

МИКОЛАЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УДК 629.12.001.63:656.6.08

На правах рукопису

ЖУКОВ Юрій Данилович

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШТОРМОВОЇ БЕЗПЕКИ
МАЛОТОНАЖНИХ СУДЕН ПРИ
ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Спеціальність 05.08.03 — проектування
та конструкція суден

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

Миколаїв 1994

° Робота виконана на кафедрі конструкції суден Миколаївського ордена Трудового Червоного Прапора кораблебудівного інституту імені адмірала С.О.Макарова.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

М.Н.АЛЕКСАНДРОВ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Г.Ф.ДЕМЕШКО; доктор технічних наук, професор
Ю.І.НЕЧАЄВ; доктор технічних наук, професор
М.Б.СЛІЖЕВСЬКИЙ.

Провідне підприємство:

УкрЦКБ "Чорноморсуднопроект" (Миколаїв).

Захист відбудеться 21 листопада 1994 року о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 053.04.01 при Миколаївському державному морському технічному університеті за адресою: 327025, г. Миколаїв (обл.), проспект Героїв Сталінграда, 9.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Миколаївського державного морського технічного університета за адресою: 327025, г. Миколаїв (обл.), проспект Героїв Сталінграда, 9.

Автореферат разіслано 14 жовтня 1994 року.

Відзив на автореферат у двох примірниках з підписами, завіреними печаткою установи, просимо направляти на ім'я вченого секретаря спеціалізованої ради.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор технічних наук,
професор

В.Ф.Квасницький
В.Ф.Квасницький

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00777101 (N)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТЫ

Актуальність досліджень у галузі забезпечення штормової безпеки малих і середніх суден обумовлена істотним загостренням в останні роки глобальної соціально-економічної проблеми, пов'язаної з кількістю і тяжкістю наслідків (у тому числі фатальних) аварій таких суден через перекидання та заливання, середній рівень яких за даними Ллойда зріс з 25-30% за 1951-60 рр. до 40-45% у 1980-90 рр. Ця тривожна тенденція підтверджується в статистичних даних міжнародних і національних органів та організацій (Регістра Ллойда, Берегової Охорони США, ІМО, ISO и др.). Так за даними Берегової Охорони США у 1990 році до аказаної категорії аварій було залучено 6% аварійних суден, однак серед загиблих суден вони становили 43% та з цими аваріями пов'язано 86% людських жертв. При цьому понад 70% розглянутих аварій відбуваються в інтенсивних погодних умовах, однак від 50 до 70% цих аварій сталися через помилки судноводіїв, неправильну оцінку рівня ризику, нерациональний вибір режиму штормування тощо.

Низький рівень забезпечення штормової безпеки малотонажних суден у першу чергу пов'язан з відсутністю достатніх теоретичних узагальнень і комплексних моделей, які враховують домінуючі фактори ризику - погодний, технічний та суб'єктивний (людський). Великим числом авторів виконані різноманітні дослідження важливих, але окремих конкретних питань безпеки суден в умовах шторму.

В даний час відсутні: науково обгрунтована і надійна нормативна база та адекватні вимоги до остійності класу суден, що розглядається; спеціалізовані критерії і методи проектування цих суден з урахуванням специфіки їх експлуатації, соціальних та економічних наслідків аварій в умовах шторму; теоретичні основи та відповідні методи і засоби поточного контролю параметрів посадки та динамічної остійності судна.

Таким чином, проблема забезпечення штормової безпеки малих та середніх суден вивчена не повністю і дослідження на цю тему являються актуальними.

Об'єкт дослідження. Водовимічаючі транспортні, промислові та службові судна і катери відкритого й закритого типів довжиною від 6 до 32 м та водомісткістю до 500 т.

Мета роботи: на підставі дослідження комплексного впливу проектних параметрів та експлуатаційних характеристик на рівень штормової безпеки малотонажних суден, а також встановлення основних закономірностей і шляхів підвищення цього рівня в дисертації на базі системного підходу необхідно розробити методи й засоби забезпечення штормової безпеки малотонажних суден при проектуванні та експлуатації.

Завдання дослідження:

- розробка комплексної моделі оцінки та прогнозування рівня безпеки малотонажних суден при проектуванні та експлуатації;
- розробка спеціалізованих критеріїв і розрахункових методик оцінки та нормування рівня штормової безпеки малотонажних суден;
- розробка методів і засобів забезпечення максимального або нормативного рівня безпеки суден при їх проектуванні;
- розробка методів і схем поточного контролю рівня штормової безпеки в ході експлуатації, структури та складу відповідних вимірювально-обчислювальних комплексів;
- розробка теоретичних основ і методів проектування конструктивних та вимірювальних елементів приладів контролю параметрів посадки і рідких вантажів, а також динамічних характеристик малотонажних суден;
- лабораторні та натурні дослідження працездатності, надійності і точності розроблених приладів.

