

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Капочкіна Маргарита Борисівна



УДК 629: 556: 527:551

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

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Гладких Ігор Іванович,
професор кафедри Морських технологій
Національного університету «Одеська морська академія», м. Одеса

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

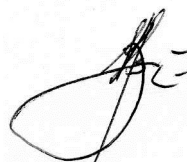
кандидат технічних наук, доцент
Калініченко Євгеній Володимирович,
доцент кафедри Судноводіння і морської
безпеки Одеського національного морського
університету, м. Одеса

Захист відбудеться 20 квітня 2021 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

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

Автореферат розісланий 19 березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, Д 41.106.01
д. т. н., професор



В.В Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Гідрографічно-навігаційне 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 на підставі розроблених алгоритмів продемонстрована можливість вирішувати широкий спектр задач: 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 математичного моделювання у навігаційно-гідрографічне 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. Метою дисертаційного дослідження є забезпечення безпеки мореплавства шляхом ефективного маневрування та керування рухом судна, використовуючи результати обробки даних математичного моделювання статистичними методами у галузі навігаційно-гідрографічного 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 фізико-статистичного 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 навігаційно-гідрографічного 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 підґрунтя для визначення залежної від швидкості 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 торговельного порту. Тобто виконано тестовий розрахунок вертикального розподілу швидкості та напрямку течій в акваторії Одеського торговельного 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 узкоствях доповнити існуючу геоінформаційну 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 навігаційно-гідрографічної та гідрометеорологічної інформації і таким чином забезпечити більш ефективно маневрування та керування рухом судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені в освітній процес на кафедрі «Морські технології» Національного Університету «Одеська Морська Академія» (акт від 29.01.2021), компанією «DPS – MARINEX LLC» використані для підготовки документів стосовно розслідування причин пошкодження контейнерного терміналу Одеського торговельного 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 теоретичного моделювання. З 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 науково-практичних, науково-технічних і міждисциплінарних конференціях:

Всеукраїнська науково-практична конференція «Екологія міста та рекреаційних зон» (м. Одеса, 22-23 березня 2010 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми Чорного моря» (м. Одеса 23-24 березня 2011 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми Чорного моря» (м. Одеса, 23-24 березня 2012 р.), Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Актуальные проблемы современной 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 вчених «Сучасна 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 науково-практична 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 «проблеми 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 науково-практична 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 [1]; в наукових фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, - 6 [3, 4, 6, 7, 9, 14] наукових статей; у закордонних наукових профільних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз – 3 [2, 5, 10]; у періодичних рецензованих виданнях - 8 [8, 11, 12, 13, 15-18] статей; в збірниках матеріалів наукових конференцій – 26 [19-45].

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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить обґрунтування актуальності теми дисертації, її зв'язок з державними програмами наукових досліджень, інформацію про об'єкт, предмет та мету дисертаційного дослідження, а також про задачі, робочу гіпотезу, методи дослідження, наукову новизну, практичне значення, особистий внесок здобувача, публікації та структуру роботи.

У **першому розділі**, здійснено аналіз літературних джерел з подальшою оцінкою основних аспектів вирішення проблеми підвищення безпеки мореплавства шляхом впровадження математичного моделювання в галузь гідрометеорологічного та навігаційно-гідрографічного забезпечення.

Другий розділ присвячено вибору та обґрунтуванню теми дисертації, визначенню об'єкта та предмета дослідження. Зроблене методологічне обґрунтування дослідження за темою дисертації. Розглянуто методи розрахунку рефракції акустичних хвиль, методи гідродинамічного моделювання процесів

та методи фізико-статистичного обчислення часових та просторових рядів, що є чисельною характеристикою зазначених процесів. Обґрунтовано застосування факторного, кореляційного, регресійного спектрального аналізу.

У **третьому розділі** приведені результати підвищення безпеки мореплавства шляхом впровадження математичного моделювання у галузь навігації.

