. 414-417 (creating a basis for lithodynamic modeling).

9. Михайлов В.И. Долгосрочное прогнозирование оползневой опасности в прибрежной зоне морей / Михайлов В.И., Капочкина М.Б.,

Кучеренко Н.В. // Научно-технический журнал «Системы контроля окружающей среды», Выпуск 16, 2011- С. 312-314 (creating a basis for lithodynamic modeling).

10. Гладких И.И. Исследование Эйлеровской свободной нутации Земли / Гладких И.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // «ScienceRise» №6/2(11)2015 НВП ПП «Технологічний центр», Т.300 - С. 15-18 (creation of algorithm and modeling of errors of orbital characteristics of geodetic satellites).

11. Гладких И.И. Современный уровень технологий, использующих гидроакустические методы для обеспечения навигации и морских поисковоспасательных работ / Гладких И.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Первый независимый научный вестник «технические науки» / №1/2015, Т. 2000 - С. 47-54 (creation of algorithm and results of acoustic field modeling).

12. Гладких И.И. Перспективы технологий, использующих гидроакустические методы, для обеспечения навигации и морских поисково-спасательных работ / Гладких И.И., Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // «Первый независимый научный вестник (технические науки) №2/2015» / Т. 2000 - С. 60-66 (creation of algorithm and results of acoustic field modeling).

13. Гладких И.И. Влияние подводных газовых струй на достоверность результатов морских гидроакустических измерений / Гладких И.И., Кучеренко Н.В., Зорин В.Ю., Капочкина М.Б. // Перший незалежний науковий вісник «технічні науки» №8/2016, Т. 2000, м. Київ - С. 72-81 (creation of an algorithm for modeling the range of the sonar).

14. Капочкіна М.Б. Гідродинамічне моделювання, як складова моніторингу гідрооптичних характеристик морського середовища / Капочкіна М.Б., ЗорінВ.Ю. // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса) / №1(3) (технічні науки) - С. 49-54 (creating an algorithm for finding underwater targets).

15. Гладких И.И. Концептуальные положения мониторинга подводной обстановки морской акватории Азово-Черноморского региона /

Гладких И.И., Михайлов В.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Первый независимый научный вестник (технические науки) №3/2015, Т 2000 - С. 88-94 (creating an algorithm for finding underwater targets).

16. Гладких I.I. Причини виникнення підводного звукового каналу / Гладких I.I., Н.В. Кучеренко, М.Б. Капочкіна, І.Ф. Нізамутдінов // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил Укаїни «Державний океанаріум» № 1 (2) - Одеса: Фенікс, 2018 - С.194 – 206 (creating an algorithm for finding underwater targets).

17. Кучеренко Н.В. Проблеми зв'язку, позиціонування та керування загоном протипідводно-диверсійних сил / Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Соколовський Р.В. // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил України «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія» № 1 (3) – 2020, Одеса - С. 71-77 (creating an algorithm for finding underwater targets).

18. Кучеренко Н.В. Проблемні питання застосування гідроакустичних засобів гідролокації та пеленгації підводних цілей / Кучеренко Н.В., Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Барган О.Г. // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил Укаїни «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія» № 1 (3) – 2020, Одеса - С. 124-131 (creating an algorithm for finding underwater targets).

Publications certifying the approbation of the dissertation materials:

19. Капочкина М.Б. Математическое моделирование гидродинамического и теплового полей корабля на примере корвета. Постановка задачи / Капочина М.Б., Зорин В.Ю. // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи» м. Одеса 10-11 вересня 2015 року, –

C. 51 (creating an algorithm and modeling the hydrodynamic field of the ship).

20. Капочкін Б.Б. Участь Вимоги та граничні умови цифрового моделювання гідродинаміки підводної техніки / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 р. Київ – С. 46 (creation of algorithm and modeling of hydrodynamic and hydroacoustic field of the ship).

21. Капочкина М.Б. Математическое моделирование литодинамических процессов / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б. // Міжнародна наукова конференція молодих учених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення», Одеса 7 – 9 жовтня 2014 – С. 224 - 226 (reation of algorithm and results of lithodynamic modeling).

22. Капочкін Б.Б. Визначення, шляхом математичного моделювання, гідродинамічного впливу на бонові загородження на прикладі Одеського порту / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Актуальні проблеми підготовки, застосування Збройних Сил України, управління ними, їх оперативного та матеріально-технічного забезпечення» 27-28 вересня 2016 року / м. Київ - С. 279-280 (creation of algorithm and results of modeling of currents in the Odessa seaport).

23. Гладких И.И. Эйлеровская свободная нутация Земли / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю., // Збірник тез 15 української конференції з космічних досліджень / Друкарня Видавничого дому «Академперіодика» 2015, Одеса 24-28 серпня 2015 - С. 192 (creation of algorithm and modeling of errors of orbital characteristics of geodetic satellites).

24. Михайлов В.И. Влияние субмаринной разгузки подземных вод на гидрографию морей / Михайлов В.И., Кучеренко Н.В., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря» / Одеса 2011 р. - С. 24-26 (substantiation of the lithodynamic modeling algorithm).

25. Капочкин Б.Б. Формирование аккумулятивных форм рельефа морского дна геодинамическими процесами / Капочкин Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря», Одеса, , 2012 р.- С. 46-48 (substantiation of the lithodynamic modeling algorithm).

26. Михайлов В.И. Изменения уровня Черного моря / Михайлов В.И., Кучеренко Н.В,. Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологія міста та рекреаційних зон», Одеса 2010 р. - С. 34-36 (substantiation of the algorithm for modeling errors of orbital characteristics of geodetic satellites).

27. Кучеренко Н.В. Трансформация береговой зоны и климатическая аномалия лета 2010 / Кучеренко Н.В., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практична конференції «Екологічні проблеми Чорного моря», Одеса 2010. - С. 28-29 (substantiation of the lithodynamic modeling algorithm).

28. Кучеренко Н.В. «Определение погрешностей измерения уровня Мирового океана» / Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б. // Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Актуальные проблемы современной гидрометеорологии» / Одеса 2012. - С. 48 (substantiation of the algorithm for modeling errors of orbital characteristics of geodetic satellites).

29. Капочкина М.Б. Методические проблемы мониторинга уровня океанов и морей / Капочкина М.Б., Хриненко В.В. // Збірник тез доповідей VIII міжнародній конференції «Молоді науковці – географічній науці» / Київ 2012 р. - С 46. (substantiation of the algorithm for modeling errors of orbital characteristics of geodetic satellites).

30. Капочкина М.Б. Реверсивные геодеформации по данным измерений перманентной геодезической сети / Капочкина М.Б., Куцан В.В. // ХІ міжнародна междициплінарна конференція «Шевченківська весна» /

Київ 2013 р. - С. 24-26. (substantiation of the algorithm for modeling errors of orbital characteristics of geodetic satellites).

31. Капочкина М.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкина М.Б. // XIV наукова конференція молодих вчених, Одеський державний екологічний університет, Одеса, 22-24 квітня 2014р.– С. 18-19 (substantiation of the lithodynamic modeling algorithm).

32. Капочкин Б.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник наукових праць XV Всеукраїнської (з міжнародною участю) науково - практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці», Київський національний Університет ім. Тараса Шевченка / Київ, 2014, - С. 65 – 67 (substantiation of the lithodynamic modeling algorithm).

33. Кучеренко Н.В. Про доцільність створення географічної інформаційної системи з гідрометеорології, океанології, гідрографії та геофізики для використання її у воєнній сфері / Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи», м. Одеса 10-11 вересня 2015 року. – С. 111 (substantiation of the purpose of dissertation research).

34. Капочкина М.Б. Концепция НИЦ мониторинга подводной обстановки морской акватории Азово-Черноморского региона / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б., Зорин В.Ю. // Географічна наука і освіта в Україні, Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції, збірник тез доповідей ЦОП «Глобус», Київ 26-28 листопада 2015, С. 161-162 (substantiation of the algorithm for modeling the acoustic fields of the ocean).

35. Капочкіна М.Б. Щодо розробки концепції моніторингу підводної обстановки на шельфах Чорного та Азовського морів України / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 р. -Київ. - С. 46 (substantiation of the algorithm for modeling the acoustic field of the ship).

36. Капочкіна М.Б. Перспективи співпраці з країнами НАТО в галузі гідрометеорологічного та гідрографічного забезпечення флоту / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки», / 15-18 грудня 2015 р. - Київ. - С. 47 (substantiation of dissertation research tasks).

37. Капочкін Б.Б. Використання геоінформаційних систем при оперативному забезпеченні ВМС ЗС України. Проблемні питання / Капочкін Б.Б., Пертушенко І.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 22-23 вересня 2016 року, Одеса. - С. 142 (substantiation of dissertation research tasks).

38. Петрушенко І.В. Проблемні питання оцінки якості гідрометеорологічних та гідрографічних карт / Петрушенко І.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // XIV міжнародна науково-практична конференція «Шевченківська весна 2016», Київський національний університет ім. Т.Г. Шевченка, м. Київ 6-8 квітня 2016. - С. 54-56 (substantiation of the purpose of dissertation research).

39. Капочкіна М.Б. Про доцільність створення підводної мережецентричної системи / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю., Капочкін Б.Б. // Двадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 13-14 квітня 2016 року – С. 51 (substantiation of the purpose of dissertation research).

40. Гладких И.И. Концептуальные положення создания системи освещения подводной обстановки в Черном море / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник наукових праць XVII науковотехнічної конференції «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку в ГМЗЛБ, в системах радіонавігації, в системах управління рухом суден», 27-28 жовтня 2016, ОНМА м. Одеса, електронне видання (substantiation of the purpose of dissertation research).

41. Михайлов В.І. Проблемні питання та перспективи дистанційних досліджень морського середовища / Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г. // .Збірник наукових праць XVII науковотехнічної конференції «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку в ГМЗЛБ, в системах радіонавігації, в системах управління рухом суден», 27-28 жовтня 2016, ОНМА м. Одеса, електронне видання (substantiation of dissertation research tasks).

42. Капочкіна М. Б. Місце оперативно-тактичного моделювання в сучасній війні / Капочкіна М. Б., Капочкін Б.Б., Соколовський Р.В., Сарай В.В. // Збірник наукових праць 28 міжнародної науково-пракичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 13-15 травня 2020, Харків - С.111 (creation of algorithm of operative-tactical modeling).

43. Капочкін Б. Б. Перспективна система гідрометеорологічного та навігаційно-гідрографічного забезпечення ВМС в об'єднаних операціях / Капочкін Б. Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Міжнародна науковопрактична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 10-11 вересня 2020, м. Одеса. – С. 276 (substantiation of dissertation research tasks).

44. Гладких I.I. Планування бойових дій в умовах просторово часових змін навігаційних умов в мілководних районах азовського та чорного морів / Гладких I.I., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Міжнародна науково-практична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 10-11вересня 2020, м. Одеса. – С. 181 (substantiation of dissertation research tasks).

45. Капочкіна М.Б. Математичне моделювання акустичного поля

корабля / Капочкіна М.Б, Гладких І.І., Кучеренко Н.В. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Графічні технології моделювання об'єктів, процесів та явищ», 23-24квітня 2020 року, м. Одеса. - С. 39 (creating an algorithm and modeling the acoustic field of the ship).

Approbation of the results of the dissertation work was confirmed by the diploma of the III degree of the All-Ukrainian competition of the Ministry of Education and Science of Ukraine of student scientific works in geographical sciences for scientific work under the code: "Bora" for 2012; victory in the second round of the competition of student research papers of the Ministry of Education and Science of Ukraine in geography "Possibilities of FlowVision software for solving problems of lithodynamics"; diploma of the participant of the Third round of the All-Russian Student Olympiad (VSO) in the field of "Hydrometeorology", St. Petersburg 2012; diploma of the I degree of the VIII international conference "Young scientists - geographical science", Kyiv 2012, section "Cartography and GIS" for the report "Methodical problems of monitoring the level of oceans and seas"; Diploma of the II degree of the XI International Interdisciplinary Conference "Shevchenko Spring", Kyiv 2013, section "Cartography and GIS" for the report "Reversible geodeformations according to the measurements of the permanent geodetic network".

3MICT

ВСТУП	31
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ ВИРІШЕННЯ	
ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА	
ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО	
МОДЕЛЮВАННЯ У ГАЛУЗЬ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ТА	
НАВІГАЦІЙНО-ГІДРОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	39
1.1 Вибір основного напрямку дисертаційного дослідження	39
1.2 Аналіз літератури за проблемою математичного	
моделювання гідроакустичних полів	44
1.3 Аналіз літератури за проблемою математичного	
моделювання гідрометеорологічних умов	45
1.4 Аналіз літератури за проблемою математичного	
моделювання гідродинаміки судна	48
1.5 Аналіз літератури за проблемою математичного	
моделювання змін форми геоїду	57
1.6 Аналіз літератури за проблемою математичного	
моделювання літодинамічних процесів, які впливають на	
акумулятивний рельєф морського дна	64
1.7 Висновки до першого розділу	65
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	
ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	66
2.1 Методи розрахунку рефракції акустичних хвиль	67
2.2 Методи гідродинамічного моделювання	69
2.3 Методи фізико-статистичного моделювання	76
РОЗДІЛ З. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА ШЛЯХОМ	
ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В	
ГАЛУЗЬ НАВІГАЦІЇ	79
3.1 Апробація алгоритму визначення похибки позиціонування	79

методами супутникової геодезії

3.2 Апробація алгоритму визначення систематичних обмежень	
дальності дії акустичних засобів гідролокації, шумопеленгації,	
звукопідводного зв'язку, підводного позиціонування з причин	
рефракції	82
3.3 Апробація алгоритму визначення гідроакустичного поля	
корабля	100
3.4 Апробація алгоритму визначення турбулентного сліду судна	113
3.5 Апробація алгоритму визначення безпечної швидкості руху	
судна в умовах наявності навігаційної перешкоди типу мінної	
загрози	116
3.6 Висновки до третього розділу	133
РОЗДІЛ 4. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА ШЛЯХОМ	
ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У	
ГАЛУЗЬ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ	136
4.1 Апробація алгоритму мінімізації впливу на швидкість руху	
корабля корабкльних хвиль, що створюються ним	136
4.2 Апробація алгоритму оптимального маневрування у	
вузкозтях завдяки результатам моделювання течій	141
4.3 Апробація алгоритму змін глибин в районах підводних	
навігаційних перешкод типу банок та барів	145
4.4 Висновки до четвертого розділу	148
ВИСНОВКИ	150
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	153
ДОДАТКИ	164
Додаток А	165
Додаток Б	166
Додаток В	167
Додаток Г	169

ВСТУП

Актуальність Гідрографічно-навігаційне теми. та гідрометеорологічне забезпечення мореплавства необхідне для вирішення завдань управління судном в складних навігаційних умовах. Зазвичай ця проблема вирішується за допомогою геоінформаційних систем з шарами рельєфу морського дна, висоти та довжини хвиль, швидкості та напряму приводного вітру тощо. Слід констатувати, що загальної концепції обробки поточної навігаційної та гідрометеорологічної інформації методами математичного і статистичного моделювання досі не існує. В дисертаційній роботі пілставі розроблених на алгоритмів можливість вирішувати широкий продемонстрована спектр залач: визначення впливу корабельних хвиль на зміни швидкості та маневреності судна; визначення впливу течій у вузкостях на маневреність руху судна; виявлення та врахування системних похибок геодезичної супутникової системи; збільшення ефективності застосування судових гідролокаторів в умовах рефракції; прогнозування змін положення навігаційних перешкод типу барів і банок тощо. В дисертаційній роботі прийнято спрощений зміст терміну алгоритм (Алгоритм — набір інструкцій, які описують порядок дій, щоб досягти результату розв'язання поставленої задачі). Приклад розроблення алгоритмів обчислення результатів теоретичних розрахунків статистичними методами відкриває нові перспективи впровадження навігаційно-гідрографічне моделювання y математичного та гідрометеорологічне забезпечення мореплавства і тому є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках Державної програми «Створення єдиної інтегрованої системи висвітлення повітряної, надводної та підводної обстановки в акваторіях Чорного й Азовського морів та басейнах річок Дніпро і Дунай», прийнятої згідно Концепції Державної цільової правоохоронної програми «Облаштування та реконструкція державного кордону» на період до 2020 року, схваленої згідно розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 листопада 2015 р. № 1179-р, та відповідно до щорічних планів наукової та науково-технічної діяльності Генерального Штабу Міністерства Оборони України з НДР за шифрами «Гідромет-М» (ДР № 0101U002023), «Рефракція-М» (ДР № 01010002438) і «Гідродинаміка-М» (ДР № 01010002440), де автором було виконано окремі розділи (підрозділи).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна, використовуючи результати обробки даних математичного моделювання статистичними методами у галузі навігаційногідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства.

Задача дослідження полягає у розробці та апробації низки тестових алгоритмів моделювання процесів у напрямках: позиціонування судна, маневрування судна у вузкостях, руху в умовах наявності навігаційних перешкод тимчасового характеру, руху з критичною для маневрування швидкістю, виявлення та розпізнання цілі акустичними методами, розпізнання цілі за гідродинамічним та акустичним полями судна, як прикладів сучасних можливостей підвищення якості аналізу поточної інформації систем навігації та гідрометеорології, з перспективою подальшого впровадження сучасних методів математичного і фізико-статистичного моделювання для вирішення задач підвищення рівня безпеки мореплавства.

Об'єктом дослідження є вдосконалення обробки інформації в системах спостереження, розпізнавання об'єктів у напрямку навігації й управління рухом.

Предметом дослідження метод кількісного аналізу інформації систем навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства з використанням гідродинамічного та фізикостатистичного моделювання.

Методи дослідження. Для досягнення мети та вирішення поставлених задач, у дисертаційному дослідженні були використані

наступні методи:

 експертного оцінювання і системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи та при формуванні технології наукового дослідження;

 метод дедукції при застосуванні математичного гідродинамічного моделювання шляхом розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса, моделювання за методом променевої гідроакустики;

- метод індукції при застосуванні статистичного моделювання методом швидкого перетворення Фур'є, регресійного, кореляційного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні підґрунтя для методичного вирішення проблеми обчислення статистичними методами результатів математичного моделювання процесів, на базі яких забезпечується вирішення задач навігаційногідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства з метою підвищення якості керування рухом суден.

У дисертаційній роботі отримано такі наукові результати:

- вперше запропоновано алгоритм підвищення точності позиціонування суден (розрахунок систематичної похибки визначення орбітальних характеристик геодезичних супутників відносно центру геоцентричної системи WGS-84), що має як фундаментальне теоретичне значення, так і може бути базою для подальшого вдосконалення (зменшення похибки) методів супутникової геодезії з метою забезпечення безпеки мореплавства, шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна, що відрізняється відсутністю відомостей в існуючій науковій літературі;

- вперше запропоновано алгоритм обчислення статистичними методами результатів математичного моделювання розповсюдження гідроакустичної хвилі за променевою теорією (встановлена можливість існування періодичного у просторі проявлення зон акустичної тіні); на

практиці це дозволяє більш ефективно використовувати корабельні сонари, що дає можливість забезпечити безпеку мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна. В інтересах ВМС ЗС України це дозволить на більш високому рівні виконувати тактичні прийоми маневрування з урахуванням даних розрахунку акустичних полів самого корабля та акустичних полів гідроакустичних станцій;

- удосконалено алгоритми статистичних обрахунків результатів математичного моделювання гідродинамічного поля судна, яке генерує корабельні хвилі, що впливають на швидкість руху судна; розроблене методичне підґрунтя визначення критичної швидкості руху судна, при збільшенні якої, за рахунок трансформації корабельних хвиль, відбувається перехід з економного на неекономний режим руху, за якого збільшення потужності не приводить до відповідного збільшення швидкості, що зменшує маневреність судна;

- удосконалено алгоритми статистичних обрахунків результатів математичного моделювання акустичного поля судна; створене методичне підгрунтя залежної швидкості для визначення від руху судна довгохвильової складової акустичного поля судна, яке формується дозволяє забезпечити підводною частиною корпусу, ЩО безпеку мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна в умовах мінної загрози;

- отримано подальший розвиток алгоритму статистичного обчислення результатів математичного гідродинамічного моделювання гідродинамічного поля судна, яке раптово може змінювати швидкість його руху, що дозволяє забезпечити безпеку мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судном;

- отримали подальший розвиток алгоритми статистичного обчислення результатів математичного гідродинамічного моделювання дрейфових течій на прикладі акваторії Одеського торгівельного порту. Тобто виконано тестовий розрахунок вертикального розподілу швидкості та напрямку течій в акваторії Одеського торгівельного порту. За умов нагонного вітру в акваторії порту виникають дрейфові (поверхневі) та компенсаційні (придонні) течії. За таких умов дрейф суден з різною осадкою відбуватиметься у різних напрямках. У зв'язку з тим, що течії і зміни їх напрямку та швидкості з глибиною складають суттєву навігаційну загрозу, впливаючи на ефективність засобів керування судном, пропонується у портах та узкостях доповнити існуючу геоінформтивну систему інформаційним шаром 3D течій;

- отримали подальший розвиток алгоритми статистичного обчислення результатів математичного гідродинамічного моделювання процесів формування на морському дні тимчасових навігаційних перешкод типу барів та банок.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що їх застосування дозволяє підвищити якість аналізу поточної навігаційногідрографічної та гідрометеорологічної інформації і таким чином забезпечити більш ефективне маневрування та керування рухом судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені в освітній процес кафедрі «Морські технології» Національного на Університету «Одеська Морська Академія» (акт від 29.01.2021), компанією «DPS – MARINEX LLC» використані для підготовки документів стосовно розслідування причин пошкодження контейнерного терміналу Одеського торгівельного порту під час потужного шторму (акт від 11.02.2021), компанією «ФЕРРІ-ПЛЮС» використані для підготовки документів стосовно забезпечення безпеки доставки вантажів морським транспортом (акт від 01.02.2021), компанією «IDM-KIT» - для підвищення безпеки швартування до причалу та проходження вузкостей з застосуванням лоцманської проводки (акт від 09.02.2021).

Особистий внесок здобувача. Самостійно виконано дисертаційну роботу: здійснено аналіз основних напрямків вирішення проблеми підвищення якості навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення потреб мореплавства, проведено обґрунтування методичного забезпечення дисертаційного дослідження, вперше запропоновано застосовувати методи статистичного моделювання для обробки даних 3 теоретичного моделювання. наукових праць, опублікованих У співавторстві, в дисертації використані лише ті положення, які належать автору особисто.

Шляхом розробки низки тестових алгоритмів моделювання процесів у напрямках: позиціонування, маневрування судна у вузкостях; руху в умовах наявності навігаційних перешкод тимчасового характеру тощо, як прикладів сучасних можливостей підвищення якості аналізу поточної інформації систем навігації та гідрометеорології, створене підґрунтя для методичної розробки застосування методу фізико-статистичного (емпіричного) моделювання для обчислення результатів математичного (теоретичного) моделювання.