Методи дослідження. Дослідження домінуючих факторів ризику аварій малотонажних суден проводилося методами статистичного аналізу даних відчизняних і зарубіжних джерел на базі системного підходу теорії безпеки на морі. Попередня класифікація малотонажних суден здійснювалась на базі багаторічних експертних оцінок методами теорії розмитих множин, а також на базі чисельного аналізу граничних погодних умов для безаварійної експлуатації суден різних розмірів методами вероятностної теорії динамічної стійкості судна в положенні лагом до поривчастого вітру та нерегулярного хвилювання. Ця ж теорія використовувалась при обґрунтуванні та розробці системи кількісних оцінок і норм остійності суден в аналогічній розрахунковій ситуації. Модифіковані критерії проектної ефективності малотонажних суден ґрунтуються на використанні методів теорій проектування суден і теорії імовірностей, а схеми багатокритеріальної оптимізації суден на початкових стадіях проектування на теорії нечітких відносин переваги (домінування). Розробка вимірювальних приладів систем контролю посадки судна та рівнів рідких вантажів здійснювалась з використанням методів теорії довгих електричних ліній і розвитком принципів імпульсної рефлектометрії. Попередня оцінка параметрів конструктивних та вимірювальних елементів бортового вимірювально-обчислювального комплексу виконувалася з допомогою методу проектування за укрупненими вимірювачами, а аналіз їх точносних характеристик експериментально в лабораторних і натурних умовах. Для обробки експериментальних даних і побудови алгоритмів поточного чисельного аналізу хитавиці суден використовувались методи дисперсійного та спектрального аналізу.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в системній постановці для класу суден, що розглядається, ні у відчизняній ні у зарубіжній практиці проблема не розглядалася. Вперше для цих суден з урахуванням особливостей їх поведінки в інтенсивних погодних умо-

вах побудована комплексна модель оцінки і прогнозування рівня їх безпеки при проектуванні та експлуатації, на базі якої: встановлено основні закономірності та шляхи підвищення рівня штормової безпеки розглянутих суден; сформовано новий більш повний і адекватний особливостям розглянутих суден набір критеріїв оцінки на стадії проектування й контролю в ході експлуатації рівня їх штормової безпеки; розроблено принцип найбільшої гарантованої безпеки і заснована на його послідовному застосуванні концепція забезпечення експлуатаційної безпеки малих та середніх суден; розвинуто методи оптимального ескізного проектування різних за призначенням суден з класу, що розглядається; розроблено спеціалізовані методи нормування, проектування і контролю в ході експлуатації показників штормової безпеки малотонажних суден, а також відповідні структура та алгоритм функціонування бортового вимірювально-обчислювального комплексу; створено методи проектування основних конструктивних та вимірювальних елементів систем поточного контролю параметрів посадки і динаміки малотонажних суден.

Практичні результати. Розроблено критерії і норми штормової безпеки малотонажних суден, методики багатокритеріальної оптимізації проектів на ранніх стадіях ескізного проектування, рекомендації щодо конструювання та проектування спеціалізованих вимірювальних елементів бортових систем контролю, а також підсистем автоматизованого дистанційного контролю осадки, рівня і розділу рідких вантажів. Основні технічні рішення захищені авторськими свідоцтвами на винахід, дослідні зразки пройшли експериментальну перевірку в лабораторних і натурних умовах.

На новому рівні вирішена важлива науково-виробнича проблема підвищення рівня штормової безпеки малотонажних суден при їх проектуванні та експлуатації, яка має велике соціально-економічне і виробниче значення.

Впровадження. Результати дисертаційної роботи впроваджені рядом організацій і підприємств України та інших країн, у тому числі: Річковим Регістром РРФСР при розробці керівного документа "Методика визначення допустимих вітро-волнових режимів для експлуатації суден з класом Річкового Регістра РРФСР довжиною до 20 м"; ЦКБ "Редан" при розробці керівного документа "Правила будівництва і класифікації малотонажних суден", підсистем багатскритеріальної оптимізації катерів на ранніх стадіях проектування та при натурних випробуваннях танкерних рятувальних шлюпок; УкрЦКБ "Чорноморсуднопроект" при розробці проекту багатоканальної суднової системи вимірювання параметрів осадки та рівнів у баласних танках судна проекту 17502; Акціонерною судноплавною компанією "БЛАСКО" при розробці, встановленні та випробуваннях вказаної системи на т/х "Індіра Ганді"; заводом "Ленінська кузня" при розробці проекту модернізації промислового судна проекту 502ЭМ (системи контролю посадки та остійності); службою ПММ Чорноморського флоту при розробці проекту багатоканальної системи дистанційного контролю рівнів пального в танках та інших ємкостях; Чорноморсько-Дніпровською басейновою інспекцією Держфлотнагляду України при розробці проектів національних норм і вимог до остійності малих суден; Міжнародною організацією по стандартизації ISO при розробці проекту стандарту ТК/188 WG/22 "Малі судна. Остійність та невтопність".