Вперше розроблено алгоритм використання методів фізико-статистичного моделювання з метою оцінки похибок позиціонування засобів супутникової геодезії. Виконані дослідження періодичних змін положення центру мас Землі шляхом дослідження статистичними методами змін форми геоїда. Часовий ряд, довжиною 15 років з дискретністю вимірювань 10 діб, використано для розрахунку енергетичного спектру часових змін форми геоїду, який містить приховану систематичну орбітальну похибку координат супутникової системи позиціонування з періодом 305 діб, обумовлену Ейлерівською нутацією (рис. 1).

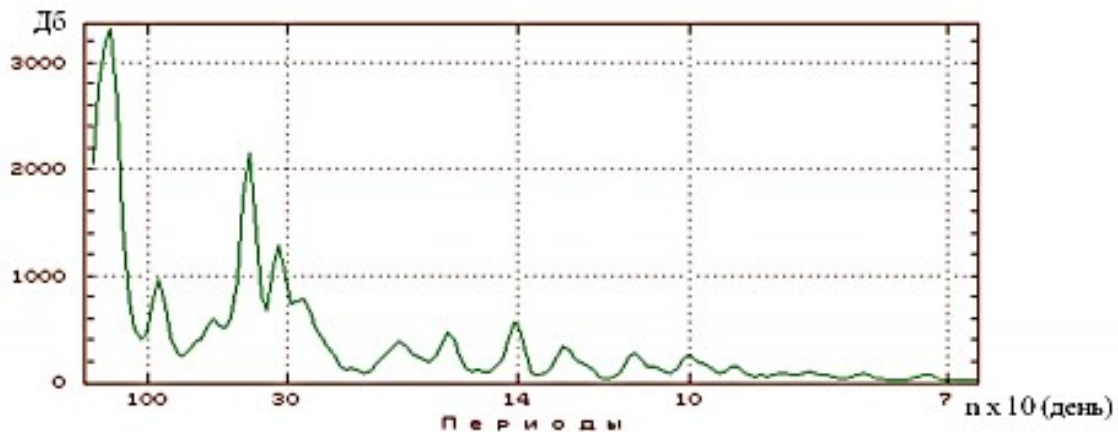


Рисунок 1—Амплітудний спектр часового ряду змін форми геоїду в точці з координатами 43° пн. ш. і 30° сх. д.

З метою визначення ступеня достовірності періодичності 305 діб, була розрахована інтегрована періодограма, за результатами аналізу якої встановлено, що вона перевищує 95% довірчий інтервал. Вузкосмугова фільтрація часового ряду застосована для отримання часової мінливості зазначеної орбітальної похибки позиціонування. Вперше встановлено, що амплітуди похибок позиціонування, пов'язані з Ейлерівською нутацією, не стабільні у часі та змінюються з періодом 5-6 років. Отримані результати свідчать про те, що запропонований алгоритм дозволяє розраховувати наперед, за поточними гідрографічними даними, зміни у часі значення поправки до координат, визначених методами супутникової геодезії.

Вперше розроблено алгоритм статистичної обробки просторових даних, отриманих методами променевої гідроакустики, для дослідження закономірностей прояву зон акустичної тіні. Зони акустичної тіні роблять переривчастими у просторі результати роботи гідролокаторів, шумопеленгаторів, систем підводного зв'язку, систем підводного позиціонування. Данні 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 адаптовано для трьох районів Чорного і одного району Азовського морів; виконані розрахунки для кожного місяця року у цих районах. Як приклад адаптації алгоритму наведено рис. 2, на якому показано, що в Одеській затоці у липні зони акустичної тіні систематично повторюються кожні 263 м, а перша зона тіні виникатиме на відстані 130 м від джерела звуку.