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

Всеукраїнська науково-практична конференція "Екологія міста та рекреаційних зон» (м. Одеса, 22-23 березня 2010 р.), Міжнародна науковопрактична конференція «Екологічні проблеми Чорного моря» (м. Одеса 23березня 2011 р.), Міжнародна науково-практична конференція 24 «Екологічні проблеми Чорного моря» (м. Одеса, 23-24 березня 2012 р.), наукова Міжнародна конференція студентів та молодих вчених проблемы современной «Актуальные гидрометеорологии», секція океанологія (м. Одеса 18-19 квітня 2012 р.), VIII міжнародна конференція «Молоді науковці – географічній науці» секція «Картографія і ГІС» (м. Київ 12-13 листопада 2012 р.), XI міжнародна міждисциплінарна конференція «Шевченківська весна» (м. Київ 10-11 квітня 2013 р.), Міжнародна наукова конференція молодих «Сучасна вчених гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса
7 – 9 жовтня 2014 р.), XII міжнародна наукова Міждисциплінарна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна – 2014», Київський національний Університет ім. Тараса Шевченка (м. Київ, 25-28 березня, 2014 р.), XV Всеукраїнська (з міжнародною участю) науково - практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці», Київський національний Університет ім. Тараса Шевченка (м. Київ, 11-12 листопада 2014р.), XIV наукова конференція молодих вчених, Одеський державний екологічний університет (м. Одеса, 14-16 квітня 2014 р.), V Всеукраїнська науковопрактична конференція (м. Київ 26-28 листопада 2015 р.), Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи» (м. Одеса 10-11 вересня 2015 р.), XV українська конференція з космічних досліджень (м. Одеса 24-28 серпня 2015 р.), VI науково-технічна конференція «проблемн і питання розвитку озброєння та військової техніки» (м. Київ 15-18 грудня 2015 р.), Науково-практична конференція «Актуальні проблеми підготовки, застосування Збройних Сил України, управління ними, їх оперативного та матеріально-технічного забезпечення» (м. Київ 27-28 вересня 2016 року), XVI українська конференція з космічних досліджень (м. Одеса 24-28 серпня 2016 р.), Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи» (м. Одеса 22-23 вересня 2016 р.), 28 міжнародна науковопракична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків 13-15 травня 2020 р.), Міжнародна науково-практична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи» (м. Одеса 10-11 вересня 2020 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Графічні технології моделювання об'єктів, процесів та явищ» (м. Одеса 23-24 квітня 2020 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 45

наукових праць, у тому числі, колективна монографія [6]; в наукових фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, - 6 [36, 37, 47, 59, 60, 69] наукових статей; у закордонних наукових профільних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних науковометричних баз – 3 [40, 68, 70]; у періодичних рецензованих виданнях - 8 [43, 44, 45, 46, 48, 58, 71, 72] статей; в збірниках матеріалів наукових конференцій – 26 [1, 2, 3, 4, 12, 26, 27, 28, 29, 34, 41, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 73, 74, 75, 76].

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (77 найменувань) та додатків. Загальний обсяг роботи становить 169 сторінки та містить 75 рисунків і 12 таблиць, зокрема: 152 сторінки основного тексту, 10 сторінок списку використаних джерел та 6 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ГАЛУЗЬ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ТА НАВІГАЦІЙНО-ГІДРОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1 Вибір основного напрямку дисертаційного дослідження

Гідрометеорологічне забезпечення мореплавства визначає мінливі у часі і просторі навігаційні перешкоди і базується ЯК на даних спостережень, які забезпечують вирішення проблем ліагнозу та інерційного прогнозу обстановки, так і на результатах динамічного моделювання, які забезпечують прогноз розвитку ситуації у часі і просторі [1,2]. Гідрографічне забезпечення мореплавства визначає стаціонарні навігаційні перешкоди і базується виключно на результатах спостережень та вирішує питання діагнозу обстановки. Як гідрометеорологічне, так і навігаційно-гідрографічне забезпечення мореплавства має за кінцевий продукт карти навігаційних перешкод. Аналіз зазначених карт виконується візуально. На сучасному етапі, інформація про мінливі у часі і просторі навігаційні перешкоди надається у вигляді низки карт, які дають оцінку обстановки з певною завчасністю. Картографічний матеріал про зміни у часі і просторі навігаційних небезпек можна аналізувати з застосуванням статистичних методів. До останнього часу картографічний матеріал статистичними методами не обробляється, що обмежує можливості виявлення в отриманих полях прихованих закономірностей, які мають перспективи практичного використання в тактичних цілях [3,4]. Як приклад, можна навести роботи [2,3], де запропоновано алгоритм пошуку статистичними методами ділянок на супутниковому зображенні, які були штучно спотворені з метою дезінформації. У напрямку гідрографічного забезпечення мореплавства можна привести такий приклад. В рамках навчань «Сі Бриз» з борту гідрографічного катера ВМС США, який літаком було транспортовано до м.Одеса, була виконана сонарна зйомка фарватеру та рельєфу морського дна в районі порту м. Одеса (06.07 - 20.08.2017 р.). Копія отриманих даних у вигляді цифрових карт була передана українській стороні. Для практичного використання інформації, отриманої з закордонних джерел, необхідна її перевірка на відсутність дезінформації. Вирішення цієї задачі шляхом візуального аналізу картографічного матеріалу неможливе. Як показано у роботах [2, 3], для виявлення штучно спотворених ділянок картографічного матеріалу потрібно обчислення цифрових карт з використанням програмних продуктів типу «Surfer Golden Software», тобто задіяння просторового спектрального аналізу, розрахунку за напрямками першої та другої похідних тощо.

Використання інформації, що потрапила через мережу посередників, пов'язане з ризиками отримання спотворених даних. Зазвичай це «маскування» або вилучення фрагментів цифрової карти. Такі заміни при аерофотозйомці зазвичай визначають за змінами освітленості та за різницею характеру тіні базового знімку та заміненого фрагменту [5].

Методичне рішення визначення статистичних оцінок окремих ділянок цифрової карти може бути отримане шляхом спеціальних розрахунків [6]. Результатом математичної обробки є, наприклад, гістограма та таблиця статистичних критеріїв (оцінка середнього, стандартне відхилення, ексцес, асиметрія, ентропія). Приклад статистичної обробки цифрової карти показаний на рис. 1.1.



Рис. 1.1 – Графік статистичної обробки цифрової карти [6].

Наприклад, ентропія, як міра невпорядкованості просторового розподілу значень пікселів (міра хаотичності) розраховується за формулою:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{n} p(i) \log_2 p(i)$$
(1.1)

де H(x) – ентропія досліджуваної системи, x - незалежні випадкові змінні, n – можливі стани, $\log_2 p(i)$ - окрема ентропія, що характеризує тільки *i*-ий стан, p_i - вірогідність стану.

Пропонується визначати спотворення цифрової карти шляхом аналізу її внутрішньої структури [6]. Для дослідження прихованої внутрішньої структури зображення найбільше користуються методом лінеаментного аналізу. Такий підхід використовується в програмному продукті «LESSA - Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis» [7]. Використання вказаного програмного продукту, який в квазіїзотропному зображенні виявляє приховані лінійні елементи, широко використовується в ГІС різного призначення. Виявлення прихованих лінійних елементів на цифровій карті може бути здійснено з застосуванням найбільш поширених програмних продуктів шляхом розрахунків першої та другої похідної за заданим напрямком. Застосування лінеаментного аналізу цифрових карт дозволяє виявляти штучні втручання в карту за переривчастістю лінеаментних структурних елементів, характерних для будь-якого типу карт.

Крім того, для визначення штучного спотворення цифрової карти пропонується пофрагментно залучати просторовий кореляційний та спектральний аналіз [6].

Ефективним методом пошуку фрагментів на карті, де є штучне втручання через застосування пригнічуюючих фільтрів тощо, є дослідження внутрішньої структури цифрової карти в порівнянні з окремими її фрагментами. Для цього можуть бути використані просторові спектрограми і корелограми. Це методичне рішення дозволяє визначати приховані прояви періодичних проявів на супутниковому зображенні.

Для визначення відмінностей в структурі окремих фрагментів цифрових карт, може бути використана різниця просторових корелограм і спектрограм цифрової карти. Просторові корелограми розраховуються за відомою формулою (1.2).

$$\Psi(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f^{2}(t) f^{-2}(t - \tau) dt$$
(1.2)

Також для оцінки прихованої внутрішньої структури карти можна використовувати просторові спектрограми, що розраховуються за формулою (1.3).

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot e^{-i\omega \cdot t} dt \qquad (1.3)$$

Результати розрахунку просторової спектрограми за двома фрагментами супутникових знімків показано на рис. 1.2.



Рис. 1.2 – Просторові спектрограми супутникових зображень акваторії: 24.02.16 (а) о 10 годині, (б) - о 12 годині (по осі Z -амплітуда спектру, за осями X,Y - просторова частота).

Результати розрахунків показують, що спектрограми, як і корелограми, відрізняються; що підтверджує доцільність і можливість застосування просторового спектрального аналізу для пофрагментного аналізу цифрових карт з метою подальшої інтерпретації на предмет наявності штучного спотворення [6].

З метою підвищення якості навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення, об'єктом дослідження дисертації обрано вдосконалення обробки інформації в системах спостереження, розпізнавання об'єктів у напрямку навігації й управління рухом, а предметом дослідження - підвищення якості кількісного аналізу інформації систем навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства з використанням гідродинамічного та фізикостатистичного моделювання.

За напрямок дисертаційного дослідження обрано створення методичного підґрунтя з обчислення статистичними методами результатів математичного моделювання явищ та процесів, які є базовими для гідрометеорологічного та навігаційно-гідрографічного забезпечення мореплавства.

1.2 Аналіз літератури за проблемою математичного моделювання гідроакустичних полів

Гідроакустичними методами визначають відстань до цілі, азимут цілі, цифрову модель та сигнатуру цілі. Гідроакустика вивчає процес розповсюдження у водному середовищі поздовжніх обємних хвиль. На відміну від поверхневих хвиль, об'ємні хвилі - це зміни тиску у водному середовищі. Гідроакустика вивчає проблеми розрахунку руху фронту акустичної хвилі, поглинання та розсіяння звуку, середньої швидкості звуку вздовж траєкторії руху хвилі. Це повинно дозволити визначити відстань до цілі та азимут цілі. Моделювання руху фронту акустичної злійснюється хвилі за променевою розрахунковою моделлю (розв'язуються рівняння геометричної оптики), хвильовою моделлю гідродинамічною хвильові рівняння), (розв'язуються моделлю (розв'язується система рівнянь Нав'є-Стокса). Розрахунки за променевою моделлю розповсюдження звуку найбільш поширені, бо результати розрахунку є очевидними та простими для візуального аналізу. Просторове положення зон акустичної тіні розраховується для вибраної глибини і отримується для аналізу у вигляді чисельних рядів просторових змін щільності акустичної енергії. Аналіз інформації проводиться візуально.

Результати розрахунків чисельних рядів просторових змін щільності акустичної енергії, отримані променевими методами, досі статистично не оброблялися.

Результати дослідження акустичних полів за хвильовою моделлю, шляхом розв'язання хвильових рівнянь, незручні для візуального аналізу. Статистична обробка результатів розрахунків за хвильовою моделлю теж не застосовується.

Гідродинамічна модель розрахунку гідроакустичних полів, шляхом розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса, на практиці досі не реалізована і тому її результати також статистично не оброблялися.

Таким чином можна констатувати, що аналіз розрахунків рефракції акустичних хвиль може бути більш якісним, якщо закономірності просторових змін зон акустичної тіні досліджувати шляхом статистичних обрахунків чисельних рядів просторових змін щільності акустичної енергії.

1.3 Аналіз літератури за проблемою математичного моделювання гідрометеорологічних умов

Складні гідрометеорологічні умови (течії, хвилі, вітер) відносяться до навігаційних перешкод, тимчасовий мають характер. ЩО Гідрометеорологічні умови на сучасному рівні прогнозуються, у тому числі, шляхом розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса. Кінцевим продуктом моделювання гідрометеорологічних умов є розрахункові поля атмосферного тиску, вологості, температури тощо. Результати математичного моделювання, у вигляді просторово-часових змін полів метеоелементів, статистично не обраховуються.

Гідродинамічні умови у прибережній зоні моря також розраховуються шляхом розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса [8]. Наведемо конкретні приклади. У роботі д.ф.-м.н., члена-кореспондента НАН України Нікішова В.І. виконане математичне моделювання гідродинамічних умов в районі Одеського порту. Було виконане моделювання гідродинамічних процесів на ділянці будівництва контейнерного терміналу Одеського морського торгового порту [8], але не всередині а ззовні, де умови судноводіння не такі складні, як в акваторії порту.

У якості об'єкту досліджень було обрано територію контейнерного терміналу на Карантинному молі Одеського морського порту. Моделювання виконувалося для 9 варіантів напрямку і швидкості можливого максимального приводного вітру: північ – 20,8 м/с; північний cxid - 21,8 м/с; cxid - 23 м/с; південний cxid - 20,4 м/с; південь - 20 м/с; північний схід – 15м/с; схід – 15м/с; південний схід – 15 м/с; південь – 15 м/с. Розрахунки дрейфово-градієнтних течій і рівня моря проводились за допомогою моделі Princeton Ocean Model [8], що базується на чисельному рішенні тривимірних нелінійних рівнянь Нав'є-Стокса, і яка враховує особливості рельєфу дна. Використовувалася модифікована версія моделі [8]. На рис. 1.3 показані вектори швидкості стаціонарних течій: червоні стрілки – швидкості течій у поверхневому шарі; сині – швидкості течій у придонному шарі; чорні – середні за глибиною швидкості течій.



Рис. 1.3 – Карти векторів швидкості течій: поверхневих (червоний колір), придонних (синій колір), середніх за глибиною (чорний колір); та ізоліній рівня моря (см) для північно-східного вітру 21,8 м/с при наявності: а) - причальної споруди; б) - молу [8].

Показано, що швидкості поверхневих течій досягають 0,3-0,5 м/с, їх напрямок збігається з напрямком вітру. Швидкості компенсаційних течій, залежно від напрямку вітру, складають біля дна 0,13 - 0,23 м/с, а їх напрямок, відповідно, відрізнятися від напрямку поверхневих течій до 180° за південного та південно-східного вітру.

Поверхневі течії та приводний вітер значно ускладнюють керування судном, особливо у вузкостях та акваторіях портів, особливо за наявності сильного вітру, коли вітрові течії накладаються на стаціонарні, що об'єктивно існують в певних частинах акваторії. Характеристики поверхневих течій також можуть розраховуватися шляхом математичного моделювання за даними супутникових вимірювань швидкості приводного вітру та рівня моря [9]. Приклад розрахованих у Чорному морі течій, представлений на рис. 1.4.



Рис. 1.4 – Карта напрямків та швидкості поверхневих течій Чорного моря [9].

Сучасне гідродинамічне моделювання дозволяє отримувати для будьякої точки розрахункової сітки зміни швидкості течії у часі, що дозволяє дослідити закономірності динаміки течій статистичними методами.

1.4 Аналіз літератури за проблемою математичного моделювання гідродинаміки судна

Від гідродинаміки судна залежить його маневреність та морехідні якості. Гідродинаміка судна моделюється шляхом застосування декількох програмних комплексів (ПК), найбільш поширеним з яких є SolidWorks. У роботі [10] гідродинаміка моделюється ПК FlowVision. Згідно опису ПК FlowVision, він призначений і застосовується для моделювання гідро- та аеродинаміки судна; розроблений для моделювання тривимірних течій рідини та газу в технічних і природних об'єктах, а також для візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Течії, що моделюються, включають в себе стаціонарні та нестаціонарні, стискувані, слабко

стискувані та нестискувані потоки рідини і газу. Метод моделювання базується на скінченно-об'ємному методі рішення рівнянь гідродинаміки, використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подрібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю ПК FlowVision використовує технологію підсіткового дозволу геометрії. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію і обмінюватися інформацією з системами скінченно-елементного аналізу. Використання цієї технології дозволило вирішити проблему автоматичної генерації сітки для розрахункової області, що має геометрію будь-якого ступеня складності.

В даний час стали широко доступні програми чисельного моделювання руху судна з урахуванням турбулентності обтікання, хвилеутворення. ПК FlowVision дозволяє вирішувати практичні завдання гідродинаміки судна такі як: отримання буксирувальних характеристик корпусу, гідродинамічних характеристик рушія, відпрацювання взаємодії корпусу та рушійного комплексу. Завдання гідродинаміки судна можуть бути вирішені в усьому освоєному діапазоні швидкостей руху (чисел Фруда) сучасних суден, включаючи швидкості глісирування, коли в процесі рішення задачі необхідно визначати балансувальні параметри за спливанням та кутом диферента судна.

Розрахунки базуються на методі скінченних об'ємів, що є індустріальним стандартом в обчислювальній гідродинаміці.

Одними з переваг програмного комплексу, що дозволяють ефективно використовувати його в задачах гідродинаміки суден, є наявність можливості розрахунку рухомих тіл та вільної поверхні рідини.

Досвід застосування програмного комплексу при проектуванні суден відображений на рис. 1.5.



Рис. 1.5 – Схема розподілу динамічного тиску на носовій частині судна [10].

Отримання повної картини потоку, що обтікає корпус, на ранніх стадіях його проектування дозволяє якісно вирішувати завдання:

- оптимізації форми корпусу і конфігурації виступаючих частин;
- вивчення умов роботи рушіїв, рульових і підрулюючих пристроїв;
- знаходження характеристик ходової посадки швидкісних суден;
- визначення потужності енергетичної установки судна.

Можливість отримувати не тільки величину опору, але і картини розподілу фізичних величин в потоці та на поверхні корпусу, сприяє пришвидшенню (оптимізації) пошуку ефективних шляхів поліпшення гідродинамічних якостей судна.

Програмний комплекс дозволяє проводити моделювання обтікання корпусу судна за натурних (природних) чисел Рейнольдса і у всьому діапазоні швидкостей його руху (чисел Фруда). Більш того, доповнений можливістю розрахунку динаміки руху самого судна, як твердого тіла, у тому числі під дією сил гідродинамічної природи, метод дозволяє визначити зміну положення судна відносно поверхні води за різних швидкостей руху. В результаті, моделювання обтікання натурного корпусу судна дозволяє на кожному режимі руху:

- визначити хвильову систему, що створюється рухом судном;

- отримати розподіл тиску на підводній частині корпусу;

- візуалізувати течії за допомогою ліній струму в безпосередній близькості від корпусу;

 визначити силу опору та балансувальні траєкторні параметри за спливанням та кутом тангажу на різних швидкостях руху та за різними керуючими впливами.

Наведемо ще один приклад застосування програмного комплексу в суднобудуванні [10]. Розглянуто рух підводного човна з постійною швидкістю 1 м/с. На рис. 1.6 показані результати розрахунку обтікання носової частини.



Рис. 1.6 – Схема обтікання носової частини підводного човна (осі Z - (м), X - (м)) [10].

При математичному моделюванні гідродинаміки судна визначені граничні та початкові умови моделювання, створені розрахунковий об'єм та розрахункова сітка. На рис. 1.7 показано 5 типів граничних умов.



Рис. 1.7 – Типи граничних умов моделювання судна (1 – рідке середовище, 2 – газове середовище, 3 – вертикальний розріз розрахункової області, 4 – межі розрахункової області, 5 – корпус судна) [11].

На рис. 1.8 наведено розрахункову сітку еталонного проекту моделювання судна [11].



Рис. 1.8 – Схема розрахункової сітки еталонного проекту моделювання судна [11].

Здатність рухатися з заданою швидкістю за певної витрати енергії один з головних критеріїв, що характеризують морехідні якості судна [12]. Будь-яке порушення рівноваги водної поверхні, в тому числі рух корабля, тягне за собою утворення хвиль. Значна частина енергії, яка повинна приводити корабель в рух, витрачається на утворення корабельних хвиль.

Загальновідомо, що швидкість руху судна зменшується за рахунок втрати енергії руху на подолання сили тертя, на генерування корабельних хвиль та, в умовах мілини, на подолання сил тертя, що виникають за рахунок взаємодії зони надмірного тиску навколо підводної частини корпусу судна з морським дном. Втрати енергії руху на подолання сили тертя обумовлені:

- особливостями геометрії підводної частини судна;

- шорсткістю поверхні підводної частини судна;

- густиною води.

Втрати енергії руху судна на генерування корабельних хвиль обумовлені:

- особливостями геометрії підводної частини судна;

- швидкістю руху судна.

В умовах мілини втрати енергії руху корабля на подолання сил тертя, що виникають за рахунок взаємодії зони надмірного тиску навколо підводної частини корпусу судна з дном, додатково обумовлені співвідношенням глибини моря до осадки судна та співвідношенням швидкості руху судна до глибини моря.

Слід зазначити, що кінцевими результатами гідродинамічних розрахунків зазвичай вважають: розрахунок опору при буксируванні корабля, розрахунок ліній току вздовж корпусу судна та розподіл динамічного тиску судна [10].

Існують чотири основні хвилеутворюючі точки: ніс судна, носове плече, кормове плече і корма. Слід звернути увагу, що ніс і корма створюють позитивний тиск, і хвилі починаються з гребеня; негативний тиск біля плечей утворює улоговини. Зі збільшенням швидкості судна хвилі подовжуються. Система хвиль навколо рухомого судна видозмінюється зі зміною швидкості. Слід зазначити, що число Фруда опосередковано вказує, на скількох хвилях судно буде йти. Важливо, щоб друга хвиля, утворена судном, не йшла за корму. Якщо це відбувається, то судно буде постійно «заповзати» на першу хвилю, тобто весь час буде рухатися в гору. Таким чином буде витрачатися додаткова енергія проти сили тяжіння, що не сприяє збільшенню швидкості судна. Вплив корабельних хвиль на швидкість руху судна розглядаються у багатьох роботах, наприклад у роботі [10].

Важливими вважаються дослідження впливу умов мілководдя на гідродинаміку судна. Вивчення численних експериментальних даних дозволило сформувати деякі загальні уявлення про характер фізичних явищ, що мають місце при обтіканні корпусу судна [13]. Наприклад відомо, що ступінь впливу мілини на опір руху судна залежить від співвідношення між розмірами його корпусу і глибиною води, а також від відносної швидкості руху і, в деякій мірі, від форми обводів судна.

Обмежена глибина впливає на всі складові опору води руху судна, проте ступінь їх зміни в умовах мілководдя в порівнянні з випадком руху судна на глибокій воді виявляється різним. Зміна в'язкісних складових опору води (опору тертя та опору форми) при русі судна в умовах обмеженої глибини пов'язано зі зростанням місцевих швидкостей обтікання корпусу через вплив дна водойми, тобто, з появою зустрічного потоку (інакше, «потоку витіснення»). В'язкісний опір може зрости на 10 -15% у порівнянні з його величиною для випадку руху судна з тими ж швидкостями на глибокій воді. Вважається, що відносне зростання цього опору на мілководді практично не залежить від швидкості.

Найбільш сильний вплив мілководдя позначається на величині та характері зміни хвильового опору. Різка зміна хвильового опору пов'язана у даному випадку з різницею властивостей, якими характеризуються корабельні хвилі, що утворюються на глибокій і мілкій воді. Між довжиною поперечних хвиль, що утворюються при русі судна на мілкій і глибокій воді, а також між швидкістю поширення хвильового профілю в цих умовах, існують певні співвідношення [13, 14].