Публікації. За темою дисертації опубліковано 30 статей, одержано 8 авторських свідоцтв на винаходи і виконано 7 науково-технічних звітів.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи повідомлені у 5 доповідях на 4 міжнародних конференціях (4-а Міжнародна конференція з остійності суден і технічних засобів освоєння океану STAB'90, Неаполь-1990; 5-а Міжна, а

конференція країн Східного Середземномор'я, Афіни-1990; конференція Міжнародного товариства інженерів-механіків ISME Cobe'90, Кобе-1990; 4-а Міжнародна конференція з практичного проектування суден PRADS'89, Варна-1989); на 7 всесоюзних конференціях (Всесоюзна науково-технічна конференція "Удосконалення засобів і методів експериментальної гідромеханіки судна для розвитку наукового прогресу в суднобудуванні, Ленінград-1988; Всесоюзна науково-технічна конференція XXXIV Криловські читання "Фізико-математичне моделювання при розв'язанні проблем гідроаеромеханіки і динаміки суден та засобів освоєння Світового океану", Ленінград-1989; Всесоюзна науково-технічна конференція "Проблеми удосконалення комплексних методів прогнозування мореплавних якостей суден. Криловські читання", Ленінград-1987 тощо) та на 7 науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Миколаївського кораблебудівного інституту (Миколаїв-1986-92); на 4 засіданнях робочої групи "Остійність" технічного комітету "Малі судна" Міжнародної організації по стандартизації ISO (Ліссабон-1990, Хельсинки-1991, Рим-1991, Лондон-1991). Діючий макетний зразок системи контролю завантаження і остійності суден демонструвався на Міжнародній виставці "Єврофішинг-92" в м. Більбао (Іспанія).

Дисертація виконана згідно з планом науково-дослідних робіт Миколаївського кораблебудівного інституту ім. адм. С.О.Макарова в межах Всесоюзного науково-технічного проекту Держосвіти СРСР та АН СРСР "Безпека на морі".

Особистий внесок дисертанта. Основні наукові результати, що вносяться на захист, отримані автором самостійно. В колективних роботах (розробка методів нормування остійності суден в положенні лагом до вітру та хвилювання) автор безпосередньо брав участь у підборі та модифікації методів аналізу, формуванні сукупності критеріїв, проведенні і аналізі результатів масових розрахунків.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти глав, висновку, списку літератури та 10 додатків. Дисертація викладена на 287 сторінках друкарського тексту, містить 84 малюнка (графіки, схеми, фотографії), 21 таблицю, бібліографію з 180 найменувань, і додатків на 181 сторінці.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Передумовами для досліджень автора, покладених в основу даної дисертації, були узагальнення й аналіз результатів робіт вітчизняних та зарубіжних авторів.

У питаннях системного підходу до аналізу аварійної статистики і комплексного забезпечення безпеки морських суден це роботи відомих вчених, присвячені розробці методології проектування суден та судових приладів, - М.Н.Александрова, Л.М.Ногіда, С.Н.Благовещенського, Л.Р.Аксютіна, В.В.Ашика, А.В.Бронникова, Ю.І.Нечаєва, В.М.Пашина, Н.Б.Севастьянова, Ч.Коу, К.Оікава.

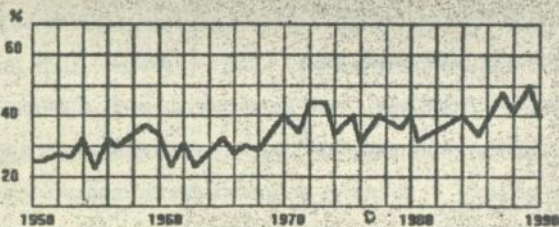
Базовими автор розглядає і роботи вчених, присвячені розвитку тих прикладних дисциплін і наук, результати й вимоги яких до створюваного об'єкту є основою розроблюваних алгоритмів і технічних рішень, ланками комплексної математичної моделі забезпечення штормової безпеки малотонажних суден при їх проектуванні та експлуатації. Це насамперед дослідження В.В.Луговського, А.И.Вознесенського, В.Г.Сизова, Ю.В.Ремеза, Д.М.Анан'єва, И.К.Бородая, В.А.Мореншильдт, Ю.Л.Макова, В.О.Некрасова, В.Б.Ліпіг, Д.В.Кондрикова, А.Н.Холодиліна, В.А.Половникова, Д.Фальзарано, К.Венделя, М.Хаддари, А.Одабасі, И.Оскана, М.Даєр-Смітта.

Вступ містить обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, її загальну мету і одержані наукові результати, які виносяться на захист; дані про практичну цінність роботи, реалізацію та апробацію її

результатів, а також короткий критичний аналіз стану проблеми, що розглядається.

У першому розділі проведено аналіз причин і наслідків різних категорій аварій на базі статистичних даних національних та міжнародних органів і організацій за останні роки; здійснено класифікацію малотонажних суден і визначено об'єкт дослідження; формулюються цілі і завдання дослідження.

На фоні обнадійливого зниження загального рівня аварійності суден (за категоріями аварій зіткнень і посадки на ґрунт до 30% за останні 30 років) за рахунок широкого впровадження досконалого навігаційного обладнання, електронних відеопрокладчиків, нових засобів запобігання та локалізації пожеж, кардинально протилежна картина склалася з аваріями суден через перекидання і заливання (відносний рівень втрат з вказаних причин зріс з 25-30% за 1951-60рр. до 40-45% за 1981-90рр., див. мал. 1).

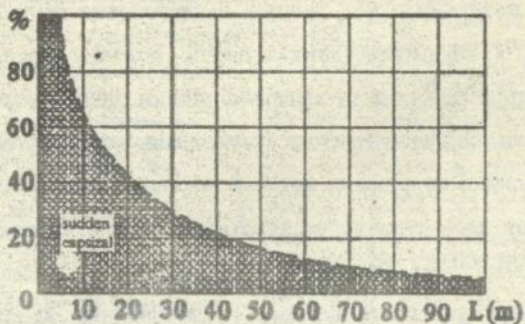


Мал. 1. Відносні втрати транспортних суден через недостатню остійність.