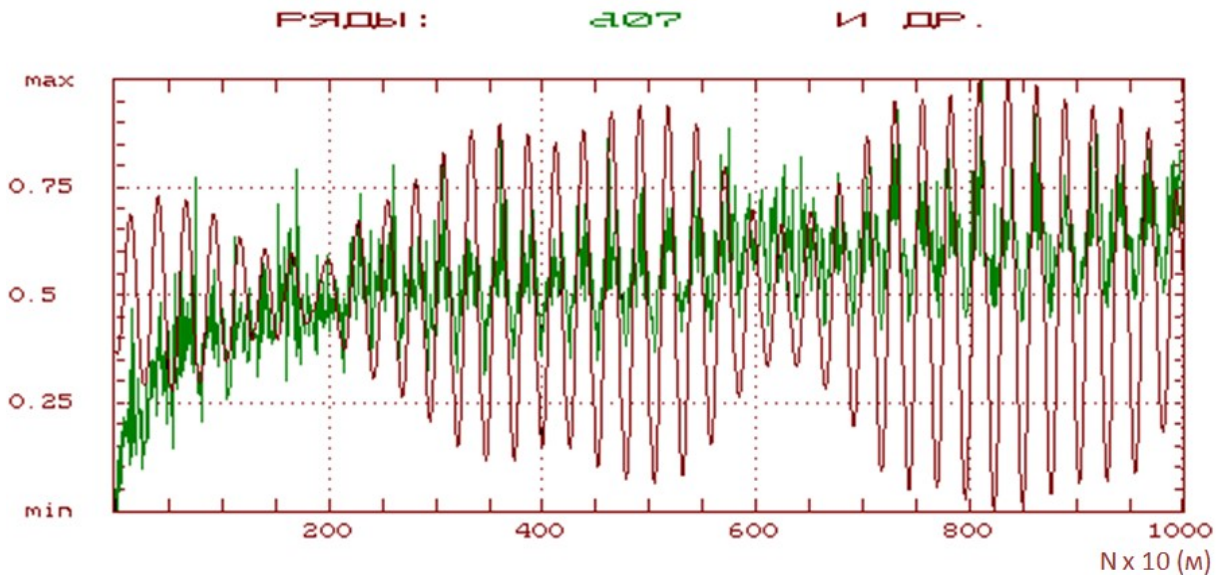


Рисунок 2 –Результати розрахунків вузько-смугової фільтрації даних просторового положення зон акустичної тіні в Одеській затоці в липні місяці

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. 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 адаптації зазначеного алгоритму підтверджені даними натурального експерименту під час державних випробувань гідроакустичного комплексу «Ятрань».

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 гідроакустична сигнатура, створювана носовою, мідельною та кормовою частинами судна. Цифрова модель підводної частини судна, яка генерує його «акустичний портрет», показана на рис. 3.

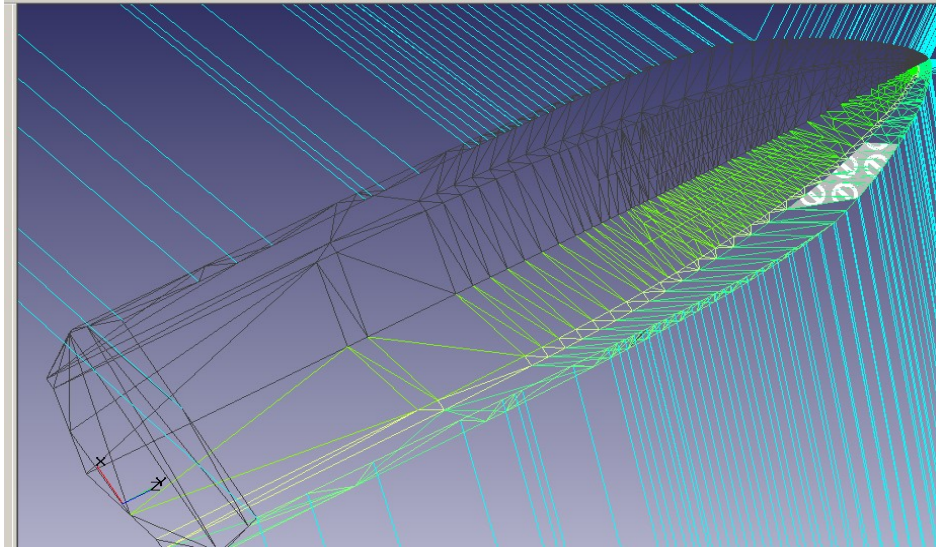


Рисунок 3 – Просторове положення розрахункових ділянок підводної частини корпусу судна

Для адаптації зазначеного алгоритму застосовано спектральний аналіз результатів гідродинамічного моделювання змін у часі надмірного тиску корпусу на воду (рис. 4).