Гранична швидкість поширення поперечних хвиль на мілководді теоретично досягає значення $V_{\kappa p} = \sqrt{gH}$ і дорівнює швидкості переміщення одиночної хвилі, що має вигляд горба зі зворотно-поступальним рухом частинок рідини. Поки швидкість руху судна на мілководді така, що довжина хвиль, що утворюються при цьому, незначно відрізняється від довжини хвиль на глибокій воді, картина хвилеутворення в обох випадках практично залишається однаковою (рис. 1.9).



Рис. 1.9 – Схема корабельних хвиль на глибокій воді:1 - гребені хвиль, що розходяться; 2 - гребені поперечних хвиль [15].

Спостереження показують, що ця умова має місце за швидкості V ≤ 0.4 √gH. Разом зі збільшенням довжини хвиль при подальшому зростанні швидкості руху судна на мілководді починається трансформація картини хвилеутворення (рис. 1.10).



Рис. 1.10 – Схематичне зображення змін характеру корабельних хвиль на мілководді залежно від відносної швидкості руху судна: а) початок трансформування хвиль (V $\approx 0.4 \sqrt{gH}$); б) хвилі закритичної

швидкості (V = 0.4 \sqrt{gH}); в) хвилі при закритичних швидкостях (V > 0.4 \sqrt{gH}) [15].

Вплив корабельних хвиль на швидкість руху судна розглядався у роботі [12]. Гідродинамічні розрахунки динамічного тиску, що створюється судном, наведені в роботі [13]. На рис. 1.11 показано розподіл ізоповерхні динамічного тиску 2500 Па (синім кольором - негативний тиск, червоним - позитивний).



Рис. 1.11 – Схема ізоповерхні динамічного тиску 2500 Па на підводній частині судна (синій колі – негативна аномалія тиску, червоний колір – позитивна аномалія тиску) [13].

За результатами розрахунку підтверджується очікувана позитивна аномалія динамічного тиску в носовій частині судна а також кормова позитивна аномалія динамічного тиску. Форма ізобари динамічного тиску 2500 Па в умовах мілини змінюється за рахунок взаємодії зони надмірного динамічного тиску навколо підводної частини корпусу судна з дном, що підтверджене розрахунками, виконаними для умов «мілкої» води (рис. 1.12).



Рис. 1.12 – Схема ізоповерхні динамічного тиску 2500 Па на підводній частині судна в умовах мілкої води (синім кольором показано негативний тиск, червоним - позитивний) [13].

Аналіз гідродинаміки корабля оцінюється певними інтегральними характеристиками, і досі не досліджувався в динаміці шляхом обробки даних гідродинамічного моделювання статистичними методами.

1.5 Аналіз літератури за проблемою математичного моделювання змін форми геоїду

Позиціонування судна - це найголовніша складова забезпечення безпеки мореплавства. У даний час, позиціонування судна здійснюється переважно за даними супутникової геодезії. У цьому розділі нами продемонстровано можливості фізико-статистичного моделювання часових змін поверхні геоїду (рівня моря) для оцінки систематичних похибок позиціонування методами супутникової геодезії. Тобто ми показуємо, як дані гідрометеорологічних вимірювань, шляхом обробки статистичними методами, можуть бути використані як базові в оцінці помилок орбітальних характеристик геодезичних супутників.

Ефективність методів супутникової геодезії залежить від ряду

похибок, у тому числі, від невідповідності (неспівпаданні) положення географічного центру Землі та центру її маси.

На рис. 1.13 а показана схема геоцентричної системи WGS-84, відповідно до якою центром відліку є географічний центр планети.



Рис. 1.13 – Схеми геоцентричної системи WGS-84: а) осі координат, б) відлікові поверхні еліпсоїду та сфероїду [16].

Топографія морської поверхні отримується в геоцентричній системі координат WGS-84 (рис. 1.13 б) та перераховується відносно відлікової

поверхні (тобто поверхні геоїду).

Методи супутникової геодезії базуються на геодезичних супутниках як геодезичних реперах, точність положення яких залежить від точності визначення орбітальних параметрів супутників. Геодезичні супутники обертаються навколо центру маси Землі, який може не співпадати з її географічним центром, що є причиною виникнення похибок визначення координат у геоцентричній системі World Geodetic System (WGS-84).

Є посилання на те, що центр мас Землі рухається відносно географічного центру [17]. На рис. 1.14 показані зміни форми геоїда (відстані від орбіти альтиметричного супутника до поверхні океану) у 1993 - 2003 роках.



Рис. 1.14 – Графік змін у часі форми геоїда: 1 –середній глобальний рівень океану; 2 - рівень в Індійському океані та західному секторі Тихого океану; 3 - рівень у східній частині Тихого океану і в Атлантичному океані [18].

У період 1997 - 1999 роки поверхня геоїду в Індійському океані піднялася, а на зворотному боці Землі синхронно у часі опустилася. Це практично не змінило середній глобальний рівень океану. Очевидно, що такі зміни форми геоїду виникли за умов зміщення центру мас Землі у напрямку Індійського океану. Зсув центру мас Землі співпав у часі з аномальною зміною параметра сплющення Землі J₂ [18]. У 1998 році була зафіксована аномальна зміна знаку J₂ з від'ємного значення на позитивне, що викликало стрибкоподібну зміну кутової швидкості обертання Землі.

На відміну від наведеного прикладу епізодичного зсуву центру мас Землі відносно її географічного центру, який формує похибку визначення координат випадкового характеру, періодичні зміни положення центру мас Землі формують систематичні похибки, які можуть бути враховані шляхом введення відповідних поправок.

Слід зазначити, що існують інші процеси, що формують орбітальні похибки. Як приклад можна навести орбітальні похибки, що створюються «Новою глобальною модою геодеформацій Землі», яка має річну циклічність [19]. Алгоритм возначення цієї похибки може бути створено у майбутньому завдяки математичному моделюванню.

Крім цього важливо відзначити, що відмінність форми морської поверхні від форми геоїда може бути пов'язана з ефектом обертання рідкої оболонки Землі. На рис.1.15 представлені результати математичного моделювання «мілкої води» на сфері, що вказують на можливість існування власної форми рідкої оболонки на сфері, що обертається, яка теж може створювати порхибку позиціонування.



Рис. 1.15 – Схема власної форми рідкої оболонки в геоцентричній системі координат на сфері, що обертається [20].

Алгоритм возначення цієї похибки може бути створено у майбутньому завдяки математичному моделюванню.

З метою введення поправок на періодичні відхилення центру мас Землі від геометричного центру Землі в геоцентричній системі WGS-84, нами були досліджені характеристики Ейлерівської нутації Землі. Точність методів супутникової геодезії залежить від ряду похибок, у тому числі, невизначеності орбітальних характеристик супутників під дією гравітаційного поля планет, невизначеності орбітальних характеристик геодезичних супутників за умов розбіжності у положенні географічного центру Землі та центру її маси тощо. В роботі [21] вказано, що незалежно від гравітаційної взаємодії з іншими тілами Сонячної системи, Земля відчуває вільну Ейлерівськую нутацію. Коливання виникають через те, що вісь обертання Землі злегка нахилена до осі найбільшого моменту інерції.

Спектральний аналіз періодичних рухів полюсу Землі показав на наявність впливу планет Сонячної системи на точність супутникової геодезії [22, 23]. Виявлена систематична періодична похибка впливу: Сатурна fs = 0,9660 цикл/рік (Ts = 1,035 м); Юпітера fj = 0,9157 цикл/рік (Tj = 1,092 м); Венери fv = 0,6250 цикл/рік (Tv = 1,6 м); Марса fm = 0,4885 цикл/рік (Tm = 2,047 м) (рис. 1.16).



Рис. 1.16 – Спектр часового ряду руху полюсу Землі у 1890 - 1969 роках (по осі X_p (суцільна лінія), по осі Y_p (пунктирна лінія))[22].

В результаті аналізу періодичних рухів полюсів Землі авторами вказано на факт існування «Ейлерівської нутації»: fe = (1,19- 1,21) цикл/рік (період 305 діб) (рис. 1.16).

Супутникова альтиметрія застосовується для вимірювання топографії поверхні океану (форми геоїду). Топографія поверхні визначається шляхом вимірювання відстані від супутника до поверхні Орбітальні характеристики супутника вимірюються океану. В геоцентричній системі координат WGS-84. Альтиметричні супутникові апарати запускаються на приполярні квазіколові орбіти. Висота їх орбіт від ~ 650 до ~ 1500 км, період обертання 100 хвилин. На рис. 1.17 показані значення орбітальних похибок деяких супутникових альтиметричних проєктів.



Рис. 1.17 — Значення орбітальних похибок різних супутникових альтиметричних проєктів [24].

Сучасні космічні системи знизили орбітальні похибки до декількох сантиметрів.

У роботі [23] за даними вимірювань змін рівня Чорного моря (часових рядів рівня моря) в Одеській затокі супутниковими альтиметричними методами і контактними вимірами на береговому пункті, були досліджені відмінності їх спектральних характеристик. Приклад вхідних даних наведено на рис. 1.18.

VARI	ABI	LE :	H (cm)						
DATA	S	ET :	BLACKSEA	NRT MSI	LA MERGI	ED			
FILE	NA	ME :	duacs bla	acksea n	rt msla	merged	h		
FILE	PAS	TH :	http://r	dp2-jaur	e.cls.	fr : 8180,	thredds	/dodsC/	
SUBSET :			121 by 57 points (LONGITUDE-LATITUDE)						
			30.5E	30.62E	30.75E	30.88E	31E	31.12E	
			29	30	31	32	33	34	
47N	1	57:							
46.88N	1	56:							
46.75N	1	55:							
46.62N	1	54:							
46.5N	1	53:			0.19	0.13	0.10	0.19	
46.38N	1	52:			0.47	0.35	0.31	0.42	
46.25N	1	51:			1.06	0.82	0.74	0.83	
46.12N	1	50:		2.44	1.89	1.55	1.39	1.35	
4 6N	1	49:	4.61	3.70	3.10	2.56	2.11	1.83	
45.88N	1	48:	6.04	5.52	4.75	3.88	2.97	2.34	
45.75N	1	47:	7.73	7.03	6.07	4.95	3.82	2.82	
45.62N	1	46:	9.11	8.10	6.74	5.33	4.06	2.84	
45.5N	1	45:	10.02	8.71	7.03	5.30	3.85	2.59	
45.38N	1	44:	10.15	8.55	6.74	4.95	3.39	2.12	

Рис. 1.18 – Вхідні дані для розрахунків орбітальної похибки методу супутникової геодезії [24].



Приклад часового ряду рівня моря показано на рис. 1.19.

Рис. 1.19 – Графік змін у часі рівня Чорного моря за даними альтиметричних спостережень [24].

Визначені відмінності полягають у тому, що дані контактних вимірювань рівня моря не фіксують гармоніку з періодом 10,3 місяця (305 діб), а супутникові вимірювання включають зазначену гармоніку [23]. Наявність фіктивної гармоніки змін форми геоїду була підтверджена розрахунками в різних точках Чорного моря від Варни до Поті і від Одеси до Стамбула [23].

Враховуючи те, що контактні вимірювання рівня океану є еталонними у порівнянні зі супутниковими, авторами зроблено висновок про те, що гармоніка з періодом 10,3 місяця (Ейлерівська вільна нутація) є фіктивною [26-28]. Зроблено висновок, що супутникові альтиметричні вимірювання фіксують не зміни рівня моря з періодом 10,3 місяця, а похибку визначення орбіти геодезичних супутників за умов невідповідності центру мас Землі її географічному центру.

Слід зазначити, що зміни у часі амплітудних характеристик зазначеної похибки орбіт геодезичних супутників не були досліджені.

1.6 Аналіз літератури за проблемою математичного моделювання літодинамічних процесів, які впливають на акумулятивний рельєф морського дна

Акумулятивні форми рельєфу морського дна в районах мілководь представляють собою навігаційні перешкоди. На відміну від скель, просторове положення яких та глибина практично не змінюються, навігаційні перешкоди типу банок та барів є мінливими у часі. Вважається, що їх геометрія і просторове положення можуть мінятися після шторму, що потребує додаткових гідрографічних «промірних» робіт. Навігаційне забезпечення мореплавства включає оперативне оновлення інформаційного шару про глибини моря. Для планування повторних зйомок мілководь, які потрібні для гідрографічних забезпечення мореплавства інформацією про небезпечні глибини, необхідно знати про процеси, які впливають на трансформацію акумулятивного рельєфу морського дна [29]. В роботах [30-32] показано, що швидкоплинні небезпечні зменшення глибин можуть виникати за умов трансформації підводних акумулятивних форм рельєфу (бари, банки), які здатні перетворюватися у надводні акумулятивні форми (коси, перейми).

Ендогенна теорія формування і трансформації акумулятивних форм, головною характеристикою яких є неочікувана прямолінійність та стабільність існування у часі, базується на врахуванні ефекту зменшення течії швидкості вертикальними потоками підземних вод, шо розвантажуються тектонічних розломів, уздовж які також € прямолінійними [30, 32]. Експериментальне та теоретичне визначення впливовості розвантаження підземних вод течії в районах вертикальної міграції підземних вод - не досліджувалося.

1.7 Висновки до першого розділу

Здійснено аналіз літературних джерел з подальшою оцінкою основних аспектів вирішення проблеми підвищення безпеки мореплавства шляхом впровадження математичного моделювання В галузь гідрометеорологічного навігаційно-гідрографічного та забезпечення. Обґрунтована актуальність створення підґрунтя для методичної розробки з застосування методу фізико-статистичного (емпіричного) моделювання для обчислення результатів математичного (теоретичного) моделювання та для перевірки теоретичних гіпотез. Обґрунтована доцільність розробки та апробації низки тестових алгоритмів математичного моделювання у галузі навігації та гідрометеорології, як прикладів, що підтверджують важливість впровадження сучасних методів математичного моделювання для забезпечення безпеки мореплавства.

65

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У дисертаційній роботі досліджується проблема створення методичного підгрунтя з обчислення статистичними методами, якими зазвичай обробляють емпіричні дані, результатів моделювання, виконаного детерміністичними (теоретичними) методами. Математичне застосовується моделювання для отримання просторово-часового розподілу розрахункового параметру. Відомі алгоритми обчислення даних статистичними методами для отримання інформації про приховані закономірності ïχ просторових змін. Програмним забезпеченням передбачені розрахунки середнього значення, моди, дисперсії, ентропії, просторових корелограм та спектрограм.

За останні 10 років розвинувся напрямок динамічного моделювання, яке дозволяє, у тому числі, отримувати зміни у часі просторового розподілу розрахункового параметру. Досвіду обробки даних динамічного моделювання статистичними методами у напрямку гідрометеорологічного навігаційно-гідрографічного забезпечення не ichye. 3 метою та аналізу вдосконалення процесу даних, які надаються системами гідрометеорологічного навігаційно-гідрографічного забезпечення та судноплавства, вирішено в якості прикладу розробити низку алгоритмів фізико-статистичного моделювання результатів математичного моделювання у напрямках: позиціонування методом супутникової геодезії, пошуку та розпізнавання цілей гідроакустичними та гідродинамічними фізичних полів корабля, руху методами, визначення В складних навігаційних умовах, динаміки навігаційної обстановки.

2.1 Методи розрахунку рефракції акустичних хвиль

«forward Судові сонари типу looking sonar», стаціонарні гідроакустичні системи висвітлення підводної обстановки, стаціонарні системи позиціонування, що використовують гідроакустичні маяки, працюють у морському середовищі, яке викривлює фронт акустичної хвилі, за рахунок чого виникають зони акустичної тіні. За таких умов, в лальності лiï гідроакустичних систем, гідролокація межах та шумопеленгація стає перервною у просторі. За умов рефракції зазначений тип сонарів на певній відстані перестає фіксувати навігаційну перешкоду, втрачається сигнал від гідроакустичних маяків. Зменшення негативного впливу рефракції на гідроакустичні системи стає можливим лише за умов наявності закономірностей розподілу у просторі зон акустичної тіні. Такі закономірності можуть бути виявлені, якщо результати розрахунку рефракції аналізувати з застосуванням статистичних методів.

Для визначення просторового розподілу зон акустичної тіні можуть використовуватися різні теоретичні методи [33].

Відповідно до загальноприйнятої класифікації, моделі розповсюдження звуку поділяють на дві категорії:

a) променеві моделі (променева акустика): моделі для розрахунків траєкторій променів та квазікласичне наближення;

б) хвильові моделі (хвильова акустика): моделі нормальних мод, моделі швидкої апроксимації поля та моделі параболічної апроксимації.

Хвильові методи базуються на вирішенні хвильових рівнянь за умов розв'язання рівняння Гельмгольца для різних частот та подальшого синтезу Фур'є. Крім врахування таких статичних факторів, як просторові зміни швидкості звуку, зміни форми морської поверхні та дна, розв'язання рівняння Гельмгольца потребує застосування обчислювальних методів для коректного опису таких стохастичних явищ, як розсіювання та реверберація.

Недоліком методу є низька наочність отриманих результатів з точки зору фізичної інтерпретації та неможливість аналізу отриманих результатів статистичними методами. З цієї причини найбільшого поширення на практиці отримали методи, засновані на променевій теорії поширення звуку. Променева теорія базується на припущенні, що акустична енергія поширюється в межах деякого тілесного кута, що відповідає плоскій хвилі. Таким чином, припускають, що акустична енергія поширюється уздовж траєкторій, так званих акустичних променів. Основою для побудови траєкторії акустичних променів є закон Снеліуса. Нами для розрахунків рефракції використовувався програмний продукт"Interface Package for Long-Range Acoustic Calculations», розроблений на основі променевої гідроакустичної моделі BELLHOP, яка була розроблена у Військово-Морському центрі Naval Ocean Systems Center. Програмний продукт є у відкритому доступі. Програмне забезпечення може використовуватися для енергії час його розрахунків втрат акустичного сигналу під розповсюдження. Його верифікація була виконана шляхом порівняння розрахунків, виконаних результатів за хвильовою променевою та моделями [34, 71]. Відділенням гідроакустики МГІ НАНУ були виконані розрахунки за хвильовою моделлю та проведено експериментальні виміри змін у просторі акустичного тиску в районі північно-західного шельфу Чорного моря [33]. Для подальшої обробки, мною були запозичені верифіковані результати розрахунків за «хвильовою» моделлю та результати розрахунків за «променевою» моделлю. За двома різними моделями були отримані результати розрахунків аномалії розповсюдження звуку.

Результати запозичених даних розрахунків для частоти 516 Гц і для глибин 4,85, 7,75, 9,2 та 12,1 м (при глибині випромінювача 6м [35,33], отриманих двома різними методами) були обчислені методами фізикостатистичного моделювання [34]. В таблиці 2.1 наведено результати порівняння розрахованих спектральних характеристик. Таблиця 2.1 - Результати порівняння періодичностей прояву аномалій розповсюдження звуку (періодичності формування зон акустичної тіні), розрахованих хвильовими та променевими методами.

Глибина	Період	Період	Період	Когерентність
приймача, м	просторового	просторового	просторового	(y.o.)
	амплітудного	амплітудного	взаємного	
	спектру	спектру	амплітудного	
	(хвильовий	(променевий	спектру, м	
	метод), м	метод), м		
4,85	201	214	208	0,77
7,75	217	204	208	0,63
9,2	250	214	227	0,35
12,1	204	211	208	0,86

Аналіз даних, наведених в таблиці, свідчить про добре співпадіння результатів розрахунку зон акустичної тіні за хвильовим та променевим методами. Результати верифікації апробовані на конференції [34]. Наведена інформація дає підставу для розробки алгоритму обробки результатів моделювання просторових змін втрат акустичної енергії статистичними методами.

2.2 Методи гідродинамічного моделювання

Системи автоматизації інженерних розрахунків – загальна назва для програмних пакетів, призначених для вирішення різних інженерних розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів. завдань: Розрахункова частина пакетів найчастіше базується на чисельних методах вирішення диференціальних рівнянь. Це різноманітні програмні продукти, використовують різні розрахункові методи: метод скінченних ЩО елементів, метод скінченних різниць, метод скінченних об'ємів. Сучасні системи інженерного аналізу найчастіше інтегруються в системах автоматизованого програмування, яскравим прикладом яких є SolidWorks Ansys, COMSOL, FlowVision. Зазначені програми призначені для аналізу та симуляції фізичних процесів.

Наведемо деякі дані про рівняння руху в'язкої рідини. Рівняння

отримані із загальних рівнянь руху в напруженнях, справедливих для будьякої однорідної нестисливої рідини. У проекціях на осі координат ці три рівняння руху і одне рівняння нерозривності містять 6 невідомих компонентів напружень і 3 невідомі проекції швидкості. Задача є нерозв'язною. Щоб зменшити число невідомих, введені дві гіпотези. Вважається, що нормальні напруги можуть бути представлені у вигляді:

$$p_{xx} = -p + \sigma_{xx},$$

$$p_{yy} = -p + \sigma_{yy},$$

$$p_{zz} = -p + \sigma_{zz},$$
(2.1)

де р - гідродинамічний тиск у точці, спрямований по внутрішній нормалі до площини; σ_{xx}, σ_{yy}, σ_{zz} - деякі добавки до нього, зумовлені в'язкістю рідини.

Приймається, що кожен з членів матриці напруг пропорційний відповідному члену матриці швидкостей деформацій:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = 2\mu \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \theta_z & \theta_y \\ \theta_z & \varepsilon_y & \theta_x \\ \theta_y & \theta_x & \varepsilon_z \end{pmatrix}.$$
 (2.2)

Використовуючи рівняння (2.1) і (2.2), знаходяться проекції на координатні осі нормальних і дотичних напружень:

$$p_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial v_x}{\partial x};$$

$$p_{yy} = -p + 2\mu \frac{\partial v_y}{\partial y};$$

$$p_{zz} = -p + 2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z};$$

$$\tau_{xy} = \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) = \tau_{yx};$$

$$\tau_{xz} = \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) = \tau_{zx};$$

$$\tau_{yz} = \mu \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) = \tau_{zy}.$$
(2.3)

Знаходять суму нормальних напружень і отримують:

$$p_{xx} + p_{yy} + p_{zz} = -3p + 2\mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}\right).$$
(2.4)

Враховуючи рівняння нерозривності, вираз в дужках дорівнює нулю. Тоді гідродинамічний тиск у точці дорівнює середньо-арифметичному нормальних напружень:

$$-p = \frac{1}{3} \left(p_{xx} + p_{yy} + p_{zz} \right).$$
(2.5)

Підставляючи вирази в диференціальні рівняння руху і, перетворюючи їх, отримують:

$$\frac{dv_{x}}{dt} = g_{x} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^{2} v_{x}}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} v_{x}}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} v_{x}}{\partial z^{2}} \right);$$

$$\frac{dv_{y}}{dt} = g_{y} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^{2} v_{y}}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} v_{y}}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} v_{y}}{\partial z^{2}} \right);$$

$$\frac{dv_{z}}{dt} = g_{z} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^{2} v_{z}}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} v_{z}}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} v_{z}}{\partial z^{2}} \right).$$
(2.6)

У векторній формі рівняння руху має вигляд:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \nu \Delta v.$$
(2.7)

В окремому випадку нев'язкої рідини кінематична в'язкість N = 0, і приходять до диференційних рівнянь Ейлера. Додаючи до системи рівнянь Ейлера рівняння нерозривності, отримують замкнуту систему чотирьох рівнянь для визначення чотирьох невідомих: тиску р і проекцій швидкості V_x , V_y , V_z .