Так до вказаної категорії аварій за даними Берегової Охорони США в 1990 р. було залучено 6% аварійних суден, однак серед загиблих вони становили 43% і з цими аваріями пов'язано 86% людських жертв, що пов'язано з підвищеною імовірністю миттєвого перекидання суден малих розмірів (див. мал. 2).

Статистика свідчить також про те, що понад 70% аварій, що розглядаються, відбувається в умовах інтенсивних вітро-хвильових

впливів, однак від 50 до 70% цих аварій трапилося через помилки судноводіїв, неправильну оцінку рівня ризику, неефективні режими штурмування, що обумовлює необхідність комплексного аналізу трьох домінуючих факторів ризику - погодного, технічного та суб'єктивного (людського).



Мал. 2. Залежність імовірності штетового перекидання від розмірів судна.

Таким чином, специфіка аварій малотонажних суден вимагає розробки оригінальних методів їх аналізу, формулювання критеріїв і норм безпеки, а також розробки спеціальних організаційно-технічних вимог та інструментальних засобів забезпечення і контролю їх безпеки. При цьому в роботі на базі аналізу методами теорії нечітких множин багаторічних експертних оцінок, а також шляхом кількісної оцінки імовірності аварій суден різних розмірів методами імовірнісної теорії динамічної остійності суден у положенні лагом до вітру і хвилювання, встановлено, що судна довжиною менш 12 метрів однозначно відносяться до категорії малотонажних і їм у явному вигляді властиві всі вказані особливості. Суднам довжиною от 12 до 32 м вказані особливості властиві різною мірою, що зменшується залежно від збільшення розмірів судна. Для суден довжиною понад 32 м вплив цих особливостей нехтувано малий, ці судна не відносяться до класу малотонажних.

З урахуванням стану проблеми забезпечення штормової безпеки малотонажних суден, аналізу позитивного досвіду зниження ризику аварій категорій, що розглядаються та перспективних міжнародних вимог до контролю остійності суден у розділі сформульовано цілі і завдання дослідження.

Другий розділ служить базою для постановки основних підходів до розв'язання сформульованих завдань. Головну увагу приділено розробці комплексної моделі кількісної оцінки рівня штормової безпеки малотонажних суден при проектуванні та експлуатації; узагальненню та розробці спрощених моделей погодних умов різного ступеня деталізації для застосування на початкових стадіях проектування і в ході експлуатації; розробці набору критеріїв остійності малотонажних суден в умовах реального шторму з урахуванням хвилювання, що руйнується; проведенню та аналізу масових розрахунків вказаних критеріїв для вітчизняних і зарубіжних суден.

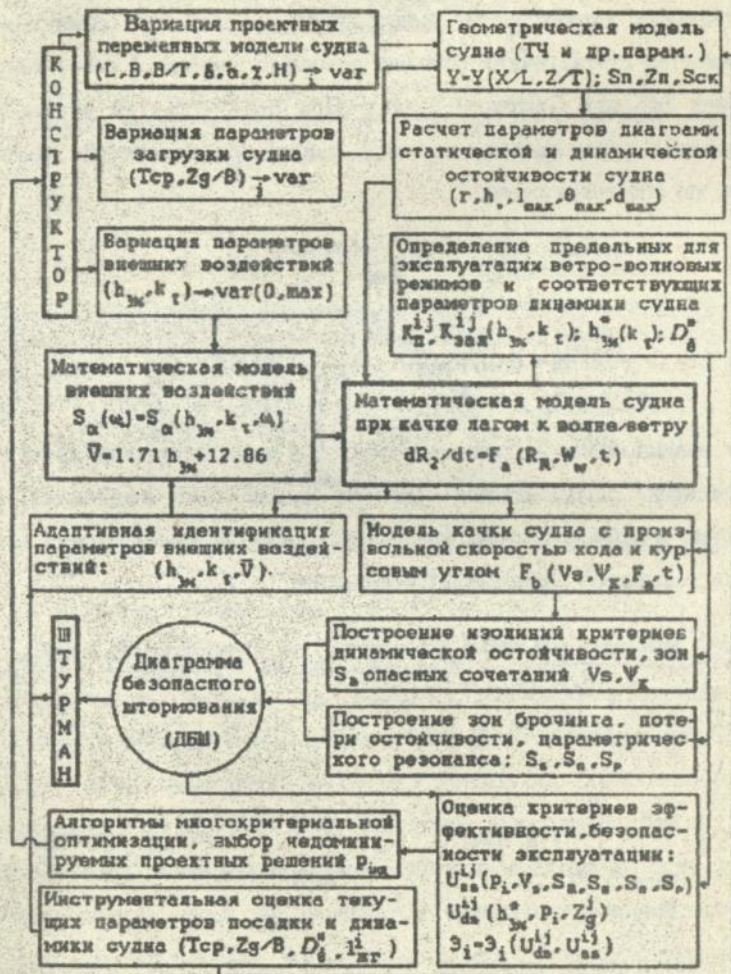
Вказана комплексна модель оцінки рівня штормової безпеки в загальному вигляді подана на мал. 3. Вона являється практичною реалізацією системного підходу Ю.І.Нечаєва до моделювання, нормування та прогнозування остійності і розвитком розробленої автором схеми функціонування вимірювально-обчислювального комплексу управління якорної стоянки суден спеціального призначення. Вона править за системну основу подальшої розробки поглиблених та взаємопов'язаних математичних моделей процесів, що розглядаються.