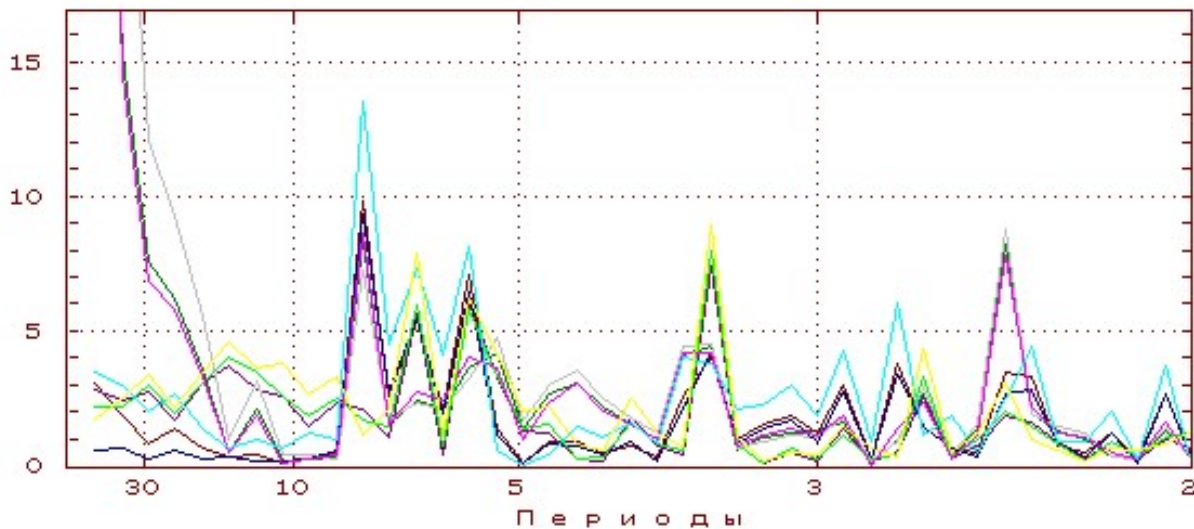


Рисунок 4 – Низькочастотна гідроакустична сигнатура судна, що створюється окремими ділянками корпусу

Для конкретної форми корпусу було характерно, що носова частина судна не створює періодичних коливань тиску, мідельна частина створює періодичні коливання з частотами 0,83 Гц; 0,78 Гц; 0,65 Гц, кормова частина формує коливання з частотою 1,5 Гц. Запропонований алгоритм дозволяє для будь-якого типу підводної частини корпусу судна визначити його акустичну сигнатуру, що може бути використано в системі AIS. Найбільш актуальним це є для безмоторних яхт, малозумних підводних човнів, безмоторних автономних безпілотних апаратів типу «глайдер».

Запропоновано алгоритм визначення причин генерування корпусом судна турбулентного сліду. Результати гідродинамічного моделювання повного тиску, який створюють окремі ділянки судна (рис. 3), оброблено з застосуванням кореляційного аналізу. Кореляційна матриця для змін в часі повного тиску для окремих суміжних ділянок корпусу судна наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 - Кореляційна матриця для змін у часі повного тиску для відокремлених суміжних 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
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

Зазначений алгоритм дозволяє визначити ділянки корпусу, що генерують у воді турбулентні збурення, які 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. (рис. 5).