Для розрахунку конкретної течії в'язкої рідини, тобто, знаходження часткового розв'язку системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса (2.6) і рівняння нерозривності, додатково враховують граничні та початкові умови руху. Кінематичні граничні умови виходять з фізичного факту «прилипання» частинок в'язкої рідини до поверхні твердого тіла. Отже, при обтіканні нерухомого твердого кордону, наприклад, тіла з поверхнею S, на цьому кордоні повинна дотримуватися умова V = 0, де V - вектор швидкості рідини.

Рівняння (2.7) може бути перетворено до іншої форми, по аналогії з рівнянням Громеко:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \operatorname{grad}\left(\frac{v^2}{2}\right) + \operatorname{rot} \vec{v} \times \vec{v} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p - v \text{ rot rot } \vec{v}.$$
(2.8)

Якщо не враховувати також і об'ємні сили, то рівняння Нав'є-Стокса набуде вигляду:

$$\Delta v = \frac{1}{\mu} \operatorname{grad} p \,. \tag{2.9}$$

Наведені рішення реалізуються у всіх зазначених програмних продуктах.

Як вже було сказано, передбачені розрахунки у газах, стискувани та нестискуваних рідинах. Для розрахункув руху об'єкту у воді задіюється принципи та процеси, що відповідають рівнянню Бернуллі та «неперервності», відповідно

$$Z+P/pg+u^2/2g=const,$$
 (2.10)

де Z – геометрична висота точки;

P/pg – висота, обумовлена величиною гідродинамічного тиску;

u²/2g – висота, обумовлена швидкістю руху даної частки, велечину u²/2g в гідравліці прийнято називати швидкісною висотою, чи швидкісним напором.

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad , \tag{2.11}$$

де $\frac{\partial u_x}{\partial x} \cdot \frac{\partial u_y}{\partial y} \frac{\partial u_z}{\partial z}$ - проекції вектору швидкості на осі координат.
На рис. 2.1 показано розрахунковий простір гідродинамічного моделювання судна.



Рис. 2.1– Схематичне зображення розрахункового простору гідродинамічного моделювання підводної частини судна.

На рис.2.2 наведено початкову розрахункову сітку гідродинамічного моделювання судна.



Рис. 2.2 – Схематичне зображення початкової розрахункової сітки гідродинамічного моделювання судна.

Згущення розрахункової сітки зроблене для того, щоб більш точні

розрахунки проводились біля судна. Для зменшення часу розрахунку моделі, збільшують розмір комірок біля стінок. Згущення розрахункової сітки до катера по осі X, У, Z показане на рис. 2.3.





Рис. 2.3 – Схематичне зображення результату згущення розрахункової сітки до судна вздовж осі: а) -Х, б) -У, в)- Z.

Адаптація розрахункової сітки проходить у 3 етапи:

- адаптація на граничних умовах;
- адаптація в об'ємі;
- адаптація зі згущенням до стінок області.

Приклад адаптації розрахункової сітки в об'ємі наведено на рис.2.4.



Рис. 2.4 – Схематичне зображення результату адаптації розрахункової сітки в об'ємі.

Проблема гідродинамічного моделювання розглядалася у публікаціях [13, 36, 37, 73].

2.3 Методи фізико-статистичного моделювання

Для опрацювання просторових та часових змін фізичних параметрів були застосовані класичні методи кореляційного, регресійного та спектрального аналізу.

Методами фізико-статистичного моделювання (розрахунки амплітудного спектру, залучення вузько- смугової фільтрації цифрових рядів) можуть бути обчислені:

- часові зміни похибки позиціонування методами супутникової геодезії за умов Ейлерівської нутації, отриманні шляхом математичного моделювання орбітальних характеристик альтиметричних супутників Землі;

результати моделювання (за променевою моделлю) просторових
змін щільності гідроакустичної енергії, яку випромінює судовий
гідролокатор;

 результати часових змін надмірного тиску підводної частини корпусу судна на водне середовище з отриманням гідроакустичної сигнатури судна.

Методами фізико-статистичного моделювання (розрахунки кореляційної матриці мінливості надмірного тиску на сусідніх ділянках підводної частини судна) можуть бути обчислені: характеристики турбулентності, що впливають на морехідні властивості судна.

Методами регресійного аналізу (розрахунки експоненційної апроксимації залежності змін вертикальної відстані (корпус судна - ізобара надмірного тиску), від швидкості руху, що впливає на морехідність корабля і можливості маневрування.

Як результат підрозділу - створено реєстр задач навігаційного і

•	•	~	1	2.5
Γ1 Π D OMETEO1	DOTOTIVHOTO) забезпе	чення флоту	пис 25
пдрометеор		Juoeshe	form whory	pnc. 2.5.

Назва напрямку Позиціонування	Принцип роботи геодезія	Математичний апарат Перетворення Фур'є	Вхідні дані Альтиметричні вимірювання рівня	Обробка результатів теоретичного моделювання статистичними методами	Наявність динамічного моделювання так	Отримані результати Розроблено алгоритм моделювання часових змін похибки позщіонування
Виявлення навігаційних перешкод	Гідроакустика	Розв'язання рівнянь променевої гідроакустики + Перетворення Фур'є	океану Вертикальний розподіл швидкості звуку + рельєф морського дна	так	так	Розроблено алгоритм моделювання просторових змін перерваності відстеження навігаційної перешкоди
Розпізнання цілей	Гідроакустика	Розв'язання рівнянь Нав'є Стокса + Перетворення Фур'є	Швидкість руху судна + форма підводної частини судна	так	так	Розроблено алгоритм моделювання акустичного портрету рухомої цілі
Забезпечення безпеки руху за умов мінної загрози	Гідродинаміка	Розв'язання рівнянь Нав'є Стокса + регресійний аналіз	Швидкість руху судна + рельєф морського дна + форма підводної частини судна	так	так	Розроблено алгоритм моделловання відстані критичної ізобари від корпусу судна
Забезпечення економного руху	Гідродинаміка	Розв'язання рівнянь Нав'є Стокса + регресійний аналіз	Швидкість руху судна + форма підводної частини судна	так	так	Розроблено алгоритм моделювання змін критичного показника параметра швидкості руху судна
Забезпечення безпеки руху у вузкостях	Гідродинаміка	Розв'язання рівнянь Нав'є стокса	рельеф морського дна, конфігурація берегової смути + швидкість та напрямок вітру	Ξ.	так	Розроблено алгоритм моделювання просторових змін вектору течії
Забезпечення максимальної швидкості руху	Гідродинаміка	Розв'язання рівнянь Нав'є стокса + Кореляційний аналіз	форма підводної частини судна + швидкість судна	Так	так	Розроблено алгоритм моделювання просторових змін критичного показника параметра турбулентності на підводної частині судна
Забезпечення безпеки руху на мілководді	Літодинаміка	Розв'язання рівнянь Нав'є стокса	швидкість та напрямок течії + рельєф морського дна	-	так	Розроблено алгоритм моделювання змін акумулятивного рельєфу дна після шторму

РЕЄСТР ЗАДАЧ НАВІГАЦІЙНОГО ТА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФЛОТУ

Рис 2.5 – Реєстр задач навігаційного і гідрометеорологічного забезпечення флоту.

2.4 Висновки до другого розділу

Гідроакустика вивчає процес розповсюдження У водному середовищі поздовжніх об'ємних хвиль та проблеми розрахунку руху фронту акустичної хвилі, з метою визначення відстані до цілі та азимуту цілі. Моделювання руху фронту акустичної хвилі здійснюється за променевою розрахунковою моделлю (розв'язуються рівняння геометричної оптики), хвильовою моделлю (розв'язуються хвильові рівняння). Визначено, що результати розрахунків променевої моделі розповсюдження звуку є очевидними та простими для візуального аналізу, а зони акустичної тіні можуть бути отримані у вигляді чисельних рядів просторових змін щільності акустичної енергії.

Результати просторових змін щільності акустичної енергії, раніше статистично не оброблялися.

Гідродинамічні процеси на сучасному рівні розраховуються шляхом розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса. Результати математичного моделювання у вигляді просторово-часових змін полів тиску раніше статистично не обраховувалися.

•

РОЗДІЛ З. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ГАЛУЗЬ НАВІГАЦІЇ

У цьому розділі розглянуто пробреми підвищення точності позиціонування, визначення негативного впливу рефракції на гідроакустичні засоби пошуку цілі, засобів підводного позиціонування та зв'язку, проблеми ідентифікації суден по сигнатурі акустичного поля корабля та створюваного корпусом кільватерному сліду, проблеми руху в районах з навігаційною перешкодою типу донних мін.

3.1 Апробація алгоритму визначення похибки позиціонування методами супутникової геодезії

Головний постулат: вважається, що зміни центру мас Землі, що приводять до похибок позиціонування, відбиваються у змінах форми геоїду, у тому числі форми геоїду Чорного моря.

методів Для демонстрації використання фізико-статистичного моделювання, з метою оцінки помилок супутникової геодезії, були виконані додаткові дослідження періодичних змін форми геоїда Чорного моря. Дані відкритої міжнародної розрахунків запозичені 3 бази для ланих супутникових альтиметричних вимірювань рівня Світового океану [23, 26-28, 38]. На рис. 3.1 показано амплітудні спектри часових змін рівня моря за супутниковими та береговими даними спостережень [23].



Рис. 3.1 – Амплітудні спектри часових змін рівня моря в Одеській затоці за супутниковими (червоний колір) та береговими (зелений колір) даними спостережень [23].

Визначено, що річний цикл та цикл Чандлера (14,2 місяця) фіксуються як супутниковими, так і контактними спостереженнями. Як вже було сказано, циклічність 305 діб (10,3 місяця) контактним даними не фіксується.

Для вибору точки вимірювання варіацій положення геоїда Чорного моря, нами була врахована карта морської середньокліматичної динамічної топографії, показана на рис. 3.2 [39].



Рис. 3.2 – Карта середньокліматичної топографії Чорного моря (м) [39].

В результаті, був обраний район з «нульовими» значеннями даного параметра (43°пн.ш. і 30°сх.д.). Далі був сформований часовий ряд, довжиною 15 років з дискретністю вимірювань 10 діб, для розрахунку енергетичного спектру (рис. 3.3).



Рис. 3.3- Спектр зміни форми геоїда Чорного моря, у точці з координатами 43°пн. ш. і 30 сх.д.

На спектрі проявилися періодичності 365 і 305 діб, що підтверджує результати, викладені в монографії [23]. З метою визначення ступеня достовірності виявлених періодичностей, була розрахована інтегрована періодограма. Результати розрахунку показали, що спектральні оцінки є статистично значущими, перевищують 95% довірчий інтервал. Виконана фільтрація Ейлерівської вільної нутації, шляхом застосування смугастозакриваючого фільтру (смуга 320 - 290 діб) та послідовного застосування фільтру низьких частот (порогове значення 290 діб) і низькочастотного фільтру (порогове значення 320 діб) (рис. 3.4) [40, 41].



Рис. 3.4 – Графік часових змін орбітальної похибки позиціонування, розрахованої шляхом фільтрації даних зміни форми геоїда

Чорного моря: 1 - методом вузькосмугової фільтрації; 2 - методом послідовного застосування низькочастотного та високочастотного фільтрів.

Вперше встановлено, що для періоду вільної Ейлерівської нутації, амплітуда коливань поверхні геоїда Чорного моря не є стабільною в часі. Максимальні амплітуди перемежовуються мінімальними амплітудами з періодом 5 - 6 років. В роботі [38] зазначено, що гармоніка з періодом 305 діб та річна гармоніка з періодом 365,25 доби синхронізуються раз у шість років, що супроводжується збільшенням інтегрованої амплітуди спільного коливального процесу. На думку автора [38], з цим періодом повинні змінюватися полярний і екваторіальний моменти інерції Землі, а отже повинна змінюватися і швидкість обертання Землі навколо своєї осі. Зміни кутової швидкості обертання Землі дійсно відбуваються з періодом близьким до шести років [38, 40, 41].

Нами підтверджено, що шестирічну амплітудну модуляцію 305-добової гармоніки (амплітуда близько 8 см) слід формалізувати у вигляді помилки визначення орбітальних характеристик, обчислених в геоцентричних системах координат.

3.2 Апробація алгоритму визначення систематичних обмежень дальності дії акустичних засобів гідролокації, шумопеленгації, звукопідводного зв'язку, підводного позиціонування з причин рефракції

Головний постулат: передбачається можливість існування систематичного спотворення дальності дії акустичних засобів гідролокації, шумопеленгації, звукопідводного звязку, підводного позиціонування з причин рефракції, зменшувати <u>ïï</u> негативний ЩО дозволяє вплив шляхом маневрування.

Безпека мореплавства у вузкозтях залежить від багатьох факторів. Одним з найвпливовіших факторів є навігаційні перешкоди типу підводних скель, айсбергів тощо. Просторові координати підводних навігаційних перешкод визначаються гідроакустичними методами. На рис. 3.5 показано як функціонує Forward Looking Sonar.



Рис. 3.5 – Схематичне зображення принципу роботи Forward Looking Sonar [42].

Найбільш проблемним місцем у гідроакустиці є невизначеність просторово-часової мінливості властивостей середовища, в якій поширюється акустичний сигнал. В результаті цього, напрямок сигналу не завжди відповідає реальному напрямку на об'єкт, а обчислена відстань до об'єкта може бути істотно коротшою фактичної. Крім цього, вже на незначних відстанях від випромінювача поширення акустичного сигналу може характеризуватися існуванням зон гідроакустичної «тіні», як це показано на рис. 3.6.



Рис. 3.6 – Схематичне зображення рефракції акустичних хвиль [43].

Алгоритм розрахунку променевих схем розповсюдження фронту шматочно-лінійній гідроакустичної хвилі базується на апроксимації розподілу швидкості звуку, розрахунку горизонтальної вертикального відстані, яку проходить акустичний промінь у шарі з постійним градієнтом швидкості звуку. Результати розрахунку для будь якої глибини дозволяють розрахувати втрати акустичної енергії, тобто просторові зони, в яких щільність акустичних променів значна (акустичний тиск високий) і просторові зони, в яких щільність акустичних променів незначна (акустичний тиск незначний, а може й відсутній).

Нами вперше були обчислені результати розрахунку втрат акустичної фізико-статистичного В енергії, методами моделювання. результаті застосування спектральних методів обробки даних мінливості ширини циклічно проявлених зон низької щільності акустичної енергії (акустичної тіні) в межах Азово-Чорноморського регіону (о. Зміїний, Одеська затока, Очаків, Маріуполь), нами визначені періоди чергування зон акустичної тіні. Вперше, ШЛЯХОМ застосування фізико-статистичного моделювання (спектрального та взаємноспектрального аналізу просторових втрат акустичної енергії) результатів розрахунку просторових втрат акустичної енергії, встановлено наявність чітких просторових циклів прояву зон гідроакустичної тіні [44 - 54, 69,70]. Результати порівняння розрахунків для суміжних місяців, вперше підтвердили існування спадкоємності змін у часі періодичних просторових змін положення зон гідроакустичної тіні.

Як приклад, проаналізуємо розрахунки, виконані для району о. Зміїний.

Згідно рис. 3.7 у січні зона низької щільності акустичного сигналу повторюється з просторовою періодичністю 1000 м. У лютому (рис. 3.7) зазначена зона повторюється з просторовою періодичністю 1100 м.



Рис. 3.7 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: січень (червоний), лютий (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У порівнянні з січнем, у лютому акустичний тиск у межах зони акустичної тіні дещо підвищився, тобто деякі промені починають входити в зону акустичної тіні.

У березні (рис. 3.8) зони низької щільності акустичного тиску формуються через кожні 625 м.



Рис. 3.8 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні (лютий (червоний) – березень (фіолетовий) взаємний спектр (зелений).

У квітні зони низької щільності акустичного сигналу повторюються через 434 м, а у травні – через 260 м. Результати розрахунків наведені на рис. 3.9.



Рис. 3.9 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: квітень (червоний), травень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У червні (рис. 3.10) ширина зони низької щільності акустичного сигналу повторюється практично за таким періодом, як і у травні (повторюється кожні

238 м). Щільність акустичних променів в зоні гідроакустичної тіні зменшується.



Рис. 3.10 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: травень (червоний), червень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У серпні (рис. 3.11) ширина зони низької щільності акустичного сигналу практично не змінюється і повторюється кожні 263 м.



Рис. 3.11 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: червень (червоний), липень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У серпні (рис. 3.12) зони низької щільності акустичного сигналу повторюється кожні 328 м.



Рис. 3.12 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: липень (червоний), серпень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У вересні (рис. 3.13) зона низької щільності акустичного сигналу створюється з періодичністю 514 м.



Рис. 3.13 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: серпень (червоний), вересень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У жовтні (рис. 3.14) ситуація залишається незмінною і зона низької щільності акустичного сигналу повторюється з періодичністю 465 м.



Рис. 3.14 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: серпень (червоний), вересень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

У листопаді (рис. 3.15) формується нова зона низької щільності акустичного сигналу, яка повторюється з періодичністю 1250 м (ступінь негативного впливу 10350 у.о.). У грудні ця зона стає вужчою і повторюється з періодичністю 769 м (ступінь негативного впливу 7274 у.о.). Така ситуація залишається незмінно у січні та лютому.



Рис. 3.15 – Амплітудні спектри та взаємний спектр просторової мінливості зон акустичної тіні: серпень (червоний), вересень (фіолетовий), взаємний спектр (зелений).

На рис.3.16 показано зміни ширини зон акустичної тіні протягом року у





Рис. 3.16 – Графік змін у часі відстаней між зонами акустичної тіні, розраховані для 4-х районів Азово-Чорноморського регіону.

Для визначення фазових та амплітудних характеристик просторового розподілу зон акустичної тіні було виконано процедуру вузько-смугової фільтрації даних для головної гармоніки.

У січні (рис. 3.17) зона акустичної тіні повторюється з періодичністю 1000 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 1000 м.



Рис. 3.17 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (січень).



У лютому (рис. 3.18) зона акустичної тіні повторюється з періодичністю 1111 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 1100 м.

Рис. 3.18 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (лютий).

У березні (рис. 3.19) зазначена зона повторюється кожні 625 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 1250 м.



Рис. 3.19 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (березень).

У квітні (рис. 3.20) зони низької щільності акустичного сигналу повторюються кожні 434 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає

на відстані 900 м.



Рис. 3.20 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (квітень).

У травні (рис. 3.21) зона низької щільності акустичного сигналу повторюються кожні 260 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 250 м.



Рис. 3.21 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (травень).

У червні (рис. 3.22) зона низької щільності акустичного сигналу повторюється кожні 238 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 250 м.



Рис. 3.22 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (червень).

У липні (рис. 3.23) зона низької щільності акустичного сигналу повторюється кожні 263 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 250 м.



Рис. 3.23 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (липень).

У серпні (рис. 3.24) зона низької щільності акустичного сигналу повторюється кожні 328 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 1000 м.



Рис. 3.24 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (серпень).

У вересні (рис. 3.25) зони створюються з періодичністю 514 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 1800 м.



Рис. 3.25 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (вересень).

У жовтні (рис. 3.26) зони низької щільності акустичного сигналу

створюються з періодичністю 465 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 500 м.



Рис. 3.26 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (жовтень).

У листопаді (рис. 3.27) зони низької щільності акустичного сигналу створюються з періодичністю 1250 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 1300 м.



Рис. 3.27 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (листопад).

У грудні (рис. 3.28) формується нова зона низької щільності акустичного сигналу, яка повторюється з періодичністю 769 м. Перша смуга найкращого визначення цілі виникає на відстані 800 м.



Рис. 3.28 – Графік змін у просторі показника щільності акустичної енергії (зелена лінія) і розрахованої методом вузькосмугової фільтрації гармоніки зон акустичної тіні (грудень).

Отримані результати пройшли верифікацію під час проведення Державних випробувань гідроакустичного комплексу «Ятрань», які відбулися у жовтні 2017 року навколо о. Зміїний. Випробування виконувалися з борту корабля та з борту гвинтокрила, на якому було розміщено джерело акустичних шумів (частота випромінювання складала 80 Гц). На рис. 3.29 показано фото корабля, гвинтокрила та джерела штучно створюваного акустичного шуму.



а





Рис. 3.29 – Фото проведення Державних випробувань гідроакустичного комплексу «Ятрань» з: а) корабля, б) гвинтокрила; в) джерело штучно створюваного акустичного шуму.

Радіогідроакустичні буї системи «Ятрань» скидалися з корабля та гвинтокрила у воду, після чого носії штучного джерела звуку віддалялися від радіогідроакустичного буя зі швидкістю 4 вузли і фіксували амплітудночастотні характеристик підводних шумів.



На рис. 3.30 показано зміни у часі спектру шумів, які були виміряні за перші 300 секунд.

Рис. 3.30 – Графік змін у часі спектру шумів, які були виміряні за перші 300 секунд (штучно створювані шуми мають частоту 80 Гц).

Таким чином, експериментально підтверджено, що у жовтні в районі о. Зміїний за відстані цілі від реєстратору від 0 до 4 км реєстрація шумів повністю втрачалася 10 разів. Перерваність шумопеленгації повторювалася циклічно. Перерваність реєстрації штучно створених шумів відбувалася приблизно кожні 450 м.

На рис. 3.31 показано зміни у просторі амплітудно-частотних характеристик підводних шумів.



Рис. 3.31 – Графік змін у просторі амплітудно-частотних характеристик підводних шумів (штучно створювані шуми мають частоту 80 Гц).

Слід зазначити, що за даними статистичної обробки теоретично розрахованої перерваності шумопеленгації, отримано періодичнисть 470 м, тобто похибка не перевищує 5%.

Отже нами показано, що незалежно від типу шумів та частот сонарів, незалежно від тактико-технічних характеристик гідроакустичного обладнання, роботи сонару, шумопеленгатора, ретранслятора зв'язку, пінджера підводного позиціонування їх робота буде системно спотворюватися.

Таким чином нами вперше розроблено алгоритм статистичної обробки просторових даних, отриманих методами променевої гідроакустики, для дослідження закономірностей прояву зон акустичної тіні. Зони акустичної тіні роблять перерваними у просторі результати роботи гідролокаторів, підводного шумопеленгаторів, систем зв'язку, систем підводного позиціонування. Дані теоретичних розрахунків траєкторій акустичних променів були оброблені статистичними методами і в результаті встановлено, що зони акустичної тіні можуть проявлятися періодично, що може бути використано для підвищення ефективності застосування перелічених гідроакустичних засобів і систем. Алгоритм було адаптовано для трьох районів Чорного і одного району Азовського моря, для яких виконані розрахунки для кожного місяця року.

Як приклад адаптації алгоритму показано, що у Одеській затокі у липні зони акустичної тіні систематично повторюються кожні 263 м, а перша зона тіні виникатиме на відстані 130 м від джерела звуку. За таких умов на відстані 130 м гідролокатор не отримає відбиття сигналу від навігаційної перешкоди, шумопеленгатор втратить контакт з ціллю, перерветься підводний зв'язок та стане неможливим підводне позиціонування. З одного боку це надає нові можливості непомітного маневрування корабля в умовах дії активних, пасивно - активних та пасивних систем висвітлення підводної обстановки, а з другого дозволяє підвищити ефективність підводного позиціонування та підводного зв'язку, шляхом оптимальної розстановки донних станцій зв'язку та позиціонування. Виявлена закономірність системної перерваності лiï гідроакустичних засобів дає можливість підвищити ефективність застосування гідроакустичного обладнання шляхом виконання певного маневрування судна, та/або шляхом побудови оптимальної мережі донних станцій зв'язку та позиціонування. Результати адаптації зазначеного алгоритму підтверджені натурного експерименту під державних випробувань даними час гідроакустичного комплексу «Ятрань».