Верхній рівень деталізації математичної моделі погодних умов передбачає використання повної моделі спільного розподілу середніх швидкостей вітру, висот і періодів хвиль:

$$P_2^*(\vec{v}, h_{3\%}, \bar{\tau}) = \int_0^{\vec{v}} \int_0^{h_{3\%}} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} f(\vec{v}, h_{3\%}, \bar{\tau}) d\vec{v} dh_{3\%} d\bar{\tau},$$

де: P_2^* - імовірність експлуатації суден в обмежених за інтенсивністю погодних умовах; $f(\vec{v}, h_{3\%}, \bar{\tau})$ - відома щільність імовірностей тривалого

спільного розподілу середніх швидкостей вітру, висот хвиль 3% забезпеченості та середніх періодів хвилювання; \bar{v} , $h_{ж}^*$, \bar{p} - граничні значення параметрів вітро-хвильових режимів, які судно витримує без перекидання.



Мал. 3. Блок-схема комплексної моделі кількісної оцінки рівня штурмової безпеки малотонажних суден при їх проектуванні та експлуатації.

Для початкових стадій ескізного проектування розроблена наближена одномірна модель тривалого розподілу вітро-хвильових режимів на базі апроксимаційних залежностей та узагальнених характеристик режимів різної бальності.

Розроблено також підхід оперативного візуального визначення спектральних характеристик хвилювання на базі апроксимаційних залежностей статистичних спільних розподілів періодів і висот хвиль у різних районах Світового океану. При цьому спектри морського хвилювання виражаються у вигляді функції від параметрів хвилювання, що спостерігаються:

$$S_{\omega}(\omega_0) = \omega_0^4 \frac{A_1 \omega_0^2 + A_2}{A_3 \omega_0^4 + A_4 \omega_0^2 + 764},$$

де:

$$A_1 = 0,012 k_1^4 h_{3\%}^{3,5}; \quad A_2 = 0,339 k_1^2 h_{3\%}^{2,5};$$

$$A_3 = k_1^2 h_{3\%}^2; \quad A_4 = 50,72 k_1^3 h_{3\%}.$$

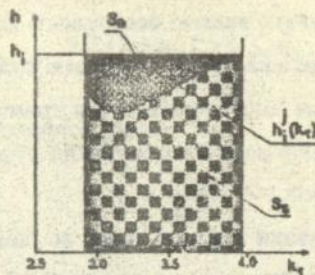
У розділі показана також можливість у прямому вигляді врахувати специфіку малотонажних суден та індивідуальні особливості їх поведінки в умовах шторму при різних варіантах завантаження введенням показників рівня проектної безпеки:

$$U_{\omega}^j = 1 - P_{\omega}^j = \frac{S_s}{S_s + S_{\omega}} = \frac{0,99}{h_1} \int_{2,77}^{3,78} h_1'(k_r) dk_r, \quad \text{и} \quad U_{\omega}^j(V_s, \varphi_s, h_{3\%}, \tau) = 1 - P_{\omega}^j,$$

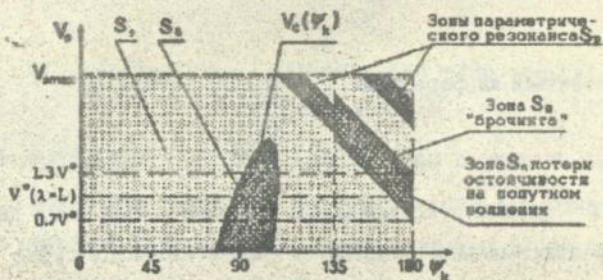
де:

$$P_{\omega}^j = \int_{\tau_{\min}(h)}^{\tau_{\max}(h)} \int_{h_1'(\tau)}^h f(h, \tau) dh d\tau, \quad P_{\omega}^j = \int_{\tau_{\min}(h)}^{\tau_{\max}(h)} \int_{h_1'(\tau)}^h m_1'(h, \tau) \cdot f(h, \tau) dh d\tau.$$

Геометрична інтерпретація U_{ω}^j та $m_1' = S_{\omega} / (S_{\omega} + S_s)$ очевидна з мал. 4 і 5.



Мал. 4. Геометрична інтерпретація кількісної оцінки проектного рівня штормової безпеки U_{st} (при рівномірному розподілі $h_{2\%}$ і τ).



Мал. 5. Геометрична інтерпретація m'_k (при рівному розподілі V_k і ψ_k і фіксованих $h_{2\%}$ і τ).

Оскільки завжди $U'_{st} \geq U'_{st}$ судоводій може забезпечити безпеку судна, уникаючи небезпечних поєднань курсових кутів і швидкостей ходу з допомогою діаграм безпечної штормування (дивись мал.8).