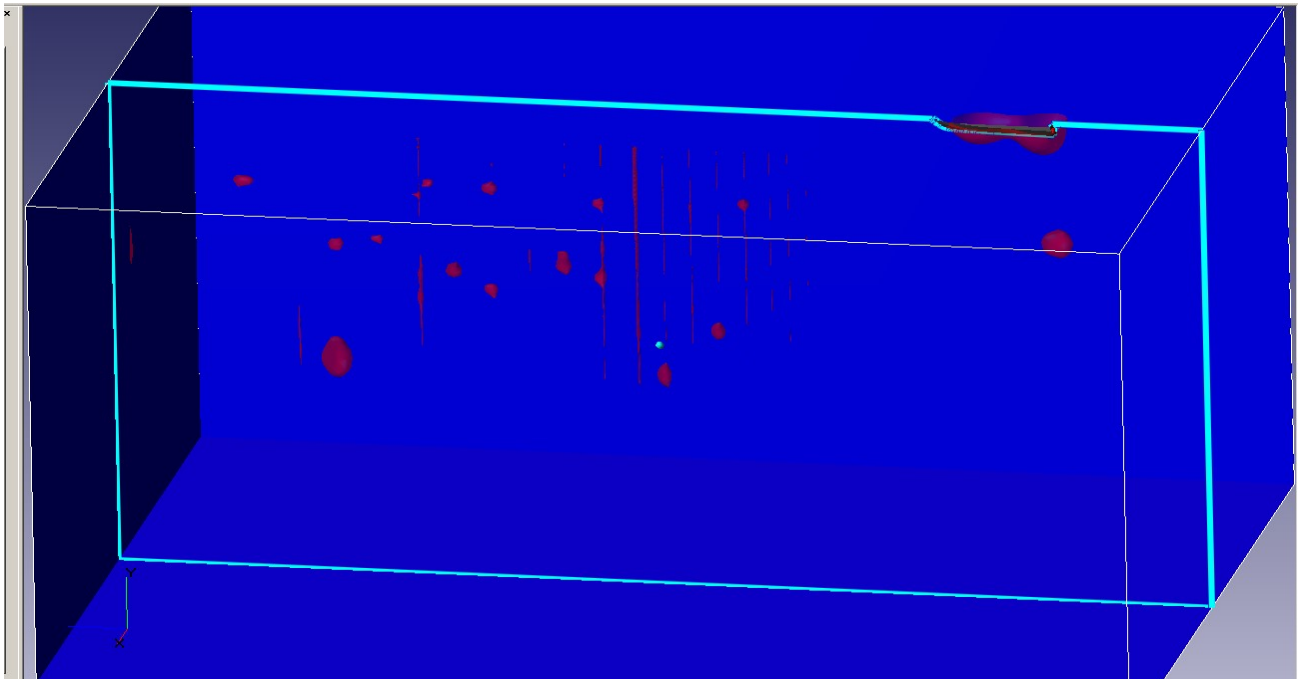


Рисунок 5 – Результати розрахунку геометрії ізобари 9000 Па за умов руху судна зі швидкістю 30 вузлів

Цей алгоритм вирішує проблему визначення критичної швидкості руху судна при наявності навігаційної небезпеки типу мінної загрози. Результати експоненційної апроксимації залежності змін вертикальної відстані від морської поверхні (м) до відповідної ізобари надмірного тиску (створюваного судном) від швидкості руху наведені у таб.2.

Таблиця 2 - Результати апроксимації залежності змін вертикальної відстані від морської поверхні (м) до відповідної ізобари надмірного тиску, що створюється судном, від швидкості руху

Аномальний надмірний тиск (Па)	Регресійне рівняння	Статистика Добіна-Уотсона	Середнє залишків (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

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).

У четвертому розділі розглядаються алгоритми обчислення статистичними методами результатів гідродинамічного моделювання. Розглянуто вплив корабельних хвиль на зниження швидкості і маневреності судна, вплив течій у вузкостях на можливості маневрування, підвищення ефективності промірних робіт, шляхом використання результатів моделювання літодинамічних процесів.

Запропоновано алгоритм визначення оптимальної швидкості судна. Досліджено зміни об'єму та геометрії ізобар зон надмірного тиску за умов зміни швидкості руху судна. За результатами гідродинамічного моделювання визначено швидкості руху судна, при яких формується носова та кормова зони генерування корабельних хвиль. За таких умов інерційні сили переважають гравітаційні. В умовах, коли під час збільшення швидкості руху судна, кормова хвиля починає відставати, судно починає рухатися по носовій хвилі, тобто, починає витрачати енергію на рух проти сили тяжіння. Зазначений алгоритм,

використаний для кожного (певного) судна, дозволяє визначати оптимальну швидкість, для ефективного керування судном та здійснення маневрування.

Запропоновано алгоритм визначення течій у вузкостях. Враховуючи те, що течії у вузкостях представляють собою навігаційну загрозу, на прикладі акваторії Одеського морського порту, запропоновано алгоритм математичного моделювання тривимірного розподілу течій (рис. 6), який може бути використаний для обчислення інтегрального тиску на судно, і збільшити ефективність здійснення маневру.