3.3 Апробація алгоритму визначення гідроакустичного поля корабля.

Головний постулат: передбачається, що періодичні часові зміни тиску корпусу корабля на воду генерують його низькочастотну гідроакустичну сигнатуру.

Розроблено алгоритм статистичної обробки часових рядів, отриманих в результаті теоретичного моделювання акустичного поля корабля. Для визначення низькочастотної гідроакустичної сигнатури судна розроблено алгоритм розрахунків часової мінливості поля надмірного тиску окремих ділянок підводної частини судна та обрахована інтегральна низькочастотна гідроакустична сигнатура, що створюється носовою, мідельною і кормовою частинами судна. Для визначення гідроакустичних характеристик підводної частини судна, його корпус був розділений на окремі ділянки (цифрова модель підводної частини корпусу судна автором дисертації не розроблялася). Просторове положення деяких ділянок підводної частини корпусу судна показане на рис. 3.32 та виділене кольором.





a7)



c11)

Рис. 3.32 – Схеми просторового положення розрахункових ділянок підводної частини корпусу судна.

Нами було виконане гідродинамічне моделювання часових змін повного тиску (Па). Дискретність отриманих результатів розрахунків повного тиску дорівнює 0,2 с. Результати розрахунків часових змін повного тиску показано в таблицях 3.1 - 3.3.

No	a1	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9
1.	134394	135997	135529	131671	125653	121392	120114	120992
2.	127691	129267	133956	131197	126196	126479	120646	115774
3.	126669	128438	126210	122904	117791	122066	112624	115657
4.	126961	129403	125372	122664	118376	113520	112983	116336
5.	129085	131676	127070	124236	119404	114128	112804	117959
6.	141194	143998	129070	126351	121200	114543	114969	126560
7.	129299	131980	141486	137743	132827	116837	125079	121861
8.	129883	132943	129438	126704	122386	128057	119248	121086
9.	127737	130687	130459	127548	123102	119400	117954	118041
10.	127742	130806	128030	125064	120632	119461	115299	119180
11.	128019	131173	128317	125960	121659	116789	116220	119293

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку часових змін повного тиску (Па) для ділянок корпусу катера (ділянки a1 - a9)

N⁰	al	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9
12.	128374	131541	128942	126123	121717	117702	116712	120296
13.	128378	131747	129198	126525	122364	117926	117544	120933
14.	126386	129938	129559	126946	122778	118734	118328	119997
15.	130271	133576	127889	125538	121620	119345	117230	121340
16.	131788	135380	131358	128697	124345	118232	118762	123163
17.	123974	127587	133124	130432	126306	120376	121374	117852
18.	124250	127981	125394	122776	118939	122699	113852	118293
19.	124875	128716	125934	123429	119520	115528	114956	119360
20.	126178	130212	126457	123826	120026	116085	116206	121841
21.	126416	130307	128537	126542	123138	116985	119196	119485
22.	130114	133908	128174	125355	121322	120135	116307	123839
23.	130053	133992	131846	129410	125734	117737	121230	123620
24.	122985	127033	132114	129680	125917	122439	120929	119635
25.	122279	126395	125307	123052	119732	122467	116225	118205
26.	122525	126508	124573	122188	118906	116967	114534	118611
27.	129517	133779	124590	121985	118686	115641	114854	124930
28.	127867	132111	132193	130149	126516	115811	121924	123082
29.	123726	127891	130362	127813	124429	123203	120008	120314
30.	131123	135329	126168	123851	120452	121464	116626	125029
31.	117939	122257	133465	131004	127440	117631	122483	116782
32.	124642	129055	120507	118217	115245	124091	112483	121175
33.	124168	128543	127467	125269	122022	112730	117752	120988
34.	123770	128143	127026	125027	121788	119111	117958	121167
35.	123346	127649	126533	124301	121279	118882	117808	121003
36.	118695	122999	125975	123773	120783	118546	117270	119130
37.	124557	128755	121607	119704	117141	118208	114586	119009
38.	129832	134157	126818	123997	120341	114929	115750	125594
39	124805	129253	132640	130393	127250	117159	123313	122133
40.	123666	128014	127703	125326	122233	124426	118954	121688
41.	122898	127250	126665	124661	121908	119659	118520	120964
42.	121649	126073	125891	123721	120786	119383	117799	120450
43.	120354	124576	124895	122874	120040	118306	116797	118143
44.	128567	132811	123078	120827	117877	117584	114627	124907
45.	124489	129028	131448	129208	126201	115402	122093	122999
46.	122574	126873	127632	125281	122432	123365	119561	121117
47.	122136	126490	125755	123844	121054	120157	117754	121163

N⁰	al	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9
48.	121938	126254	125233	123178	120437	118529	117513	121149
49.	119630	124049	125111	123117	120399	118162	117527	120471
50.	121019	125376	123039	121300	118847	118067	116594	118320
51.	128898	132933	124101	121761	118684	116867	114914	125637
52.	122735	127043	131561	129418	126648	115998	123144	121827
53.	122755	126997	125979	124003	121242	124162	118276	121955
54.	122798	126948	125974	124016	121405	118892	118426	121936
55.	122630	126755	125968	124025	121381	119155	118382	121940
56.	122620	126742	125843	123953	121327	119119	118417	122012
57.	120037	124088	125795	123810	121180	119066	118391	118451
58.	123409	127580	123176	121154	118531	119006	115675	121975
59.	124841	128815	126752	124716	121940	116305	118802	124680
60.	120266	124218	127928	126071	123528	119657	120779	120096
61.	121782	125778	123402	121531	118991	121392	116305	121824
62.	121608	125488	125146	123333	120810	116868	118347	121659
63.	121625	125460	124818	123067	120590	118807	118035	121468
64.	119498	123169	124779	122992	120505	118559	118008	118408
65.	126467	130281	122486	120830	118446	118470	115646	123999
66.	122887	126436	129677	127746	124866	116462	121557	123201
67.	121677	125259	125677	123819	121274	122381	119040	121935
68.	122027	125661	124512	122744	120670	119352	118157	121638
69.	121853	125392	125044	123299	120843	118786	118231	121626
70.	121529	125075	124893	123203	120790	118793	118239	121346
71.	122469	126164	124561	122810	120414	118801	117996	118331
72.	120993	124630	125935	124356	122076	118517	118612	125568
73.	120610	124093	124389	123059	120792	119852	120142	121473
74.	120610	124093	123554	121491	119119	119538	117003	121473
75.	121140	124520	123554	121491	119119	117251	117003	121952
76.	121550	124903	124124	122493	120190	117251	117767	121370
77.	121957	125218	124574	122950	120740	118244	118446	121661
78.	121697	124917	124900	123223	120915	118975	118488	121838
79.	112989	117870	124678	123142	120802	119044	118419	134424
80.	117736	119393	119697	120044	119432	118866	120543	132223
81.	122884	125864	116792	112778	110095	118938	116608	122482
82.	121267	124219	125491	123329	120576	111413	118705	120259
83.	121810	124711	124079	122471	120300	118476	117386	121221

N⁰	al	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9
84.	121947	124776	124539	122825	120526	118461	118122	121100
85.			124646	122972	120687	118657	118157	
86.						118798		

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку часових змін повного тиску (Па) для ділянок корпусу катера (ділянки b1 - b10)

N⁰	б1	б2	б3	б4	б5	б6	б7	б8	б9
1.	131382	130760	135143	132570	126492	121567	120596	119958	121222
2.	124723	123789	133695	130455	126601	121762	121404	119818	115838
3.	123953	123211	125839	131876	118076	113669	113077	113085	116077
4.	124353	124045	125404	123623	118624	113852	112791	113072	116441
5.	126578	126298	126801	123625	119746	114614	112458	113451	117415
6.	138810	138684	128833	124875	121501	116843	115118	114779	126538
7.	126993	126697	141177	127063	133045	127987	126258	125155	121830
8.	127694	127681	129295	138561	122976	119364	118411	119377	121427
9.	125537	125412	130278	127616	123422	119249	118414	118148	118325
10.	125600	125688	127852	128404	120946	116781	115704	115225	119242
11.	125942	126004	128554	125902	121933	117632	116341	116212	119309
12.	126321	126388	128764	126844	122044	117887	117288	116837	120321
13.	126369	126595	129085	126955	122586	118683	118069	117387	121008
14.	124393	124781	129507	127318	123136	119178	118327	118412	120284
15.	128327	128512	127862	127867	121780	117943	117456	117024	120697
16.	129939	130294	131337	126385	124808	120318	119239	118522	123289
17.	122152	122514	133035	129668	126598	122544	121430	121301	117924
18.	122417	122919	125284	131357	119107	115422	114256	114321	118297
19.	123163	123729	125852	123687	119779	115795	114674	114812	119483
20.	124524	125259	126532	124338	120635	116937	116413	115919	122187
21.	124719	125325	128625	124939	123277	119917	119294	119027	119581
22.	128382	128986	128009	127484	121555	117570	116426	116020	123781
23.	128291	129077	131766	126300	125868	122288	121493	121395	123645
24.	121298	122168	131997	130385	126101	122311	121440	121194	119626
25.	120564	121460	125205	130675	119976	116894	116325	116039	118317
26.	120784	121642	124400	124105	118996	115487	114665	114515	118664
27.	127863	128923	124490	123172	118950	115630	114952	114794	123769
28.	126151	127272	132116	123253	126690	123144	122363	121811	122726

№	б1	б2	б3	б4	б5	бб	б7	б8	69
29.	121985	123048	130202	131239	124563	121198	120262	119989	120367
30.	129374	130463	126057	128895	120683	117467	116779	116557	124770
31.	116184	117394	133276	125068	127602	123867	122728	122385	116648
32.	122907	124213	120336	132049	115405	112641	112500	112729	121201
33.	122405	123755	127302	119363	122132	118917	118222	117766	121016
34.	122021	123402	126849	126399	121823	118665	118032	118091	121066
35.	121535	122892	126357	126022	121413	118425	117926	117686	121107
36.	116791	118207	125815	125404	121090	118136	117379	117501	119250
37.	122609	123891	121398	124969	117196	114730	114683	114822	118883
38.	127939	129436	126391	120901	120428	116941	116057	115519	125613
39	122864	124464	132363	125081	127313	124181	123488	123248	121005
40.	121671	123299	127352	131525	122373	119512	119062	119007	121502
41.	120826	122556	126402	126516	122010	119144	118674	118547	120821
42.	119527	121411	125599	125857	120828	118116	117634	117620	120478
43.	118092	119887	124632	124882	120083	117361	116867	116894	117836
44.	126243	128157	122710	124060	117972	115270	114722	114553	124940
45.	122157	124295	131139	121984	126292	123215	122501	122278	122926
46.	120139	122292	127185	130434	122466	119954	119613	119647	120992
47.	119655	121875	125497	126452	121086	118336	117824	117817	121149
48.	119354	121688	124905	125094	120467	117959	117615	117691	121014
49.	117037	119539	124788	124419	120421	117891	117507	117628	120260
50.	118303	120804	122762	124368	118787	116641	116437	116695	118023
51.	125967	128401	123654	122560	118633	115770	115067	114924	125544
52.	119757	122565	131211	122947	126768	124076	123340	123170	121677
53.	119660	122545	125585	130785	121238	118717	118304	118442	121877
54.	119573	122511	125593	125225	121368	118937	118542	118613	121637
55.	119311	122368	125580	125269	121327	118908	118439	118487	121706
56.	119218	122353	125459	125265	121289	118849	118406	118485	121840
57.	116485	119734	125375	125204	121120	118893	118494	118515	118220
58.	119784	123157	122798	125028	118630	116240	115726	115875	121684
59.	121124	124507	126221	122491	121827	119354	118872	118683	124366
60.	116426	119902	127523	125867	123503	121193	120919	121098	119921
61.	117837	121477	122950	127333	118838	116574	116140	116375	121608
62.	117545	121224	124667	122729	120715	118583	118368	118566	121407
63.	117446	121218	124398	124524	120525	118353	117996	118207	121198
64.	115252	119052	124337	124303	120439	118229	117930	118106	118092

N⁰	б1	б2	б3	б4	65	б6	б7	б8	69
65.	122077	126052	122213	124234	118581	116354	115742	115699	123530
66.	118316	122217	129184	122214	124823	122190	121627	121669	122998
67.	117066	121088	125203	128968	121221	119129	118791	119147	121683
68.	117334	121526	124095	125050	120594	118557	118123	118230	121279
69.	117080	121329	124586	124105	120748	118560	118235	118321	121410
70.	116640	120984	124474	124524	120722	118578	118192	118341	121177
71.	117534	122188	124090	124446	120315	118298	117997	118239	117921
72.	115926	120505	125635	124031	122403	120056	119088	118799	125613
73.	115485	120068	123856	125831	120417	118991	119531	120528	121205
74.	115485	120068	122992	124026	118906	116863	116693	117001	121205
75.	115891	120522	122992	122693	118906	116863	116693	117001	121669
76.	116192	120951	123662	122693	120074	118062	117688	117959	121050
77.	116484	121298	124108	123685	120644	118782	118456	118544	121307
78.	116127	121005	124452	124131	120854	118843	118467	118535	121506
79.	107174	113428	124237	124437	120664	118649	118350	118547	134487
80.	111706	115386	119071	124269	118946	118531	119437	120952	134474
81.	116947	122017	115169	120856	106666	108237	113239	117448	122058
82.	115222	120413	125016	112108	120510	118092	118080	118803	119881
83.	115648	120927	123668	124576	120239	118360	117703	117313	120774
84.	115661	121017	124109	123701	120426	118441	118067	118252	120450
85.			124232	124040	120644	118592	118184	118255	
86.				124211					

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку часових змін повного тиску (Па) для ділянок корпусу катера (ділянки c2 - c11)

N⁰	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c10	c11
1.	136468	138086	139957	135511	133039	130455	126479	120935	120156	123313
2.	129696	130802	133040	127805	131630	129367	125426	120837	119988	117324
3.	129062	130381	132513	127470	123718	121255	117343	113209	113012	117780
4.	129453	131085	133029	128444	123373	121286	117798	112774	112316	118283
5.	131670	133199	135240	130450	124576	122319	118563	114074	113732	119121
6.	143944	145608	147568	142922	126644	124474	120647	115346	114936	128001
7.	132075	133637	135667	131010	138822	136138	132212	127030	125591	123355
8.	132809	134583	136521	131964	127323	125256	122156	118775	119762	123075
9.	130640	132274	134283	129594	128219	126128	122664	118339	118124	119760

N⁰	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c10	c11
10.	130775	132694	134469	130215	125831	123655	120209	116415	115813	120712
11.	131133	132860	134732	130338	126643	124536	121083	116817	116438	120790
12.	131528	133183	135102	130705	126776	124649	121266	117380	116674	121660
13.	131628	133370	135235	131074	126859	124851	121789	118075	117520	122610
14.	129669	131528	133330	129330	127613	125604	122357	118607	118485	121859
15.	133650	135231	137144	132967	125975	124014	120860	117142	117482	122744
16.	135302	136929	138805	134652	129545	127445	124050	119387	118859	124809
17.	127525	129064	130968	126836	131202	129141	125876	121609	121262	119410
18.	127777	129472	131299	127340	123473	121439	118253	114793	114063	119874
19.	128597	130273	132085	128165	124039	122068	118926	114547	114302	120946
20.	129987	131812	133491	129955	124696	122365	119814	116053	115919	123611
21.	130175	131711	133606	129528	126953	125034	122251	119326	118587	120866
22.	133886	135416	137267	133326	126196	124052	120877	116688	116018	125140
23.	133849	135476	137272	133471	130160	128227	125014	121657	121844	124985
24.	126967	128555	130317	126613	130374	128473	125454	121630	121311	121126
25.	126252	127732	129544	125764	123593	121905	119245	116682	115673	119803
26.	126541	127915	129771	125944	122711	120871	117980	114928	114651	119959
27.	133736	135232	136957	133430	122928	121090	118067	115018	114982	126321
28.	132073	133550	135271	131656	130693	129265	126100	122822	121988	124175
29.	127945	129293	131077	127438	128657	126801	123858	120371	120046	121563
30.	135374	136635	138478	134726	124613	122897	120086	116816	116553	125986
31.	122245	123562	125335	121763	131756	129903	127006	123095	122444	117993
32.	129017	130375	132118	128650	118925	117235	114706	112388	112865	122692
33.	128563	129903	131664	128198	125890	124233	121427	118342	117889	122377
34.	128234	129563	131319	127801	125447	123785	121153	118064	118089	122177
35.	127738	129003	130801	127274	124977	123057	120649	117941	117511	122604
36.	122984	124301	126064	122664	124531	122943	120595	117690	117587	120366
37.	128756	129773	131767	127841	120112	118756	116497	114578	114811	119935
38.	134251	135495	137339	133775	124826	122885	119905	116107	115460	126894
39	129193	130425	132290	128722	131039	129406	126759	123643	123442	123174
40.	128055	129315	131151	127719	126013	124433	121888	119048	119222	122946
41.	127277	128578	130413	126984	125133	123728	121714	118713	118585	122230
42.	126035	127440	129217	125950	124324	122765	120195	117626	117726	121552
43.	124641	125792	127763	124107	123385	121987	119537	116897	116946	118904
44.	132921	134109	136029	132525	121432	119936	117399	114761	114587	126215
45.	128915	130111	132052	128478	129901	128434	125946	122641	122485	124039
N⁰	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c10	c11
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------
46.	127049	128265	130167	126785	125847	124381	121967	119529	119715	122270
47.	126636	127736	129704	126195	124356	123017	120598	117862	117927	122415
48.	126439	127564	129527	126063	123704	122362	119983	117559	117819	122254
49.	124272	125409	127354	123981	123614	122309	119940	117441	117693	121505
50.	125556	126561	128629	124972	121665	120437	118031	116435	116628	119222
51.	133314	134141	136322	132551	122358	120877	118302	115109	114952	127025
52.	127228	128310	130396	126808	130123	128846	126510	123623	123380	122927
53.	127265	128288	130394	126804	124416	123182	120851	118385	118528	123088
54.	127191	128258	130357	126794	124454	123238	120919	118494	118768	122852
55.	127007	128101	130215	126666	124441	123224	120890	118442	118546	122935
56.	127037	128052	130199	126598	124355	123210	120898	118377	118574	122870
57.	124323	125482	127593	124102	124240	122924	120572	118606	118644	119284
58.	127725	128743	130906	127304	121808	120707	118474	115994	116129	122979
59.	129148	130194	132388	128772	124956	123775	121304	118736	118628	125762
60.	124494	125547	127741	124134	126485	125426	123215	120777	121274	121119
61.	125992	127080	129252	125753	121837	120700	118145	116097	116361	122783
62.	125753	126850	129039	125544	123533	122513	120281	118251	118591	122654
63.	125710	126803	129031	125496	123331	122358	120162	117905	118245	122373
64.	123663	124785	126975	123567	123277	122290	120081	117822	118123	119159
65.	130461	131543	133807	130271	121503	120662	118622	115923	115852	124746
66.	126699	127676	130018	126339	127983	126903	124534	121687	121762	124376
67.	125584	126597	128916	125287	124106	123109	120911	118470	119052	122895
68.	125915	127005	129314	125710	123106	122233	120239	118205	117933	122240
69.	125726	126873	129147	125614	123512	122582	120430	118075	118318	122741
70.	125331	126478	128764	125207	123446	122543	120428	118131	118387	122491
71.	126348	127865	129944	126889	123009	122127	119924	117897	118268	119524
72.	124662	125833	128123	124636	125019	124493	122778	119999	119402	127330
73.	124340	125469	127829	124149	122476	121550	119342	118484	120354	122364
74.	124340	125469	127829	124149	121804	120861	118704	116300	116750	122364
75.	124788	125944	128283	124729	121804	120861	118704	116300	116750	122791
76.	125140	126361	128691	125160	122547	121752	119755	117698	118002	122373
77.	125475	126733	129053	125542	122987	122197	120281	118567	118462	122305
78.	125118	126440	128726	125291	123362	122583	120609	118485	118581	122792
79.	115835	118084	119816	117964	123137	122366	120404	118251	118610	136303
80.	120619	120286	123807	116963	117225	117752	117504	118390	120362	140002
81.	126024	127442	129807	126273	111345	106443	100528	106184	115996	122834

N⁰	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c10	c11
82.	124315	125884	128159	124805	124024	123021	120594	117668	118252	120822
83.	124759	126357	128671	125250	122676	121962	120076	117998	117254	121976
84.	124793	126446	128751	125360	123067	122289	120246	118069	118301	121237
85.					123207	122493	120534	118187	118332	

Результати розрахунку статистичних показників часових змін повного тиску для ділянок підводної частини судна показано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку статистичних показників часових змін повного тиску (Па) для ділянок підводної частини судна.

№ ділянки	Середнє	Медіана	СКВ	Дисперсія
al	124310	122942	17053500	4129.59
a2	128017	127147	15687700	3960.77
a3	126755	125935	13078900	3616.47
a6	121372	120810	8806580	2967.59
a5	124545	123826	11414700	3378.57
a7	118787	118760	7573040	2751.92
a8	117906	118008	5867080	2422.21
a9	121356	121281	8491160	2913.96
b1	121217	120805	24844000	4984.38
b2	123394	122551	13588700	3686.28
b3	126452	125593	13849500	3721.49
b4	125682	125039	11668000	3415.84
b5	121426	120854	10226000	3197.81
b6	118489	118531	7557940	2749.17
b7	117954	118069	6458470	2541.35
b8	117970	118207	5771730	2402.44
b9	121245	121163	9008510	3001.42
c2	129432	128567	16555300	4068.83
c3	131464	130405	15697200	3961.96
c4	127685	126863	14299400	3781.46
c5	124997	124356	13231700	3637.54
c6	123472	122924	12589900	3548.22
c7	120804	120572	12532800	3540.18
c8	117930	118069	7870420	2805.43
c9	117930	118069	7870420	2805.43
c10	117991	118124	6108590	2471.56
c11	122655	122396	10745600	3278.05

Наведено результати фізико-статистичного моделювання даних гідродинамічного моделювання часових варіацій надмірного тиску, що створюється різними частинами корпусу судна.

Застосовано спектральний аналіз до даних гідродинамічного моделювання для розрахунку низькочастотної гідроакустичної сигнатурию що створюється носовою, мідельною, кормовою частинами судна та всіма ділянками підводної частини корпусу судна (рис. 3.33 - 3.36).



Рис. 3.33 – Амплітудний спектр (гідроакустична сигнатура) носової частини судна (а2 - зелений, b2 - червоний, c2 - фіолетовий).



Рис. 3.34 – Амплітудний спектр (гідроакустична сигнатура) мідельної частини судна (а5 - зелений, b5 - червоний, c5 - фіолетовий).



Рис. 3.35 – Амплітудний спектр (гідроакустична сигнатура) кормової частини судна (а8 - зелений, b8 - червоний, c8 - фіолетовий).