Залучення традиційних моделей і методів для кількісної оцінки розроблених критеріїв не дало позитивних результатів. Так по "критерію погоди" запаси динамічної остійності зростали в міру зменшення розмірів судна, що кардинально суперечить морській практиці та аварійній статистиці. Цей парадокс вдалося пояснити недостатнім урахуванням у традиційних моделях домінуючої для малотонажних суден ролі хвилювання (в тому числі такого, що руйнується) і пульсаційних складових вітра.

Більш точно врахувати вказані особливості дала змогу розроблена В.О.Некрасовим імовірнісна теорія остійності суден у положенні лагом до хвилювання, яка дає змогу визначити в тримірному просторі параметрів зовнішніх впливів зону витримуванних судном без перекидання вітро-хвильових режимів.

У порядку застосування вказаної теорії до оцінки динамічної остійності малотонажних суден у співавторстві з Г.Г.Амплеєвим та В.О.Некрасовим було розроблено ряд критеріїв, з яких найбільшу практичну цінність собою являють:

1. Критерій хвилестійкості (при відсутності дії вітру):

$$Y = \frac{1}{X_1} > 1,$$

де X_1 визначається за формулою:

$$X_1 = X + \frac{\Delta T_{\max}}{U_{\max}},$$

а додаток X - параметр інтенсивності бортової качки, який визначає відношення максимальної кінетичної енергії коливань судна T_{\max} до максимального значення потенціальної енергії U_{\max} , за формулою:

$$X = \frac{6 \frac{1}{2} (I_x + \mu_{44}) D_b l}{D d_{\max}} \approx \frac{T_{\max}}{U_{\max}},$$

де d_{\max} - плече максимуму діаграми динамічної остійності.

При цьому вплив хвилювання, що руйнується, здійснюється урахованням імпульсного характеру додаткового впливу частин хвиль, які руйнуються, шляхом введення максимального приросту кінетичної енергії коливань судна за формулою:

$$\Delta T_{\max} \approx \frac{1}{2} \frac{(M_{\text{обр}} t_{\text{обр}})^2}{I_x + \mu_{44}},$$

де $M_{\text{обр}}$ - додатковий нахилиючий момент; $t_{\text{обр}}$ - час дії імпульсу.

Тоді критерій хвилестійкості (індикатор перекидання судна під дією хвиль і пульсацій вітра) матиме вигляд:

$$Y = \frac{6D_g(I_x + \mu_{01})^2 + M_{одр}^2 t_{одр}^2}{2Dd_{max}(I_x + \mu_{01})}$$

2. Критерій вітрохвилестійкості:

$$k_{в} = \frac{Dl_{max}}{Mk_p} Z > 1,$$

де:

$$Z = \sqrt{1 - \sqrt{X_1}} |1 - 0.25\sqrt{X_1}|.$$

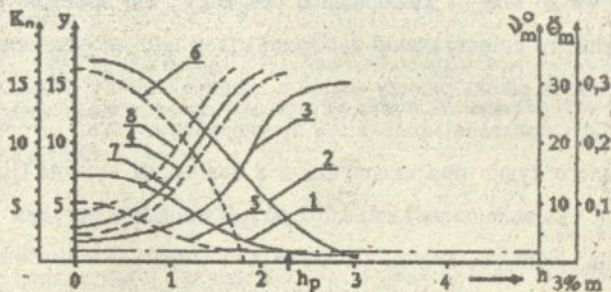
3. Критерій відсутності інтенсивного заливання (для суден відкритого типу):

$$K_3 = \frac{\theta_{max}}{\vartheta_{max}},$$

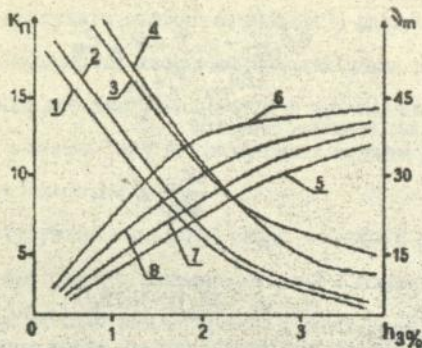
де: θ_{max} - кут заливання; ϑ_{max} - максимальний відносний кут крену:

$$\vartheta_{max} = m_g + 3.04\sqrt{D_g}.$$

На наступному етапі дослідження були проведені масові розрахунки (пакет прикладних програм розроблений Г.Г.Амплеєвим) граничних погодних режимів і параметрів динаміки б1 вітчизняного та зарубіжного судна, що відповідають моменту їх перекидання (див. мал. 6 і 7).



Мал. 6. Показники динамічної остійності судна проекту 771 (довжина 14,8): 1, 5 - критерій "хвилестійкості" (для варіантів відповідно зі скуловими кілями і без них); 2, 6 - критерій стійкості K_n ; 3, 7 - лінійні прискорення на борту з урахуванням вертикальної качки (частку g); 4, 8 - максимальна амплітуда качки, град.



Мал. 7. Показники динамічної остійності суден різних розмірів: 1-4 - критерій (відповідно для суден проекту 884, 376, 1415 і 1459); 5-8 - відповідні максимальні амплітуди качки, град.

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що пропонувані методики дають якісно вірні оцінки, які співпадають з статистикою і доброю морською практикою. При цьому вони дають прийнятні кількісні результати (відомі погодні умови на момент фактичних аварій співпадають з розрахунковим прогнозом, а розрахункові обмеження з допустимої бальності - з інструкціями щодо експлуатації малотонажних суден).