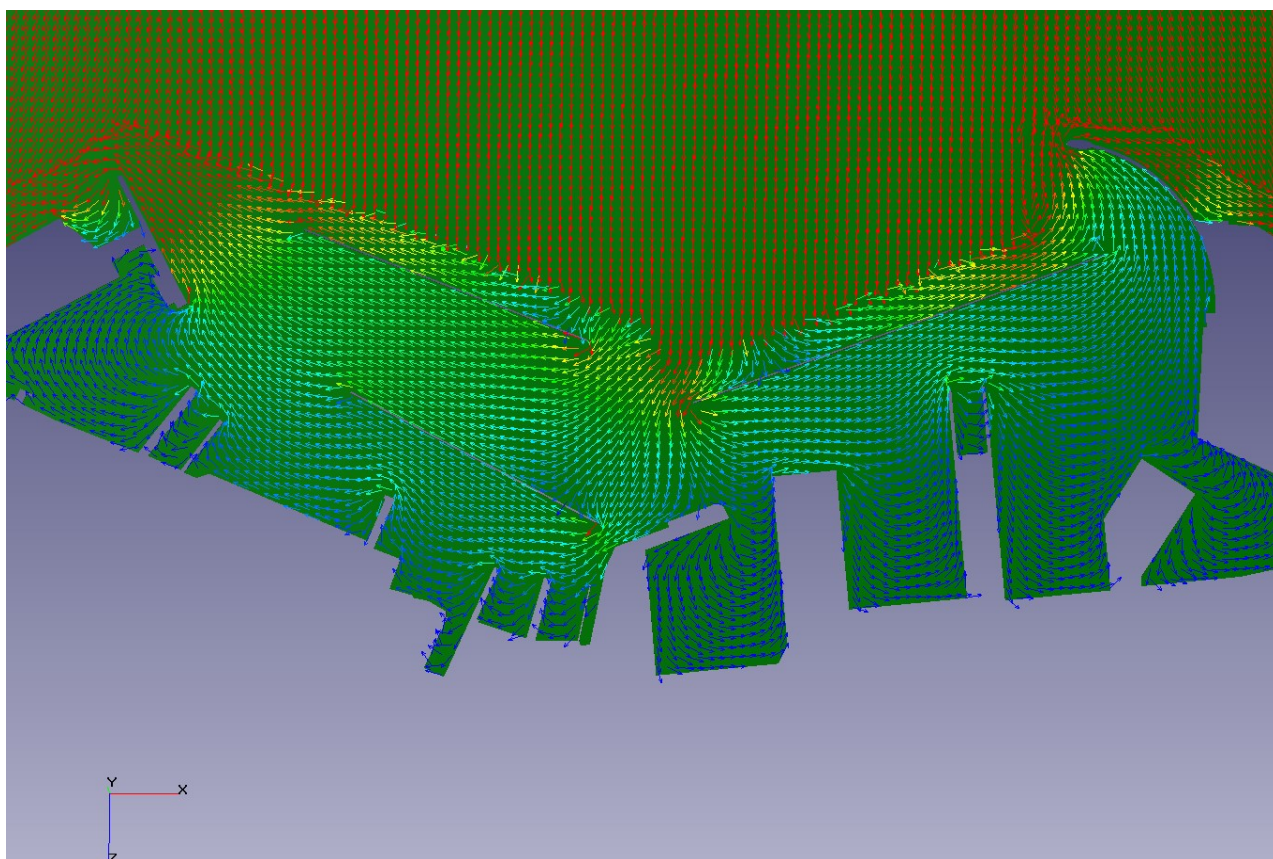


Рисунок 6– Результати розрахунку часових змін 3D течій в акваторії Одеського торговельного порту в умовах східного вітру

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 (рис. 7), що за законом Стокса, сприяють відкладенню на дно піску та формуванню навігаційних перешкод.