Рис. 3.36 – Амплітудний спектр (гідроакустична сигнатура) судна (а2 зелений, b2 - червоний, c2 - фіолетовий, a5 - сірий, b5 - синій, c5 - салатовий, a8 - світло фіолетовий, b8 - блакитний, c8 - жовтий).

Визначено, що носова частина не створює періодичних коливань тиску і її спектр - це так званий «білий шум». Мідельна частина судна створює когерентні коливання з 4-ма дискретами 0,78 Гц, 0.83 Гц, 1,52 Гц, 2 Гц. Кормова частина формує коливання з частотами нижче 1 Гц (3 дискрети) та з частотою 1,9 Гц.

Враховуючи те, що сучасні гідроакустичні станції не здатні вимірювати

інфразвукові коливання з частотою нижче 1 Гц, акустичний портрет судна характеризується дискретами 1,52 Гц та 1,9-2,0 Гц.

Таким чином продемонстровано алгоритм визначення акустичного портрету судна [76]. На першому етапі виконується гідродинамічне моделювання і отримуються часові зміни тиску на окремих ділянках судна. Обробка часових рядів змін тиску методами спектрального аналізу дозволяє визначити амплітудний спектр створюваних судном шумів.

3.4 Апробація алгоритму визначення турбулентного сліду судна.

Головний постулат: передбачається. що втрати кореляційного зв'язку часових змін тиску на суміжних ділянках корпусу судна свідчать про утворення корпусом турбулентних збурень, що генерують кільватерний слід. У безмоторних суден - це єдина причина генерування кільватерного сліду

Запропоновано алгоритм визначення причин генерування корпусом судна турбулентного сліду. Результати гідродинамічного моделювання повного тиску, який створюють окремі ділянки судна, оброблено з застосуванням кореляційного аналізу.

Були розраховані кореляційні матриці (табл. 3.5, 3.6, 3.7) для змін у часі повного тиску для ділянок корпусу судна a1 - a9, b1 - b9, c2 - c11, відповідно . Логічно вважати, що виникнення асинхронності коливань повного тиску вздовж корпусу катера є причиною зміни режиму руху, яке негативно впливає на інтегральну швидкість руху судна.

Таблиця 3.5 – Кореляційна матриця для змін у часі повного тиску для ділянок корпусу судна (a1 - a9)

	a1	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9
a1	1.00	0.99	0.41	0.34	0.16	-0.08	-0.19	0.02
a2	0.99	1.00	0.41	0.33	0.16	-0.09	-0.19	0.05
a3	0.41	0.41	1.00	0.99	0.93	0.02	0.63	-0.19
a5	0.34	0.33	0.99	1.00	0.97	0.02	0.69	-0.14

	al	a2	a3	a5	a6	a7	a8	a9
a6	0.16	0.16	0.93	0.97	1.00	0.01	0.82	-0.06
a7	-0.08	-0.09	0.02	0.02	0.01	1.00	0.07	-0.14
a8	-0.19	-0.19	0.63	0.69	0.82	0.07	1.00	0.12
a9	0.02	0.05	-0.19	-0.14	-0.06	-0.14	0.12	1.00

Зменшення коефіцієнту кореляції повного тиску зафіксовано при переході від ділянки а2 до ділянки а3 (r=0,41) в носовій частині корпусу судна, а6 - а7 і далі вздовж корпусу в напрямку до корми. Повний тиск на ділянці а7 не синхронізовано з іншими ділянками.

Таблиця 3.7 – Кореляційна матриця для змін у часі повного тиску для ділянок корпусу судна b1 - b9

	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9
b1	1.00	0.96	0.49	0.31	0.25	0.01	-0.12	-0.23	-0.06
b2	0.96	1.00	0.38	0.18	0.17	-0.03	-0.13	-0.22	0.07
b3	0.49	0.38	1.00	0.30	0.93	0.80	0.70	0.57	-0.19
b4	0.31	0.18	0.30	1.00	0.21	0.11	0.05	0.00	-0.19
b5	0.25	0.17	0.93	0.21	1.00	0.95	0.85	0.73	-0.07
b6	0.01	-0.03	0.80	0.11	0.95	1.00	0.96	0.89	0.04
b7	-0.12	-0.13	0.70	0.05	0.85	0.96	1.00	0.97	0.08
b8	-0.23	-0.22	0.57	0.00	0.73	0.89	0.97	1.00	0.12
b9	-0.06	0.07	-0.19	-0.19	-0.07	0.04	0.08	0.12	1.00

Зменшення коефіцієнту кореляції повного тиску зафіксовано при переході від ділянки b2 до ділянки b3 (0,38), b3 - b4 (0,30), b4 - b5 (0,21). а далі, до ділянки b8, у зміні поля повного тиску синхронізація відновлюється.

Таблиця 3.6 – Кореляційна матриця для змін у часі повного тиску для ділянок корпусу судна c2 - c11

	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11
c2	1.00	1.00	0.99	0.37	0.28	0.16	-0.06	-0.06	-0.19	0.01
c3	1.00	1.00	0.99	0.36	0.27	0.15	-0.07	-0.07	-0.19	0.03

	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11
c4	0.99	0.99	1.00	0.35	0.26	0.15	-0.07	-0.07	-0.19	0.02
c5	0.37	0.36	0.35	1.00	0.98	0.93	0.82	0.82	0.64	-0.16
c6	0.28	0.27	0.26	0.98	1.00	0.98	0.89	0.89	0.69	-0.11
c7	0.16	0.15	0.15	0.93	0.98	1.00	0.93	0.93	0.72	-0.04
c8	-0.06	-0.07	-0.07	0.82	0.89	0.93	1.00	1.00	0.91	0.05
c9	-0.06	-0.07	-0.07	0.82	0.89	0.93	1.00	1.00	0.91	0.05
c10	-0.19	-0.19	-0.19	0.64	0.69	0.72	0.91	0.91	1.00	0.12
c11	0.01	0.03	0.02	-0.16	-0.11	-0.04	0.05	0.05	0.12	1.00

Зменшення коефіцієнту кореляції повного тиску зафіксовано при переході від ділянки с4 до ділянки с5 (r=0.35) і від ділянки с10 до ділянки с11 (r=0.12).

На рис. 3.37 показано місце у кільовій частині судна, яке утворює турбулентний «жгут», який розповсюджується вздовж борту судна до поверхні води, генеруючи кільватерний слід.



Рис. 3.37 – Схема підводної частини копрусу судна (білим кольором показано ділянки, де втрачається лінійний зв'язок часових змін надмірного тиску; червона стрілка вказує на ймовірне джерело втрат цього зв'язку; чорною стрілкою показано ймовірну траєкторію пересування турбулентного «жгута»).

Зазначений алгоритм дозволяє визначити ділянки корпусу, що

генерують у воді турбулентні збурення, що демаскують судно та негативно впливають на його морехідні якості.

3.5 Апробація алгоритму визначення безпечної швидкості руху судна в умовах наявності навігаційної перешкоди типу мінної загрози

Головний постулат: вважається що зі змінами швидкості руху судна змінюються геометричні розміри його гідродинамічного поля.

Запропоновано алгоритм обробки методом регресійного аналізу результатів гідродинамічного математичного моделювання змін геометрії (розмірів та форми) ізобар надмірного тиску під час змін швидкості руху судна. Тобто, розділ присвячений аналізу розрахунку надмірного тиску, який створює у водному просторі судно. Розглядається питання зміни розмірів та форми ізобар надмірного тиску в аспекті визначення критичної швидкості руху судна за існуванні мінної загрози. Розглядається загроза від мін, які спрацьовують на гідродинамічне поле судна.

Надмірний тиск розроховано у системі координат, де вісь Z направлена від дна у напрямку поверхні. Таким чином позитивні значення тиску - це тиск води на судно (сила виштовхування), і тому тиск судна на воду розраховується з від'ємним знаком.

Отримано результати розрахунку для надмірного тиску:

- ізобари -9600, -9500, -9400, -9300, -9200, -9100, -9000 Па (за умов швидкості руху судна 2,5 вузла);

- ізобари -9600, -9300 Па (за умов швидкості руху катера 5 вузлів);

- ізобари -9600, -9500, -9400, -9000 Па (за умов швидкості руху судна 7,5 вузлів);

- ізобари -9600, -9500, -9400, -9300, -9000 Па (за умов швидкості руху судна 10 вузлів;

- ізобари -9600, -9500, -9400, -9300, -9200, -9000, -8750, -8250, -8000 Па (за умов швидкості руху судна 15 вузлів); - ізобари -9600, -9500, -9400, -9300, -9200, -9000, -8500,-8500, -8250, -8000, -7500 Па (за умов швидкості руху судна 20 вузлів);

- ізобари -9600, -9500, -9400,-9300, -9200, -9100, -9000, -8750, -8250, -

8000, -7500, -7000, -6500, -6000, -5000, -4000 Па (за умов швидкості руху судна 25 вузлів);

- ізобари - 9600, - 9500, - 9400, - 9300, -9200, -9100, -9000, -8750, - 8500, -8250, -8000, -7850, -7500, -7000,-6000, -5500, -5000, -4000, -3000 Па (за умов швидкості руху судна 30 вузлів).

На рис. 3.32 показано результати розрахунку ізобар: - 9600, - 9500, - 9400, - 9300, -9200, -9100, -9000, -8750, - 8500, -8250, -8000, -7850, -7500, - 7000,-6000, -5500, -5000, -4000, -3000 Па (за умов швидкості руху судна 30 вузлів).



A LINIS AND SO THE SAME AND A LINIS AND A

а



В



Γ





€





3



И





й





Л



М







Рис. 3.38 – Схематичне зображення ізобар (Па) надмірного тиску, що створюється корпусом судна під час руху зі швидкістю 30 вузлів: а) -9600, б) -9500, в) -9400, г) -9300, д) -9200, е) -9100, є) -9000, ж) -8750, з) -8500, и) -8250, і) -8000, ї) -7850, й) -7500, к) -7000, л) -6000, м) -5500, н) -5000, о) - 4000, п) -3000 Па.

На рис. 3.39 показано графік змін вертикальної відстані від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості руху (в діапазоні значень надмірного тиску від -5000 до -9500 Па; розрахунки виконано через 500 Па).



Рис. 3.39 – Графік залежності змін вертикальної відстані від морської поверхні до ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості його руху (5000 - зелений, 5500 - червоний, 6000 - фіолетовий, 6500 - сірий, 7000 - синій, 7500 - салатовий, 8000 - світло фіолетовий, 8500 - блакитний, 9000 – сірий, 9500 - жовтий).

Встановлено, що в діапазоні значень надмірного тиску від -5000 до -9000 Па існує квазілінійна залежність швидкості руху вертикальної відстані від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску, що створюється судном. Але вже для ізобари -9500 Па лінійний характер залежності змінюється майже на експоненційний. З метою отримання більш детальних оцінок для надмірного тиску в діапазоні, де лінійна залежність змінюється на експоненційну, тобто від -9000 до -9600 Па, розрахунки були виконані через 100 Па. На рис. 3.40 показано графік змін вертикальної відстані від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску від швидкості руху, в діапазоні значень надмірного тиску від -9000 До -9600 Па (розрахунки виконано через 100 Па).



Рис. 3.40 – Графік залежності змін вертикальної відстані від морської поверхні до ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості його руху (9000 - зелений, 9100 - червоний, 9200 - фіолетовий, 9300 - сірий, 9400 - синій, 9500 - салатовий, 9600 - світло фіолетовий).

В діапазоні значень надмірного тиску від -9000 до -9600 Па відмічено експоненційну залежність від швидкості руху вертикальної відстані (м) від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску. Виконано експоненційну апроксимацію кривих залежності від швидкості руху вертикальної відстані від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску, створюваного судном в діапазоні значень надмірного тиску від -9000 до -9600 Па, через 100 Па.

Цей алгоритм вирішує проблему визначення критичної швидкості руху судна за існування навігаційної небезпеки типу мінної загрози. Результати експоненційної апроксимації залежності змін вертикальної відстані від морської поверхні (м) до відповідної ізобари надмірного тиску, що створюється судном, наведені у табл. 3.8. Таблиця 3.8 – Результати експоненційної апроксимації та статистики змін від швидкості руху вертикальної відстані від морської поверхні (м) до відповідної ізобари надмірного тиску, що створюється судном

Аномальний надмірний тиск (Па)	Регресійне рівняння	Статистика Добіна- Уотсона	Середнє (м)	СКВ залишків (м)
-5000	$L_{5000} = \exp(0.085959 * v - 0.60288)$	0,094	-0,07	0,45
-5500	$L_{5500} = \exp(0.065032 * v + 0.08435)$	0,067	-0,06	0,61
-6000	$L_{6000} = \exp(0.071133 * v + 0.00003)$	0,074	-0,06	0,55
-6500	$L_{6500} = \exp(0.077747 * v - 0.074431)$	0,096	-0,06	0,50
-7000	$L_{7000} = \exp(0.078324 * v - 0.77936)$	0,081	-0,06	0,49
-7500	L ₇₅₀₀ =exp(0.085149*v-0.122130	0,135	-0,07	0,49
-8000	$L_{8000} = \exp(0.056399 * v - 0.668410)$	0,237	0,00	0,51
-8500	$L_{8500} = \exp(0.063044 * v - 0.649890)$	0,180	0,01	0,61
-9000	L ₉₀₀₀ =exp(0.061034*v+0.87165)	0,233	0,01	0,51
-9100	$L_{9100} = \exp(0.066122 * v + 0.84771)$	0,427	0,01	0,38
-9200	L ₉₂₀₀ =exp(0.063933*v+0.96953)	0,274	0,00	0,68
-9300	$L_{9300} = \exp(0.0721 * v + 0.87318)$	0,242	0,03	0,74
-9400	$L_{9400} = \exp(0.078284 * v + 0.85602)$	0,189	0,05	0,91
-9500	$L_{9500} = \exp(0.075227 * v + 1.0361)$	0,201	0,09	1,24
-9600	$L_{9600} = \exp(0.07953 * v + 1.1877)$	0,311	0,05	1,11

Розраховані експоненційні апроксимації змін від швидкості руху вертикальної відстані від морської поверхні до ізобар надмірного тиску (від -5000 Па до -9500Па), що створюється судном, показані на рис. 3.41.



Рис. 3.41 – Графік експоненційної апроксимації змін вертикальної відстані від морської поверхні до ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості руху судна: а) 5000 - зелений, 5500 - червоний, 6000 фіолетовий, 6500 - сірий, 7000 - синій, 7500 - салатовий, 8000 - світло фіолетовий, 8500 - блакитний, 9000 – сірий, 9500 – жовтий, б) (9000 - зелений, 9100 - червоний, 9200 - фіолетовий, 9300 - сірий, 9400 - синій, 9500 салатовий, 9600 - світло фіолетовий).

За результатами виконаних розрахунків створено таблиці (3.9 та 3.10 залежності від швидкості руху судна вертикальної відстані від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску, що створюється судном.

D	-9600	-9500	-9400	-9300	-9200	-9100	-9000	-8750	-8500	-8250	-8000	-7750	-7500	-7250	-7000	-6500	-6000	-5500	-5000	-4000	-3000
Вузли	Па																				
2,5	2.8																				
55	4.4						3.1														
7,5	5.0	4.5	4.15				3.1														
10	6.3	5.5	5.0	4.9			4.2														
15	10.0	9.0	8.0	7.0	6.8		6.0	5.0		4.8	4.25										
20	11.4	9.0	8.0	7.0	6.8		6.5	5.0			4.5		4.15								
25	15.6	14.0	13.4	13.0	12.5	11.0	9.0	8.7		8.0	7.0		6.7		5.5	5.3	5.0		4.2	4.1	
30	27.5	24.4	21.8	18.2	15.6	15.5	14.0	13.0	12.0	11.0	10.0	9.0	8.9		8.0		7.0	6.0	5.5	5.0	4.26

Таблиця 3.9 - Результати розрахунку залежності від швидкості руху (вузли) вертикальної відстані (м) від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску (Па), створюваного судном.

Таблиця 3.10 - Результати інтерполяції залежності від швидкості руху вертикальної відстані (м) від морської поверхні до відповідної ізобари надмірного тиску, створюваного судном.

Вузли	-9600	-9500	-9400	-9300	-9200	-9100	-9000	-8750	-8500	-8250	-8000	-7750	-7500	-7250	-7000	-6500	-6000	-5500	-5000	-4000	-3000
2,5	2.8	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0			0	0	0	0	0	0
5	4.4	4	3	3	3	3	3.1	2	2	2	2	0	0			0	0	0	0	0	0
7,5	5.0	4.5	4.15	4	4	4	3.1	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	6.3	5.5	5.0	4.9	5	4	4.2	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0
15	10.0	9.0	8.0	7.0	6.8	6	6.0	5.0	5	4.8	4.25	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1
20	11.4	9.0	8.0	7.0	6.8	7	6.5	5.0	5	5	4.5	4	4.15	4	4	4	4	4	3	3	2
25	15.6	14.0	13.4	13.0	12.5	11.0	9.0	8.7	8	8.0	7.0	7	6.7	6	5.5	5.3	5.0	5	4.2	4.1	3
30	27.5	24.4	21.8	18.2	15.6	15.5	14.0	13.0	12.0	11.0	10.0	9.0	8.9	9	8.0	8	7.0	6.0	5.5	5.0	4.26

Розраховано зміни вертикальної відстані від морської поверхні до ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості його руху (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Зміни вертикальної відстані від морської поверхні (м) до ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості його руху.

Ізобара	Швидкість катера 2.5 вузла	Швидкість катера 5 вузлів	Швидкість катера 7.5 вузлів	Швидкість катера 10 вузлів	Швидкість катера 15 вузлів	Швидкість катера 20 вузлів	Швидкість катера 25 вузлів	Швидкість катера 30 вузлів
-3000	0	0	0	0	1	2	3	4,26
-4000	0	0	0	1	2	3	4,1	5
-5000	0	0	0	1	2	3	4,2	5,5
-5500	0	0	1	2	3	4	5	6
-6000	0	0	1	2	3	4	5	7
-6500	0	0	1	2	3	4	5,3	8
-7000	0	0	1	2	3	4	5,5	8
-7250	0	0	1	2	3	4	6	8,9
-7500	0	0	1	2	3	4,15	6,7	8,9
-7750	0	1	1	2	4	4,2	7	9
-8000	1	2	2	3	4,25	4,5	7	10
-8250	1	2	3	4	4,8	5	8	11
-8500	1	2	3	4	5	5	8	12
-8750	1	2	3	4	5	5	8,7	13
-9000	2	3	3	4,2	6	6,5	9	14
-9100	2	3	4	4,4	6	6,8	11	15,5
-9200	2	3	4	4,9	6,8	6,8	12,5	15,6
-9300	2	3	4	4,9	7	7	13	18,2
-9400	2	3	4,15	5	8	8	13,4	21,8
-9500	2,8	4	4,5	5,5	9	9	14	24,4
-9600	2,8	4,4	5	6,3	10	11,4	15,6	27,5

Таким чином можна розраховувати швидкість руху судна, на якій відбудеться спрацювання міни, що функціонує за принципом фіксації раптової зміни тиску, створеного ціллю. Так наприклад, для мін, які спрацьовують за умов аномалії тиску -9600 Па за швидкості 30 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 27,5 м; за швидкості 25 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 15,6 м; за швидкості 20 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 11,4 м; за швидкості 15 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 10 м; за швидкості 10 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 6,3 м; за швидкості 7,5 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 5 м; за швидкості 5 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 5 м; за швидкості 5 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 5 м; за швидкості 2,5 вузлів міна не спрацює, якщо глибина буде більше 4,4 м; за швидкості 2,5 вузла міна не спрацює, якщо глибина буде більше 4,4 м; за швидкості 2,5 вузла міна не спрацює на усіх глибинах.

Розрахунки показують, що при збільшенні швидкості руху судна від 15 до 20 вузлів небезпечна глибина руху зменшується непропорційно мало, а на швидкості руху 25 та 30 вузлів небезпечна глибина руху судна зменшується непропорційно багато збільшенню швидкості руху судна.

Результати обробки даних гідродинамічного моделювання методом регресійного аналізу дозволяють вибирати безпечну швидкість руху судна в умовах мінної загрози (передбачено для мін, які спрацьовують на гідродинамічне поле судна).

За результатами розрахунків на швидкості до 7.5 вузлів в межах розрахункової сітки вперше визначено зони аномального надмірного тиску, які створюються попереду судном та охоплюють всю розрахункову область. На рис. 3.42, як приклад, показана аномальна зона (-9600 Па), що виникає за швидкості 2.5 вузли.



Рис. 3.42 – Схематичне зображення форми та просторового положення фронтальної зони надмірного тиску (-9600 Па), що виникає за швидкості 2.5 вузла.

Тобто, при збільшенні швидкості руху катера фронтальна зона висувається вперед. Явище створення судном фронтальної зони потребує подальшого дослідження

Представлені методичні рішення та розглянуті конкретні приклади обробки результатів математичного статистичними методами гідродинамічного моделювання суден. На базі цифрової моделі судна досліджено вплив геометрії його корпусу на гідродинамічне поле, глибини розраховане математичного моделювання шляхом розповсюдження аномалій надлишкового тиску в нестискуваній рідині. В результаті розрахунку повного, а також аномального тиску у морському середовищі, що був створений в процесі руху кораблем, була апробована методика фізико-математичного моделювання його гідродинамічного Фізико-статистичне моделювання реалізується за поля. допомогою регресійного аналізу застосування для формалізації емпіричних закономірностей. Отримані результати емпіричних залежностей глибини аномалій надлишкового тиску від швидкості об'єкта. Для району північнозахідного шельфу Чорного моря виконано районування акваторії за фактором швидкості руху судна, що забезпечує непомітне переміщення в умовах передбачуваного розгортання донних гідростатичних комплексів моніторингу гідродинамічного поля. Як приклад районування акваторії показана карта (рис. 3.43) на якій білим кольором виділено райони, де глибини дозволяють судну з геометрією, згідно цифрової моделі використаної при математичному гідродинамічному моделюванні поля динамічного тиску, рухатись зі швидкістю 30 вузлів і не бути зафіксованому системою, що реагує на гідродинамічне поле судна з пороговим значенням гідростатичного тиску - 10000 Па.



Рис. 3.43 – Карта районування акваторії північно-західної частини Чорного моря [77] за фактором швидкості руху судна в умовах мінної загрози (білим кольором виділено райони, де глибини більше 20 метрів і дозволяють судну рухатись зі швидкістю 30 вузлів і не бути зафіксованому засобами пошуку за ознакою гідростатичного тиску з пороговим значенням -10000 Па).

Вважається, що ефективним тактичним прийомом унеможливлення виявлення корабля донними гідростатичними пристроями, є вибір безпечної швидкості ходу, тобто такої швидкості, за якої величина зміни тиску під кораблем не перевищить встановленого порогу пристрою з вимірювання гідростатичного тиску.

Для ізобари будь-якого чисельного значення доцільно, шляхом застосування регресійного аналізу, розрахувати рівняння залежності вертикальної відстані від морської поверхні від швидкості руху судна.

Розроблена методика дозволяє для різних типів суден виконувати розрахунки форми та розмірів ізобари динамічного тиску, яка є пороговою для фіксації системами моніторингу гідродинамічного поля. Розрахунки виконуються для різних швидкостей руху судна. Отримані результати є вхідними даними для районування будь-яких акваторій Світового океану за ознакою вибору швидкості руху судна (визначеного типу) з метою унеможливлення його фіксації за гідродинамічним полем.