Однак одержувані при цьому оцінки відображають лише рівень проектної ефективності та безпеки судна в одній розрахунковій ситуації (лагом до вітру і хвилюванню без ходу), що застосовується при нормуванні та співставленні варіантів суден при проектуванні, але не відображають рівень ризику аварій в експлуатаційних умовах.

В роботі показана можливість прогнозування рівня штормової безпеки малого судна при експлуатації з довільним курсом і швидкістю ходу при еквівалентному переході до традиційних методик розрахунку качки судна та побудови діаграм безпечного штормування, або з допомогою нелінійної моделі Ю.І.Нечаєва, що ґрунтується на існуванні статистичного зв'язку між співвідношенням періодів вимушених і власних коливань та середньою амплітудою бортової качки.

При побудові, в межах розробленої моделі, зон брочингу, втрати остійності на попутному хвилюванні, параметричного резонансу пропонується виконувати рекомендації Ю.І.Нечаєва (аналіз критеріїв: $\ell_{\theta}(\theta \geq 30^\circ) \geq 0,25 \mu$; $(M_{\text{вп}})_{\theta} \geq M_{\theta}$; $(h_0)_{\text{min}} \geq 0$), Ю.Л.Макова, Д.М.Ананьєва, В.С.Обрехта, В.А.Мореншильдт ($A(\omega_x, r_x, v_x, q_x) \leq 1$) та ін.

У третьому розділі розроблені моделі і методи забезпечення штормової безпеки малотонажних суден на початкових стадіях їх проектування, структура інформаційної моделі штормової безпеки та принцип найбільшої гарантованої безпеки; узагальнені й модифіковані критерії ефективності малотонажних суден, номенклатура проектних змінних і параметрів деяких адекватних моделей проектування; розроблені спеціальні алгоритми багатокритеріальної оптимізації.

Запропоновано проводити аналіз сукупності проектних рішень і дій судноводія, що ведуть до спільної мети (безпечної експлуатації судна), яка формально виражається бажанням збільшити критерій безпеки (ефективності):

Б (Спд, Вф),

де: Спд={ПР,ДС} - вибір конструктора і судноводія, тобто сукупність проектних рішень (див. мал. 3):

$$\text{ПР} = p_i(L, B, D / T, \delta, \alpha, \chi, H, \dots, T_j, z'_i, h_{\text{ж}}^i)$$

та дій судноводія

$$\text{ДС} = r_k(V_s, \varphi_x, T_{\varphi}^k, z_x^k, \dots, h_{\text{ж}}^k, k_r^k, S_{\sigma}, S_{\varepsilon}, S_{\alpha}, S_{\rho});$$

а Вф - неконтрольовані ними зовнішні фактори, які складають реальні умови експлуатації:

$$\text{Вф} = \{S_{\omega}(h_{\text{ж}}, k_r, \omega_0), P(h_{\text{ж}})\}$$

Вибір конкретної Спд залежно від інформування судноводія і конструктора про значення Вф визначає їх спільну стратегію $\text{СС} = \text{СС}(\text{Вф})$, $\text{СС} \subset \text{Спд}$. Основна складність і суперечність такого вибору полягає в рознесеності в часі рішень конструктора і судноводія,

різного ступеня свободи в їх прийнятті та відсутності нині ефективного інформаційного "посередника". Для розв'язання цих суперечностей розроблено ряд наскрізних інформаційних моделей.

При проектуванні малотонажних суден питання забезпечення їх штормової безпеки вирішують шляхом задоволення тривіальних обмежень на параметри діаграми статичної остійності, практично нехтуючи динамічними особливостями їх поведінки в інтенсивних погодних умовах. Такий підхід себе не виправдав - серед суден, які перекинулися, не знайдено ні жодного проекту, що не задовольняв би цим обмеженням. У той же час в усіх критеріях проектної ефективності в тій чи іншій формі закладаються обмеження у вигляді середньостатистичного коефіцієнта інтенсивності експлуатації або часу простою.

Серед проблем, пов'язаних з розвитком спеціалізованих моделей та методів оптимального ескізного проектування, виділено три основних і найменш вивчених до цього часу:

- розробка критеріїв оцінки ефективності проектних рішень з урахуванням штормової безпеки;
- визначення раціонального та ефективного на ранніх стадіях проектування набору проектних змінних математичної моделі судна;
- вибір і модифікація ефективних на різних стадіях проектування методів оптимізації.

За базовий критерій для аналізу чутливості впливу основних проектних змінних на якість проектних рішень було прийнято традиційний для малотонажних суден критерій проектної ефективності транспортної роботи, що визначається за формулою:

$$\mathcal{D} = C \frac{N \cdot \eta_B \cdot m \cdot b \cdot k_{вз}}{\left(\frac{R}{D}\right)(P_{const} + P_{корп} + \sum P_{ос}) (S_{const} + \sum S_{ос})}$$

де: N - потужність двигуна судна (л.с.); η_b - коефіцієнт корисної дії гвинта; m - число років служби судна; b - вантажомісткість судна (для пасажирського судна $b=75 \cdot n$, де n - його пасажиромісткість); $k_{\text{ср}}$ - середньостатистичний коефіцієнт інтенсивності експлуатації; (R/D) - відносний опір судна, складна функція багатьох змінних, у тому числі й числа Фруда (Fr); C - числовий коефіцієнт; $P_{\text{корп}}$ - вага корпусу судна; $\sum P_{\text{ср}}$ - вага устаткування; $\sum S_{\text{ср}}$ - вартість устаткування.