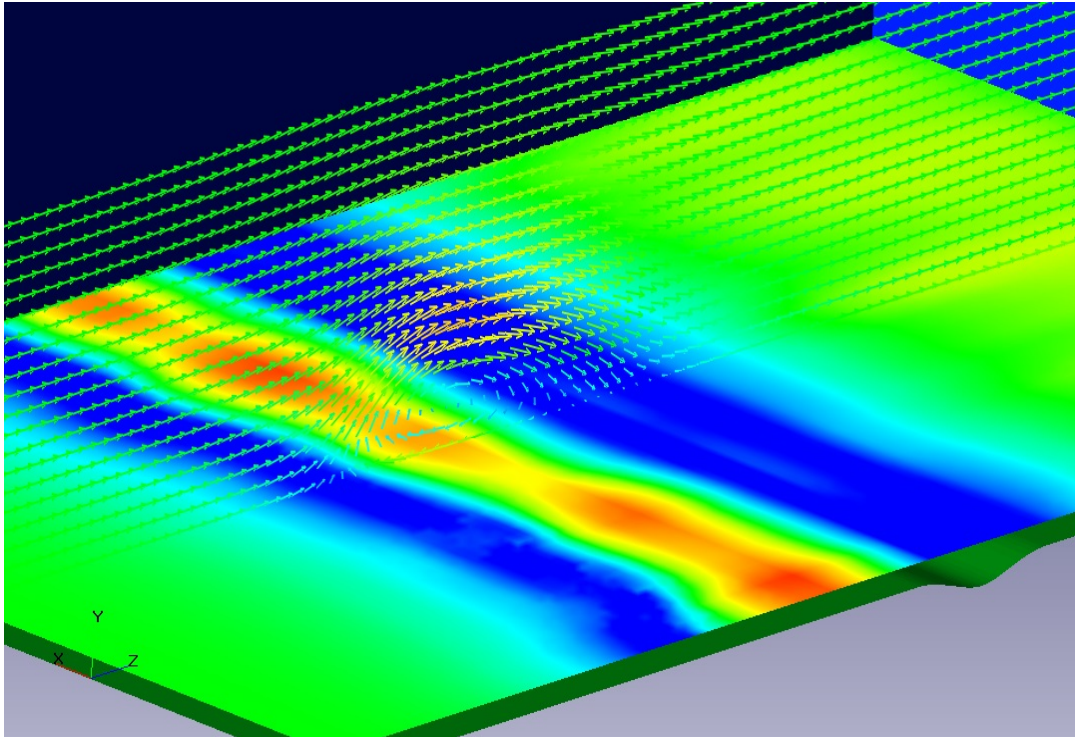


Рисунок 7 – Результати математичного моделювання динаміки рідини з урахуванням існуючих неоднорідностей рельєфу морського дна

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи розроблено та апробовано низку тестових алгоритмів математичного моделювання у галузі навігації та гідрометеорології, як підґрунтя для створення методичного забезпечення з впровадження сучасних методів 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 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.

В результаті обчислень статистичними методами результатів математичного моделювання розповсюдження фронту гідроакустичної хвилі, вперше встановлена можливість періодичного, у 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 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, що 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 застосування статистичного обчислення результатів 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 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. Зазначений алгоритм для кожного судна дозволяє визначити 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 торговельного порту. У зв'язку з тим, що течії складають суттєву навігаційну загрозу, впливаючи на ефективність засобів керування кораблем, пропонується у портах та вузкозтях 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 ендегенну 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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 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 (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. **Капочкіна М.Б.** Гидродинамическое моделирование принудительной конвекции в Черном море в районе Новороссийска / Капочкіна М.Б., Зорин В.Ю. // «ScienceRise» №4/2(9)2015 НВП ПП «Технологічний центр», Т.300, - С. 36-40 (результати гідродинамічного моделювання).
6. **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 (створення підґрунтя 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 університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» № 7 (1229) 2017, - С. 164-172 (створення алгоритму моделювання дальності дії гідролокатору).

8. Капочкіна А.Б. Результати Красноморських експедицій кафедри океанології ОГЭКУ / Капочкіна А.Б., Малышев А.И., **Капочкіна М.Б.** // Системи контролю оточуючої середовища: збірник наукових праць МГІ НАНУ – 2009. – Вип. 12. – С. 414-417 (створення підґрунтя для літодинамічного моделювання).