В результаті застосування статистичних методів аналізу даних розрахунку гідродинамічного поля судна, показано можливість вигляді, формалізації його характеристик аналітичному У ЩО В подальшому дозволяє автоматизувати процес районування будь-яких акваторій за ознакою швидкості руху корабля, який дозволяє вибирати безпечну швидкість руху судна в умовах мінної загрози (передбачено міни, які спрацьовують на гідродинамічне поле судна) [75]. Таким чином запропоновано алгоритм визначення критичної швидкості руху судна при існуванні мінної загрози.

3.6 Висновки до третього розділу

За результатами виконаних досліджень, викладених у третьому розділі, сформульовано висновки теоретичного характеру та обґрунтовані практичні рекомендації.

В напрямку підвищення точності позиціонування суден, вперше, за даними статистичного обчислення результатів розрахунку часової мінливості форми геоїду, виявлено і досліджено міжрічну мінливість зсувів центру мас Землі, як центру обертання геодезичних супутників, відносно центру геоцентричної системи WGS-84, що має як фундаментальне теоретичне значення, так і може бути базою для подальшого вдосконалення (зменшення похибки) методів супутникової геодезії. Отримані результати свідчать про те, що запропонований алгоритм дозволяє за поточними гідрографічними даними розраховувати наперед зміни у часі значення поправки до координат, визначених методами супутникової геодезії.

Обчислення статистичними методами результатів математичного моделювання тривимірного розповсюдження фронту гідроакустичної вперше, встановили можливість періодичного у просторі хвилі, проявлення зон акустичної тіні. Виявлена закономірність системної перерваності дії гідроакустичних засобів дає можливість підвищити ефективність гідроакустичного застосування обладнання шляхом виконання певного маневрування судна, та/або шляхом побудови оптимальної мережі донних станцій зв'язку та позиціонування. Результати адаптації зазначеного алгоритму підтверджені даними натурного експерименту під час державних випробувань гідроакустичного комплексу «Ятрань».

З метою моделювання акустичного портрету судна, розроблено алгоритм обробки гідродинамічних розрахунків часових змін надмірного тиску статистичними методами. Запропонований алгоритм дозволяє для будь-якого типу підводної частини корпусу судна визначити його низькочастотну акустичну сигнатуру, шо може бути використано в системі AIS. Найбільш актуальним це є для безмоторних яхт, малошумних підводних човнів, безмоторних автономних безпілотних апаратів типу «глайдер».

Запропоновано алгоритм визначення причин генерування корпусом судна турбулентного сліду. Зазначений алгоритм дозволяє визначити ділянки корпусу, що генерують у воді турбулентні збурення, що демаскують судно та негативно впливають на його морехідні якості.

Запропоновано алгоритм обробки методом регресійного аналізу результатів гідродинамічного математичного моделювання змін геометрії

(розмірів та форми) ізобар надмірного тиску під час змін швидкості руху судна. Зазначений алгоритм дозволяє вибирати безпечну швидкість руху судна в умовах мінної загрози (передбачено для мін, які спрацьовують на гідродинамічне поле судна).

РОЗДІЛ 4. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ГАЛУЗЬ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ

У четвертому розділі розглядаються можливості обчислення методами результатів статистичними динамічного моделювання гідрометеорологічних процесів. Розглянуто умови генерування на морській поверхні корабельних хвиль та їх вплив на зниження маневреності судна; підвищення можливостей маневрування судна у вузкостях за умов наявності гідродинамічного моделювання течій; підвищення ефективності гідрографічних робіт за умов наявності результатів моделювання літодинамічних процесів (утворення та розмиву навігаційгих перешкод типу банок і барів).

4.1 Апробація алгоритму мінімізації впливу на швидкість руху корабля корабкльних хвиль, що створюються ним

Головний постулат: вважається, що кормові та носові зони аномального тиску корабля на воду генерують корабельні хвилі.

Зазвичай, корабельні хвилі, показані на рис. 4.1, досліджують як демаскуючу ознаку корабля на поверхні моря.



Рис. 4.1 – Фото корабельних хвиль від рухомих цілей [55].

Але корабельні хвилі є впливовим фактором на співвідношення (енергетичні витрати)/(швидкість судна). За певної швидкості збільшення енергетичних витрат вже суттєво не підвищує швидкість руху судна, що впливає на його маневреність.

Гідродинамічне поле корабля формується під впливом дії підводної частини корпусу судна на морську воду. Значення динамічного тиску, що створюється кораблем у водному середовищі, обумовлено особливостями геометрії підводної частини судна та швидкістю його руху.

Невирішеною методична проблема аналізу результатів £ математичного гідродинамічного моделювання з метою визначення співвідношення швидкості якої (енергетичні руху судна, за витрати)/(швидкість судна) стає критичним. Для вирішення цієї задачі пропонується виконувати аналіз результатів гідродинамічного моделювання методами фізико-статистичного моделювання. Нами проведено гідродинамічне моделювання гідродинамічного поля судна шляхом розрахунку форми та об'єму ізобар надмірного тиску. На рис. 4.2 наведено приклади розрахунку певної ізобари надмірного тиску, що створюється кораблем при русі з різною швидкістю.





б

<image>

Рис. 4.2 – Схематичне зображення певної ізобари динамічного тиску за швидкості руху судна, коли: а) корабельні хвилі практично не генеруються; б) генеруються носова та кормова корабельні хвилі; в) кормова хвиля відстає.

Результати розрахунків, що приведені на рис. 4.3 у певній мірі відповідають фактичним умовам генерування корабельних хвиль за різних швидкостей руху.

Розглянемо таблицю 4.1 залежності об'єму та форми відповідної ізобари надмірного тиску від швидкості руху судна (кольорами показано ознаки форми відповідної ізобари надмірного тиску).

Вузли	-9600 (IIa)	-9500 (IIa)	-9400 (Па)	-9300 (IIa)	-9200 (Па)	-9100 (IIa)	-9000 (IIa)	-8750 (IIa)	-8500 (IIa)	-8250 (IIa)	-8000 (Па)	-7750 (IIa)	-7500 (IIa)	-7250	-7000 (IIa)	-6500 (IIa)	-6000 (Па)	-5500 (Па)	-5000 (Па)	-4000 (Па)	-3000 (IIa)
2,5																					
5	6,2/0			6,2/0																	
7,5	10/6,2	10/5	10/4,5				6,2/0														
10	10/9	10/8,5	10/8	10/7,5			8,5/6,5														
15	0/19	0/19	0/16	14/13	13/11		12/8	10/9		10/5	8,5/5										
20	0/19,5	0/18	0/17,5	0/16,5	13,5/11,5		12,5/9		10/7		10/6		8,5/5								
25	0/30,6	0/29	0/26	0/24	0/22	0/20	0/18	0/16		0/15	13/11		12/1 0		11,5/8,5	11/8	10,5/8		10/7	9,5/6, 5	
30	0/38	0/36	0/34	0/32	0/30.6	0/30	0/28.6	0/27	0/24	0/22	0/19	0/18	0/16		0/14	Ì	12/10	11/9	10,6/8,6	9,28	9/6.2

Таблиця 4.1- Залежність від швидкості руху катера об'єму та форми відповідної ізобари надмірного тиску, що

створюється судном

В таблиці 4.1 в чисельнику наведено діаметр (м) кормової аномалії надмірного тиску, а у знаменнику – носової аномалії. Жовтим виділено умови існування виключно кормової аномалії надмірного тиску. Синім кольором показано результати, коли носова та кормова аномалії – розділені. Червоним кольором виділені результати розрахунків, відповідно до яких судно генерує носову аномалію надмірного тиску.

Досліджено зміни об'єму та геометрії ізобар зон надмірного тиску за умов швидкості руху судна і встановлено, що при швидкості до 20 вузлів, для відповідного рівня надмірного тиску, судно рухається на двох хвилях, тобто, інерційні сили переважають гравітаційні, а з швидкості 25 вузлів кормова хвиля починає відставати і катер рухається на одній хвилі вгору, тобто починає витрачати енергію руху проти сили тяжіння.

За умов того, що судно, що рухається на водній поверхні за рахунок кінетичної енергії створює додатковий до статичного - надмірний динамічний тиск на воду, Загальновідомо, що сила дії викликає силу протидії. Протидія додаткового до статичного – надмірного динамічного тиску - проявляється у корабельних хвилях, які суттєво знижують швидкість руху судна.

Співвідношення гравітаційних та інерційних сил в умовах руху катера водною поверхнею оцінюється числом Фруда (Fr). Ефективним є рух катера за $Fr \leq (0,35 - 0,39)$. За таких умов ніби-то катер рухається на двох хвилях - носовій та кормовій. Вважається, що перевищення зазначеного порогу числа Фруда для маломірних суден відбувається за умов відриву та відставання кормової хвилі. За таких умов катер рухається на одній носовій хвилі, тобто безперервно намагається «вийти» на гребінь хвилі, тобто починає витрачати енергію руху на подолання гравітаційної сили.

4.2 Апробація алгоритму оптимального маневрування у вузкозтях завдяки результатам моделювання течій

Головний постулат: вважається, що визначення тривимірного поля течій може бути застосовано для оцінки інтегрального тиску течій на підводну частину судна і цим підвищити можливості ефективного керування судном у вузкозтях.

Течії впливають на умови керування судном. У вузкозтях течії собою навігаційну представляють суттєву перешкоду. Наявність поверхневих течій та компенсаційних протитечій дуже сильно впливає на керування кораблем, тому нами пропонується виконання математичного тривимірного розподілу течій. Розрахунки такого моделювання можуть бути оброблені статистичними обчислення методами, шляхом інтегрального тиску течії на лівий та правий борт судна.

Нами запропоновано виконувати у реальному масштабі часу математичне гідродинамічне моделювання течій у вузкостях на прикладі акваторії Одеського порту [56]. Фото акваторії Одеського порту, цифрової моделі берегової смуги та гідротехнічних споруд порту та розрахункової сітка показані на рисунках 4.3 та 4.4.





Рис. 4.3 – Акваторія Одеського порту: a) – супутникове зображення [55], б) – цифрова модель.

Для акваторії Одеського порту було виконано математичне моделювання для течії західного напрямку зі швидкістю (20 см/с), що базуються на чисельному рішенні тривимірних нелінійних рівнянь Нав'є-Стокса.

Розрахункова сітка має ущільнення в районі Одеського порту (рис. 4.4).



Рис. 4.4 – Схема розрахункової сітки цифрової моделі Одеського порту.

Течії розраховано для глибин 0, 5, 10 м. На рис. 4.5, у якості

прикладу, представлені результати розрахунку напрямку та швидкості поверхневих течій акваторії порту. Зі зменшенням швидкості течії, колір змінюється з червоного кольору в бік синього кольору. Червоний колір векторів відповідає максимальній швидкості.



Рис. 4.5 – Схема векторів поверхневих течій.

Розрахунок має на меті визначити на кількісному рівні траєкторії руху та швидкість течій в Одеському порті в умовах західного напрямку поверхневої течії. За результатами моделювання течій встановлено, що Старий хвилеріз, Новий хвилеріз та огороджувальна шпора Одеського СРЗ трансформують поверхневу течію західного напрямку. З візуального аналізу обстановки слід було б очікувати посилення швидкості течії між Старим хвилерізом та шпорою СРЗ, але згідно розрахунків, значна частина потоку перенаправляється у бік СРЗ та Воронцовського молу. Пояснити це можна тим, що поверхнева течія переносить більш значний об'єм води у порівнянні з придонною компенсаційною течією. Завдяки тому, що воді грубо кажучи, нікуди дітися, західний потік перенаправляється на північ та

на південь. Максимальні швидкості потоку (20 см/с) зберігаються лише на північному краї Старого хвилерізу.

Такі самі умови виникають і на вході в Практичну гавань, де створена база ВМС ЗС України. Західні потоки оминають вхід у гавань, трансформуючись в південні та північні потоки. Конфігурація хвилерізів створює неочікувані умови течій між Воронцовським молом та Старим хвилерізом. В зазначеній зоні виникає протитечія, швидкість якої може перевищувати швидкість загального західного потоку. Аналогічна ситуація створюється на півночі - в районі СРЗ.

Таким чином, за результатами проведеного нами математичного моделювання за умов загального західного потоку, приблизно 70% об`єму течії, що направлена в бік порту, перенаправляється на південь та на північ. Потік, що потрапляє в акваторію порту, формує умови виносу води в проходи біля Воронцовського молу та СРЗ.

В районах СРЗ та Воронцовського маяка, гідродинамічні умови є складними. В районі СРЗ швидкості течій північного напрямку є значними, а в районі Воронцовського маяка – виникає фронтальна зона конвергенції. За результатами виконаного розрахунку можна констатувати небезпечні умови для швартовки в районі пірсу СРЗ.

Результати математичного гідродинамічного моделювання можна використовувати для підвищення безпеки судноплавства на вході/виході в порт та в акваторій порту. У вузкозтях, де судно рухається проти течії, керування ним простіше, ніж в умовах коли воно рухається вздовж течії. Тобто за результатами розрахунку можна визначити, що безпечніше входити в порт в районі СРЗ, а виходити центральним проходом. Вхід і вихід біля Воронцовського маяка пов'язаний з небезпекою виносу судна у бік Воронцовського маяка.

З метою запобігання зазначеним ризикам, пропонується адміністраціям портів вести моделювання течій в акваторії порту в реальному масштабі часу. Вхідною інформацією може бути вимірювання
поверхневих течій на периферії порту. Результати моделювання формують інформаційний шар, який використовується у комплексі з такими інформаційними шарами як рельєф дна, рівень моря тощо.

4.3 Апробація алгоритму змін глибин в районах підводних навігаційних перешкод типу банок та барів

Головний постулат: вважається, що визначення зон позитивної аномалії швидкості придонних течій (зон розмиву навігаційних перешкод типу банок та барів) і зон негативної аномалії швидкості придонних течій (зон намиву навігаційних перешкод типу банок та барів) дає підставу для оцінок зміни після шторму місця, форми та геометрії зазначених навігаційних перешкод.

Теорія трансформації акумулятивного рельєфу мілководних районів ґрунтується на очевидних причинно-наслідкових зв'язках залежності інтенсивності відкладення наносів від різких змін швидкості течії в зонах вертикальних рухів води (зонах розвантаження підземних вод в районах акваторій) [57-67, 70, 74]. Але досі не вистачало практичного підтвердження ефективності цього механізму фізичним експериментом, або результатами математичного гідродинамічного моделювання.

Для з'ясування ефективності механізму впливу розвантаження підземних вод в районах акваторій на відкладення транспортованих наносів, проведено математичне моделювання течій над лінійною зоною підводного розвантаження підземних вод [63, 68].

Для гідродинамічного моделювання створено обчислювальну область цифрової моделі рельєфу морського дна. Обчислювальна область становила 100*100 м. Була створена розрахункова сітка з просторовою розподільчою здатністю 1х1 м по горизонталі і 0,5 м - по вертикалі. Обрано глибину моря 20 м. У центрі обчислювального об'єму, поперек течії було змодельовано пониження підводного рельєфу, шириною 5м, та глибиною 1 м, типове для зон підвищеної проникненості земної кори. В межах депресії імітоване лінійне підводне джерело порівняно теплих підземних вод. Аномалія температури води задана значенням +3.5°C. Дебіт розвантаження підземних вод задано на рівні 1,5 л/с·м². Швидкість течій в розрахунковій зоні задавалася на рівні 10 см/с. Для забезпечення стійкої стратифікації води, розшарування температури з глибиною становило 0,1°C/м.

На рис. 4.6 - 4.8 представлені результати математичного моделювання гідродинаміки потоку з урахуванням існуючих неоднорідностей рельєфу морського дна у вигляді лінійної депресії.

На рис. 4.6 показаний вертикальний розріз розрахованого потоку.



Рис. 4.6 – Схематичне зображення розрізу траєкторій руху часток води (за даними моделювання) над лінійною депресією морського дна.

Встановлено, що перед депресією на дні формується вихор із інтенсивною течією зворотного напрямку.

На рис. 4.7 показана зона збільшення швидкості придонної протитечії, відповідно зона розмиву показана червоною смугою (рис. 4.12 б). Тобто, перед жолобом виникає розмив.



Рис. 4.7 – Схематичне зображення швидкості течії на площині морського дна (за даними математичного моделювання).

Рис. 4.8 показує вертикальний розріз потоку. Візуалізація зміни швидкості потоку позначена кольором, а напрямок потоку - стрілками.



Рис. 4.8 – Схематичне зображення розрізу векторів течій над депресією з якої розвантажуються підземні води (місце розвантаження підземних вод показано жовтим кольором).

Результати моделювання підтвердили, що в лінійних зонах розвантаження підземних вод, виникають зони зменшення швидкості течії, що сприяє відкладенню наносів і формуванню акумулятивних форм рельєфу морського дна. На прикладі акумулятивної системи Тендрівської коси та острова Джарилгач статистичними методами нами були підтверджені результати гідродинамічного моделювання.

Таким чином нами запропоновано алгоритм визначення змін форми та положення тимчасових навігаційних перешкод типу банок і барів під впливом шторму. Ендогенна теорія формування навігаційних перешкод типу барів і банок була підтверджена результатами математичного гідродинамічного моделювання. Визначені особливості просторових змін швидкості течій, що за законом Стокса сприяють відкладенню на дно піску та формуванню навігаційних перешкод.

4.4 Висновки до четвертого розділу

За результатами виконаних досліджень, викладених у четвертому розділі, сформульовано висновки теоретичного характеру та обґрунтовані такі практичні рекомендації.

З метою забезпечення ефективного керування рухом судна, шляхом статистичного обчислення результатів математичного застосування гідродинамічного моделювання гідродинамічного поля судна, яке генерує корабельні хвилі, що впливають на швидкість руху судна, розроблене методичне підґрунтя визначення критичної швидкості руху судна, при збільшенні трансформації корабельних якої, рахунок хвиль, за відбувається перехід з економного на неекономний режим руху, за якого збільшення потужності не приводить до відповідного збільшення швидкості, що зменшує маневреність судна. Зазначений алгоритм для визначати швидкість, кожного судна дозволяє оптимальну для ефективного керування судном та здійснення маневрування.

З метою підвищення безпеки руху у вузкозтях в умовах штормового вітру та деякий час після його припинення, методами математичного гідродинамічного моделювання обчислено результати 3D розрахунку течій на прикладі акваторії Одеського торгівельного порту. У зв'язку з тим, що течії складають суттєву навігаційну загрозу, впливаючи на ефективність засобів керування кораблем, пропонується у портах та вузкостях доповнити існуючу геоінформаційну–систему інформаційним шаром 3D течій. ;

Для з'ясування ефективності механізму створення тимчасових навігаційних перешкод типу банок, проведено літодинамічне моделювання цифрової моделі рельєфу морського дна. Результати моделювання підтвердили ендогенну гіпотезу рельєфоутворення акумулятивних форм рельєфу морського дна. Визначені особливості просторових змін швидкості течій, що за законом Стокса сприяють відкладенню на дно піску та формуванню навігаційних перешкод.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи розроблено та апробовано низку тестових алгоритмів математичного моделювання у галузі навігації та гідрометеорології, як підгрунтя для створення забезпечення методів методичного 3 впровадження сучасних математичного моделювання для забезпечення безпеки мореплавства. Розроблені методичні рішення комплексної обробки інформації в системах спостереження, розпізнавання об'єктів, навігації й управління рухом та опрацьовані підходи до створення методичного забезпечення аналізу інформації, отриманої від систем навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства.

Головним результатом дисертаційної роботи є створення підґрунтя для методичної розробки з застосування методу фізико-статистичного (емпіричного) моделювання для обчислення результатів математичного (теоретичного) гідродинамічного моделювання у напрямку навігації та керування рухом суден з метою забезпечення безпеки мореплавства, шляхом розробки алгоритмів вирішення конкретних задач у галузі гідрометеорологічного та навігаційно-гідрографічного забезпечення, як складової проблеми керування рухом судна.

В напрямку підвищення точності позиціонування суден, вперше, за обчислення результатів статистичного розрахунку часової даними мінливості форми геоїду, виявлено і досліджено міжрічну мінливість зсувів центру мас Землі, як центру обертання геодезичних супутників, відносно центру геоцентричної системи WGS-84, ЩО має ЯК фундаментальне теоретичне значення, так і може бути базою ДЛЯ подальшого вдосконалення (зменшення похибки) методів супутникової геодезії. Отримані результати свідчать про те, що запропонований алгоритм дозволяє за поточними гідрографічними даними розраховувати

150

наперед зміни у часі значення поправки до координат, визначених методами супутникової геодезії.

В результаті обчислень статистичними методами результатів математичного моделювання розповсюдження фронту гідроакустичної вперше встановлена можливість періодичного, у хвилі, просторі, проявлення зон акустичної тіні. Виявлена закономірність системної перерваності дії гідроакустичних засобів дає можливість підвищити ефективність застосування гідроакустичного обладнання шляхом виконання певного маневрування судна, та/або шляхом побудови оптимальної мережі донних станцій зв'язку та позиціонування. Результати підтверджені адаптації зазначеного алгоритму даними натурного експерименту під час державних випробувань гідроакустичного комплексу «Ятрань».

З метою моделювання акустичного портрету судна, розроблено алгоритм обробки гідродинамічних розрахунків часових змін надмірного тиску статистичними методами. Запропонований алгоритм дозволяє для будь-якого типу підводної частини корпусу судна визначити його низькочастотну акустичну сигнатуру, шо може бути використано в системі AIS. Найбільш актуальним це є для безмоторних яхт, малошумних підводних човнів, безмоторних автономних безпілотних апаратів типу «глайдер».

Запропоновано алгоритм визначення причин генерування корпусом судна турбулентного сліду. Зазначений алгоритм дозволяє визначити ділянки корпусу, що генерують у воді турбулентні збурення, що демаскують судно та негативно впливають на його морехідні якості.

Запропоновано алгоритм обробки методом регресійного аналізу результатів гідродинамічного математичного моделювання змін геометрії (розмірів та форми) ізобар надмірного тиску під час змін швидкості руху судна. Зазначений алгоритм дозволяє вибирати безпечну швидкість руху судна в умовах мінної загрози (передбачено для мін, які спрацьовують на гідродинамічне поле судна).

З метою забезпечення ефективного керування рухом судна, шляхом статистичного обчислення результатів застосування математичного гідродинамічного моделювання гідродинамічного поля судна, яке генерує корабельні хвилі, що впливають на швидкість руху судна, розроблене методичне підґрунтя визначення критичної швидкості руху судна, при трансформації збільшенні якої. за рахунок корабельних хвиль, відбувається перехід з економного на неекономний режим руху, за якого відповідного збільшення збільшення потужності не приводить до швидкості, що зменшує маневреність судна. Зазначений алгоритм для кожного судна дозволяє визначати швидкість, що є оптимальною для ефективного керування судном та здійснення маневрування.

З метою підвищення безпеки руху у вузкозтях в умовах штормового вітру та деякий час після його припинення, методами математичного гідродинамічного моделювання обчислено результати 3D розрахунку течій на прикладі акваторії Одеського торгівельного порту. У зв'язку з тим, що течії складають суттєву навігаційну загрозу, впливаючи на ефективність засобів керування кораблем, пропонується у портах та вузкостях доповнити існуючу геоінформаційну систему інформаційним шаром 3D течій.

Для з'ясування ефективності механізму створення тимчасових навігаційних банок, літодинамічне перешкод, типу проведено цифрової моделі рельєфу морського дна. Результати моделювання моделювання підтвердили ендогенну гіпотезу рельєфоутворення акумулятивних форм рельєфу морського дна. Визначені особливості просторових змін швидкості течій, що за законом Стокса сприяють відкладенню на дно піску та формуванню навігаційних перешкод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кучеренко Н.В. Про доцільність створення географічної інформаційної системи з гідрометеорології, океанології, гідрографії та геофізики для використання її у воєнній сфері / Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи», 10-11 вересня 2015. м. Одеса. – С. 111.

2. Капочкін Б.Б. Використання геоінформаційних систем при оперативному забезпеченні ВМС ЗС України. Проблемні питання / Капочкін Б.Б., Пертушенко І.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 22-23 вересня 2016 № 142-2016, м. Одеса. – С. 142.

3. Капочкіна М.Б. Перспективи співпраці з країнами НАТО в галузі гідрометеорологічного та гідрографічного забезпечення флоту / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки», 15-18 грудня 2015. Київ.– С. 47.

4. Петрушенко І.В. Проблемні питання оцінки якості гідрометеорологічних та гідрографічних карт / Петрушенко І.В., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // XIV міжнародна науково-практична конференція «Шевченківська весна 2016», Київський національний університет ім. Т.Г. Шевченка, м. Київ 6-8 квітня 2016, - С.54-56.

5. Осадчук Р.М. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції / Осадчук Р.М., Беспалко І.А. // XXI Всеукраїнська НПК, Житомир, 2016. Фриз С. П. «Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем» - Вісник ЖДТУ №1 (25), 2004 – С. 88

6. Гладких I.I. Перспективи розвитку оперативної океанографії в Україні: монографія / Гладких I.I., Симоненков С.В., Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г., Чеча О.П. // Одеса: Астропринт, 2017 – 116 с.

7. Лінеаментний аналіз LESSA [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://geo.web.ru/db/simg.html?mid=1172103 –Title from screen

8. Терещенко Л. Моделирование гидродинамических процессов на территории застройки контейнерного терминала Одесского морского торгового порта / Терещенко Л., Никишов В., Хомицкий В., Фомин В. [Електронний ресурс] - Режим доступа:

https://www.researchgate.net/publication/258352076_The_modelling_of_hydrodyna mic_processes_for_the_building_area_of_container_terminal_of_Odessa_marine_co mmercial_port - Название с экрана.

9. US Naval Research Laboratory 7320. [Electronic resource] – access mode: https://www7320.nrlssc.navy.mil/ - Title from screen.

10. Аксенов А.А. Гидродинамический анализ судна в программном комплексе FlowVision / Аксенов А.А., Печенюк А.В., Станков Б.Н., Шмелев В.В. ПасечникВ.Г. //Rational Enterprise Management, vol. 3, pp. 64-67, 2007.

11. Суднобудівництво [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://flowvision.ru/ru/ - Назание с экрана.

12. Капочкін Б.Б. Участь Вимоги та граничні умови цифрового моделювання гідродинаміки підводної техніки / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 р. Київ. – С. 46

13. Печенюк А.В. Численное моделирование обтекания корпуса судна в условиях мелководья [Електронний ресурс] - Режим доступа: https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_d1_dmt.pdf. – Название с экрана.

14. Scott I.R. A Shallow Water Speed Corrector. Quarterly Transactionsof the Royal Institution of Naval Architects, vol. 108, no. 4, October 1966 - P. 431 – 440.

15. Апухтин П.А. Сопротивление воды движению судов / Апухтин П.А., Войткунский Я.И. // Москва: Машгиз, 1953. - 356 с.

16. Ерашов В. Частота пульсації Землі [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.proza.ru/2013/01/13/977 – Назва з екрану.

17. Стейси. Ф. Физика Земли / Ф. Стейси // – М.: Мир, 1972. – С. 37–43.

18. Халилов Э. Доклад международного комитета Geochange [Електронний ресурс] - Режим доступа: http://ruklinok.info/news/2010-11-27-1226 - Название с экрана.

19. Новый глобальный режим деформации Земли: обнаружен сезонный цикл [Електронний ресурс] - Режим доступа:

https://www.researchgate.net/publication/11613992_A_New_Global_Mode_of_Earth Deformation Seasonal Cycle Detected - Название с экрана.

20. Спешилова А. В. Модель мелкой воды в сферическом поясе на вращающейся притягивающей сфере / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Новосибирск, 2015 – 15 с.

21. O.B. Изучение Пономарева периодического связи движения географических полюсов с периодами обращения планет / Пономарева О.В. // IV конференция международная Солнечно-земные физика связи И предвестников землетрясений 14 - 17 августа 2007 г., с. Паратунка, Камчатский край - С. 190-194.

Федоров Е.П. Движение полюса Земли с 1890 по 1969 годы / Федоров
Е.П., Корсунь А.А., Майор С.П. и др. // Киев: Наукова думка., 1972. – 264 с.

23. Михайлов В. И. Современные изменения уровня Черного моря как основа стратегии строительного освоения побережий: монография / Михайлов В. И., Дорофеев В. С., Ярошенко В. Н., Капочкин. Б. Б., Кучеренко Н. В.. – Одесса: Астропринт, 2010. – 165 с.

24. Пустовойтенко В.В. Оперативная океанография: современное состояние, перспективы и проблемы спутниковой альтиметрии / Пустовойтенко В.В., Запевалов А.С. // Современные проблемы океанологии, т. 11, 2012 - 218 с.

25. Змін у часі рівня Чорного моря за даними альтиметричних спостережень [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://rdp2-jaune.clsfr:8180/trends/dodsC – Назва з екрану.

26. Михайлов В.И. Изменения уровня Черного моря / Михайлов В.И., Кучеренко Н.В,. Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологія міста та рекреаційних зон» Одеса 2010. – С. 34-36.

27. Кучеренко Н.В. Определение погрешностей измерения уровня Мирового океана / Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б. // Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Актуальные проблемы современной гидрометеорологии», Одеса 2012. – С. 48.

28. Капочкіна М.Б. Методические проблемы мониторинга уровня океанов и морей / Капочкіна М.Б., Хриненко В.В. // Збірник тез доповідей VIII міжнародній конференції «Молоді науковці – географічній науці» 2012, Київ – С. 42.

29. Гладких І.І. Планування бойових дій в умовах просторово - часових змін навігаційних умов в мілководних районах азовського та чорного морів / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б.// Міжнародна науково-практична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 10-11 вересня 2020. м. Одеса. – С. 181.

30. Михайлов В.І. Эндогенные причины формирования берега и аккумулятивных форм морского дна / Михайлов В.І., Капочкин Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкина А.Б. // Одеса: Метеорологія, кліматологія та гідрологія № 50, 2008. – С. 246-251.

31. Капочкин Б.Б. Отражение ротационной гипотезы структурообразования в динамике рельефа морского дна и береговой зоны / Капочкин Б.Б., Гладких И.И., Дегтяренко В.И. // Одесса: экологические проблемы городов, рекреационных зон и природоохранных территорий ОЦНТИ, 2004. - С. 36 – 42.

32. Капочкина А.Б. Методика оценки расхода источника субмаринной разгрузки / Капочкина А.Б., Михайлов В.И. // XII конференції студентів, аспирантів та молодих вчених «Шевченківська весна», Київ 2014, - С. 43-45.

33. Замаренова Л.Н. Акустическая модель квазистационарных трасс. Часть 2. Концепция исследований / Замаренова Л.Н., Скипа М.И. // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засобидосліджень Світового океану), 2010 (№ 7) - С. 58-72.

34. Капочкін Б. Б. Перспективна система гідрометеорологічного та навігаційно-гідрографічного забезпечення ВМС в об'єднаних операціях / Капочкін Б. Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Міжнародна науковопрактична конференція: «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 10-11 вересня 2020, м. Одеса. – С. 276.

35. Замаренова Л.Н. Акустическая модель квазистационарных трасс Часть 1. Концепция исследований / Замаренова Л.Н., Скипа М.И. // Гідроакустичний журнал Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану № 6 2009, - С. 10-23.

36. Гладких І.І. Фізико статистичне моделювання гідродинамічного поля корабля на базі гідродинамічних розрахунків / Гладких І.І., Капочкіна М.Б. // вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут №9 (1285) 2018. – С. 98 – 106.

37. Капочкіна М.Б. Гідродинамічне моделювання, як складова моніторингу гідрооптичних характеристик морського середовища / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса) №1(3) – С. 49-54.
38. Учитель И. Л. Геодинамика. Основы динамической геодезии / Учитель И. Л., Дорофеев В. С., Ярошенко В. Н., Капочкин Б. Б. // – Одесса: Астропринт, 2008. –311 с.

39. Kubryakov A.A. Mean dynamic topography of the Black sea, computed fromalti metry, drifters measurements and hydrology data / Kubryakov A.A.,

Stanichny S.V. // Ocean Science Discussions. – 2011. – Vol. 8, Issue 2. – P. 701– 722. doi: 10.5194/osd-8-701-2011.

40. Гладких И.И. Исследование Эйлеровской свободной нутации Земли / Гладких И.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Science Rise №6/2(11)2015, рубрика - технические науки / НВП ПП «Технологичнеский центр». Т.300, – С. 15-18.

41. Гладких И.И. Эйлеровская свободная нутация Земли / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Збірник тез 15 української конференції з космічних досліджень, друкарня Видавничого дому «Академперіодика» 2015 Одеса 24-28 серпня 2015, – С. 192.

42. Ben Meakins Best forward-looking sonar: 5 units tested May 10, 2016[Electronic resource] – access mode: - Title from screen.

43. Межотраслевая Интернет-система поиска и синтеза физических принципов действия преобразователей энергии [Електронний ресурс] – Режим доступа: http://www.heuristic.su/effects/catalog/est/byId/description/664/index.html – Название с экрана.

44. Гладких И.И Современный уровень технологий, использующих гидроакустические методы для обеспечения навигации и морских поисковоспасательных работ / Гладких И.И., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Первый независимый научный вестник №1/2015. Т. 2000.– С. 47-54.

45. Гладких И.И. Перспективы технологий, использующих гидроакустические методы, для обеспечения навигации и морских поисковоспасательныхработ / Гладких И.И., Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б., Зорин В.Ю. // Первый независимый научный вестник №2/2015. Т. 2000.– С. 60-66.

46. Гладких І.І. Причини виникнення підводного звукового каналу / Гладких І.І., Н.В. Кучеренко, М.Б. Капочкіна, І.Ф. Нізамутдінов // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил України «Державний океанаріум» № 1 (2) - Одеса: Фенікс, 2018. - С.194 – 206.

47. Гладких І.І. Вплив аномальних властивостей води на гідроакустичні технології / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. //

Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут. № 7 (1229) 2017 - С. 164-172.

48. Гладких I.I. Концептуальные положения мониторинга подводной обстановки морской акватории Азово-Черноморского региона / Гладких I.I., Михайлов В.I., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Первый независимый научный вестник №3/2015, Т 2000. – С.88-94.

49. Капочкиа М.Б. Концепция НИЦ мониторинга подводной обстановки морской акватории Азово-Черноморского региона / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б., Зорин В.Ю. // Географічна наука і освіта в Україні, Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції, , збірник тез доповідей ЦОП «Глобус», Київ 26-28 листопада 2015. – С. 161-162.

50. Капочкіна М.Б. Щодо розробки концепції моніторингу підводної обстановки на шельфах Чорного та Азовського морів України» / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015, Київ. – С. 46-47.

51. Гладких И.И. Концептуальные положення создания системи освещения подводной обстановки в Черном море / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник наукових праць XVII науково-технічної конференції «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку в ГМЗЛБ, в системах радіонавігації, в системах управління рухом суден», 27-28 жовтня 2016, ОНМА м. Одеса, електронне видання.

52. Михайлов В.І. Проблемні питання та перспективи дистанційних досліджень морського середовища / Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г. // .Збірник наукових праць XVII науково-технічної конференції «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку в ГМЗЛБ, в системах радіонавігації, в системах управління рухом суден», 27-28 жовтня 2016, ОНМА м. Одеса, електронне видання.

53. Кучеренко Н.В. Проблеми зв'язку, позиціонування та керування загоном проти підводно-диверсійних сил / Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Соколовський Р.В. // збірник наукових праць науково-дослідного центру

Збройних Сил України «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія» № 1 (3) – 2020, Одеса, - С. 71-77.

54. Капочкіна М.Б. Про доцільність створення підводної мережецентричної системи / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю., Капочкін Б.Б. // Двадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 13-14 квітня 2016.

55. Google планета Земля [Електронний ресурс] - Режим доступа: https://www.google.com.ua/intl/ru/earth/ - Название с экрана.

56. Капочкін Б.Б. Визначення, шляхом математичного моделювання, гідродинамічного впливу на бонові загородження на прикладі Одеського порту / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Збірник наукових праць науковопрактичної конференції «Актуальні проблеми підготовки, застосування Збройних Сил України, управління ними, їх оперативного та матеріальнотехнічного забезпечення» 27-28 вересня 2016 року, м. Київ. – С. 279-280.

57. Kapochkin B.B. The geomorphology of shelf and the submarine fluids discharge / Kapochkin, B.B. Kucherenko N.V., Isakova J.V., Nagrebetsky V.S. // - Barselona: Littoral-98, 4-thInternational Conference, 14-17.09.1998. – 265-269 p.

58. Капочкина А.Б., Результаты красноморских экспедиций кафедры океанологии ОГЭКУ / Капочкина А.Б., Малышев А.И., Капочкина М.Б. // Системы контроля окружающей среды: сборник научных трудов МГИ НАНУ – 2009. – Вып. 12. – С. 414-417.

59. Михайлов В.И. Долгосрочное прогнозирование оползневой опасности в прибрежной зоне морей / В.И. Михайлов, М.Б. Капочкина, Н.В. Кучеренко // Научно-технический журнал «Системы контроля окружающейсреды», Выпуск 16, DOI: 10.33075/2220-5861, 2011- С. 312-314.

60. Капочкіна М.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкіна М.Б., Капочкіна А.Б. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, том №2 (37) / Київ 2015, - С.162-165.

61. Михайлов В.И. Влияние субмаринной разгузки подземных вод на гидрографию морей / Михайлов В.И., Кучеренко Н.В., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря». Одеса 2011. – С. 24-26.

62. Капочкина М.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкина М.Б. // XIV наукова конференція молодих вчених, Одеський державний екологічний університет, 22-24 квітня 2014. Одеса. – С. 18-19.

63. Капочкина М.Б. Математическое моделирование литодинамических процессов / Капочкина М.Б., Капочкина А.Б. // Міжнародна наукова конференція молодих учених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення», Одеса 7 – 9 жовтня 2014 – С. 224 – 226.

64. Капочкина М.Б. Реверсивные геодиформации по данным измерений перманентной геодезической сети / Капочкіна М.Б., Куцан В.В. // На XI міжнародній міждисциплінарній конференції «Шевченківська весна» 2013, Київ. – С. 24-26

65. Капочкин Б.Б. Оценка субмаринной розгрузки в районе Каркинитского залива / Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник наукових праць XV Всеукраїнської (з міжнародною участю) науково - практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці», Київський національний Університет ім. Тараса Шевченка, Київ. 2014. – С. 65 – 67.

66. Капочкин Б.Б. Формирование аккумулятивных форм рельефа морского дна геодинаамическими процесами / Капочкин Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкина М.Б. // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми Чорного моря» 2012 р., Одеса. – С. 46-48.

67. Ткаченко Г.Г. та ін. Про роль діз'юнктивної тектоніки у формуванні берегової лінії морфології основних ділянок акваторії Чорного та Азовського морів / Г.Г. Ткаченко та ін. // Київ: Геологія узбережжя і дна Чорного та Азовського морів у межах УРСР., вип.4., Видавництво Київського університету, 1970 – С. 24-33.

Kucherenko N. Regularities transformation coastal and accumulative form sea bottom relief for water management / Kucherenko N., Kapochkin B., Kapochkina M.
// Meteorology Hydrology and Water Management MHWM-00020-2014-01 / Poland, 2015, - C. 43-48.

69. Гладких І.І. Фізичні принципи створення гідроакустичних перешкод струменевими виходами газу з морського дна вісник / Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», №9 (1285) 2018, - С. 90 - 97.

Капочкіна М.Б. Гидродинамическое моделирование принудительной конвекции в Черном море в районе Новороссийска / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // «ScienceRise» №4/2(9)2015 НВП ПП «Технологічний центр», Т.300, - С. 36-40.

71. Гладких И.И. Влияние подводных газовых струй на достоверность результатов морских гидроакустических измерений / Гладких И.И., Кучеренко Н.В., Зорин В.Ю., Капочкина М.Б. // Перший незалежний науковий вісник «технічні науки» №8/2016, Т. 2000, м. Київ - С. 72-81.

72. Кучеренко Н.В. Проблемні питання застосування гідроакустичних засобів гідролокації та пеленгації підводних цілей / Кучеренко Н.В., Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Барган О.Г. // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил Укаїни «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія» № 1 (3) – 2020, Одеса, - С. 124-131.

73. Капочкіна М.Б. Математическое моделирование гидродинамического и теплового полей корабля на примере корвета. Постановка задачи / Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи» м. Одеса 10-11 вересня 2015 року. – С. 51

74. Кучеренко Н.В. Трансформация береговой зоны и климатическая аномалия лета 2010 / Кучеренко Н.В., Капочкин Б.Б., Капочкина М.Б. // Збірник

матеріалів Міжнародної науково-практична конференції «Екологічні проблеми Чорного моря», Одеса 2010. - С. 28-29.

75. Капочкіна М. Б. Місце оперативно-тактичного моделювання в сучасній війні / Капочкіна М. Б., Капочкін Б.Б., Соколовський Р.В., Сарай В.В. // Збірник наукових праць 28 міжнародної науково-пракичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 13-15 травня 2020 - С. 111 – Харків

76. Капочкін Б.Б. Вимоги та граничні умови цифрового моделювання гідродинаміки підводної техніки / Капочкін Б.Б., Капочкіна М.Б., Зорін В.Ю. // VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» / 15-18 грудня 2015 р. Київ. – С. 46.

77. Карты глубин Черного моря [Електронний ресурс] – Режим доступа:http://akvatoria.org.ua/maps – Название с экрана.

додатки

Додаток А



про впровадження результатів дисертаційного дослідження Капочкіної Маргарити Борисівни на тему: «Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13. – навігація та управління рухом.

иректор

li∏iEc-MAPIHEKCe

26456074

В "ДПЛЕС-МАРІНЕКС"

1. Лютого 2021

В.Г.Прохоров

Комісія у складі:

Голова – директор ТОВ "ДІПІЕС-МАРІНЕКС", к.т.н. В.Г.ПРОХОРОВ; Члени комісії сюрвейсри TOB "JIITIEC-MAPIHEKC", О.С.ВОЛЯНСЬКИЙ; В. А. ПЕТРОВ, цим Актом засвідчує, що результати дисертаційного дослідження Капочкіної Маргарити Борисівни на тему: «Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, ЯК складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту», четвертий розділ якої (підрозділ 4.2 (результати моделювання штормових течій в районі Одеського торгівельного порту), підрозділ 4.3 (моделювання літодинаміки (розмиву дна) в умовах штормових течій) використані для підготовки документів стосовно розслідування причин пошкодження контейнерного терміналу Одеського торгівельного порту під час потужного шторму.

Даний акт не є підставою для будь-яких фінансових розрахунків.



Додаток Б

«ЗАТВЕРДЖУЮ» в т. и моне Першин нроректор Національного тету-«Одеська морська академія» професор О.М. Шемякін 01 2021 p.

про використання результатів дисертаційної роботи здобувача Капочкіної Маргарити Борисівни на тему «Гідродинамічне на фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту» в освітньому процесі університету

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Пархоменко М.М. та директор ННІ МПіТ к. т. н., доцент Ворохобін І.І., склали цей акт в тому, що результати дисертації здобувача Капочкіної Маргарити Борисівни на тему «Гідродинамічне на фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту» впроваджені у освітній процес на кафедрі «Морські технології» під час проведення щорічного навчально-практичного курса «Сучасна морська та річкова та гідрографія» для фахівців ДП «Держгідрографія».

Начальник навчального відділу

Пархоменко М. М.

Директор ННІ МПіТ, к. т. н., доцент

Ворохобін І. І.

АКТ

Додаток В

agency@ferryplus.com.ua

ООО «ФЕРРИ ПЛЮС» Код ЕГРОПУ 42337913

Ул. Новосельского, д. 39, офис 101, Одесса, Украина, 65023 Тел.: +38 094 955 52 42

ЗАТВЕРДЖУЮ Директор ТОВ «ФЕРРІПЛЮС» Ноздрін М.М. « Ю(» лютого 2021

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження Капочкіної Маргарити Борисівни на тему: «Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту»

Комісія у складі:

Голова - (посада-директор, наукова ступінь-магістр, Ноздрін М.М.);

Члени комісії - (директор з розвитку підприємства Мшар Г.О. та старший менеджер на водному транспорті Бахмуцан К.О.), зазначеним Актом засвідчує, що результати дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом Капочкіної Маргарити Борисівни на тему: «Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту», а саме розділ третій (підрозділ 3.3 (підвищення навігаційної безпеки корабля за умов визначення його гідроакустичного поля за даними моделювання) та підрозділ 3.4 (підвищення навігаційної безпеки судна за умов визначення його гідродинамічного поля за даними моделювання)) використані для підготовки документів стосовно забезпечення безпеки доставки вантажів морським транспортом.

Даний акт не є підставою для будь-яких фінансових розрахунків.

Голова комісії

Директор

www.ferryplus.com.ua

(посада)

(підпис) Ноздрін М.М.

Продовження додатку В

agency@ferryplus.com.ua

Ул. Новосельского, д. 39, офис 101, Одесса, Украина, 65023 Тел.: +38 094 955 52 42



Члени комісії:

Директор з розвитку підприємства

(посада)

ООО «ФЕРРИ ПЛЮС» Код ЕГРОПУ 42337913

(підпис) Мшар Г.О.

Старший менеджер на водному транспорті

(посада)

(підпис) Бахмуцан К.О.

Директор ТОВ «ФЕРРІПЛЮС» Ноздрін М.М.





Додаток Г

169



68001, Одеська обл., м. Чорноморськ, проспект Миру, 1/51-Н. ЄДРПОУ 37913823

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом Капочкіної Маргарити Борисівни на тему: «Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту»

Цим Актом затверджується, що результати дисертаційного дослідження Капочкіної Маргарити Борисівни на тему: «Гідродинамічне та фізико-статистичне моделювання, як складова гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення флоту», четвертий розділ якої (підрозділ 4.2 (забезпечення можливостей маневрування в узкозтях шляхом математичного тривимірного моделювання просторових змін течій)) використані для підвищення безпеки швартування до причалу та проходження вузкостей з застосуванням лоцманської проводки.

Директор ТОВ «АЙ ДІ ЕМ-КІТ» Голованов А.В.



«<u>*О*</u>9» лютого 2021 р.