9. Михайлов В.И. Долгосрочное прогнозирование оползневой опасности в прибрежной зоне морей / Михайлов В.И., **Капочкіна М.Б.**, Кучеренко Н.В. // Научно-технический журнал «Системи контролю оточуючої середовища», Выпуск 16, 2011- С. 312-314 (створення підґрунтя для літодинамічного моделювання).

10. Гладких И.И. Исследование Эйлеровской свободной нутации Земли / Гладких И.И., **Капочкіна 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 поисково-спасательных работ / Гладких И.И., **Капочкіна 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., **Капочкіна 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., **Капочкіна 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., Зорин 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., **Капочкіна 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., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Нізамутдінов І.Ф. // збірник наукових праць науково-дослідного центру Збройних Сил України «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).

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 України «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. **Капочкіна М.Б.** Математическое моделирование гидродинамического и теплового полей корабля на примере корвета. Постановка задачи / Капочкіна 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 і моделювання гідродинамічного та гідроакустичного поля корабля).

21. **Капочкіна М.Б.** Математическое моделирование литодинамических процессов / Капочкіна М.Б., Капочкіна 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 разгрузки 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 (обґрунтування алгоритму літодинамічного моделювання).

25. Капочкин Б.Б. Формирование аккумулятивных форм рельефа морского дна геодинамическими процессами / 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 міждисциплінарна конференція «Шевченківська весна» / Київ 2013 р. С. 24-26 (обґрунтування алгоритму моделювання похибок орбітальних характеристик геодезичних супутників).

31. **Капочкина М.Б.** Оценка субмаринной разгрузки 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування алгоритму літодинамічного моделювання).

33. Кучеренко Н.В. Про доцільність створення географічної інформаційної системи з гідрометеорології, океанології, гідрографії та геофізики для використання її у війсьній 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 (обґрунтування мети дисертаційного дослідження).

34. **Капочкіна М.Б.** Концепція НИЦ моніторингу підводної обстановки морської акваторії Азово-Чорноморського регіону / Капочкіна М.Б., Капочкіна А.Б., Зорін 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 (обґрунтування 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 положения создания системы освещения подводной обстановки в Черном море / Гладких И.И., Капочкин Б.Б., **Капочкіна 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 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 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-практичної 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 науково-практична 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», 10-11 вересня 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 III 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 I 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 геодформации по данным измерений перманентной геодезической сети».

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. Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2021.

Загальної концепції впровадження методів математичного моделювання в геоінформаційні системи навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення мореплавства не існує, тому що вважається, що не всі задачі підлягають математичному моделюванню.

Тому на першому етапі важливо 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 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 підґрунтя для визначення залежної від швидкості 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 торговельного порту. Тобто виконано тестовий розрахунок вертикального розподілу швидкості та напрямку течій в акваторії Одеського торговельного 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 узкоствях доповнити існуючу геоінформативну 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.

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

ANNOTATION

Kapochkina M. Hydrodynamic and physico-statistical modeling, as a component of hydrographic and hydrometeorological support 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. National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2021.

There is no general concept for the introduction of mathematical modeling in geoinformation systems of navigational-hydrographic and hydrometeorological navigation, since not all tasks are subject to mathematical modeling.

Therefore, at the first stage it is considered relevant to demonstrate the possibilities of mathematical modeling in the direction of hydrometeorological and especially navigational and hydrographic support of navigation, as part of the system of maritime safety through effective maneuvering and control of ship traffic and on the basis of experience to expand methods of mathematical modeling.

Scientific novelty in the thesis results is to create a methodological basis for solving the problem of calculating the statistical methods the results of mathematical modeling of processes on the basis of which is provided by solving the operational navigation-hydrographic and hydrometeorological support shipping as a component of navigation safety through effective maneuver and control the movement of vehicles.

In the dissertation work the following scientific results were obtained:

- 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 in order to ensure the safety of navigation, by 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 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 uneconomical 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 with information layer 3D flows in ports and narrows;

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

Key words: ship motion 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.

Підп. до друку 19.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офсет. Гарнітура
Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И21-02-38

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003