Аналіз чутливості показав, що досі фактично абсолютно невивченим лишився такий шлях збільшення проектної ефективності транспортної операції малих суден, як збільшення коефіцієнта інтенсивності експлуатації $k_{\text{ср}}$. Передусім це визначилося помилковістю пов'язання величини $k_{\text{ср}}$ лише з особливостями організації експлуатації у конкретних споживачів малих суден. Тому на ранніх стадіях проектування $k_{\text{ср}}$ приймався величиною середньостатистичною і постійною в залежності від класу судна.

В розглянутій ситуації закладено як мінімум дві суперечності. З одного боку введення $k_{\text{ср}}$, як постійного співмножника не впливає на прийняття проектних рішень. З іншого - очевидна істотна чутливість критерію \mathcal{E} до варіацій $k_{\text{ср}}$. При цьому використання середньостатистичних оцінок $k_{\text{ср}}$ суден, що знаходяться в експлуатації в попередні періоди, загалом кажучи істотно спотворює прогноз ефективності нових проектів і не можуть використовуватися в такому вигляді при вирішенні завдання оптимізації. Крім того, очевидна залежність $k_{\text{ср}}$ від значень та співвідношень основних розмірів судна:

$$k_{\text{ср}} = k_{\text{ср}} \left(\frac{H}{B}, \frac{B}{T}, \delta, \frac{Z_s}{T}, S_H, S_{TK} \right).$$

У роботі на численних прикладах показана висока чутливість критеріїв проектної ефективності транспортної роботи, надпланового прибутку, відносних приведених витрат к розміру розглянутого

коефіцієнта інтенсивності експлуатації, а також функціональний зв'язок останнього з показником рівня проектної безпеки малотонажних суден $k_{\text{експ}} = k_{\text{експ}}(U_{\text{експ}})$ і основних проектних параметрів судна p_1 , оскільки:

$$U_{\text{експ}}(p_1) = U_{\text{експ}} \cdot \left(\frac{H}{B}, \frac{B}{T}, \delta, \frac{Z_{\text{г}}}{T}, I_{\text{max}}, \Theta_{\text{max}}, d_{\text{max}}, S_{\text{II}}, S_{\text{СК}} \right).$$

Крім того встановлено, що домінуючим фактором, який визначає разом з ходкістю, проектну ефективність і штормову безпеку малотонажних суден, є їх динамічна остійність. Особливості алгоритму розрахунку показників рівня штормової безпеки суден, що розглядаються, визначило введення додаткових проектних змінних в оптимізаційну модель на початкових стадіях ескізного проектування. З метою побудови та практичної реалізації вказаної моделі в розділі розроблені: спрощена математична модель формування теоретичного креслення судна за заданими проектними параметрами, яка може застосовуватись на різних стадіях ескізного проектування і при контролі посадки та остійності судна в ході його експлуатації; алгоритм послідовної оптимізації проектних рішень у режимі діалогу з застосуванням деяких методів теорії розмитих множин; практична методика багатокритеріальної оптимізації альтернативних проектних рішень з урахуванням можливих варіантів навантаження і відповідних рівнів їх штормової безпеки та ефективності.

Практична методика багатокритеріальної оптимізації на початкових стадіях ескізного проектування малотонажних суден ґрунтується на зведенні її до класу задач аналізу розмитих відношень переваги, побудованих на скінченній множині проектів-претендентів. При цьому кожному i -му ($i=1, N$) проекту-претенденту відповідає вектор значень j -их ($j=1, M$) критеріїв та обмежень $a_i = \{a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ji}\}$, а макс. дальнім чи. нормативним значенням цих же критеріїв і обмежень - вектор $r = \{r_1, r_2, \dots, r_j\}$. Поелементне співставлення векторів a_i і r визначає відповідність i -го проекту P_i оптимальному варіанту.

Вся множина порівнюваних проектів і числових значень їх критеріїв та обмежень утворюють масив розмірністю $N \times M$:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & \dots & a_{MN} \end{vmatrix}$$

Далі розглядаються N масивів Z розмірністю $N \times M$, породжуваних з A шляхом зміни i -го стовпця значень a_{Mj} на відповідні значення критеріїв та обмежень r_M :

$$Z_1 = \begin{vmatrix} r_1 & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ r_2 & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_M & a_{M2} & \dots & a_{MN} \end{vmatrix}, \quad Z_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & r_2 & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & r_2 & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & r_M & \dots & a_{MN} \end{vmatrix}, \quad \dots, \quad Z_M = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & r_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & r_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & \dots & r_M \end{vmatrix}$$

Кожне r_j породжує на множині значень a_{ij} конкретний вигляд функції належності P_i оптимальному рішенню $\mu_{ij}(a_{ij}, r_j)$. При цьому конкретні значення r_j і a_{ij} дають чисельне значення μ_{ij} . Таким чином, вихідні масиви Z_i перетворюються на масиви значень функції належності розмитому рішенню D розмірністю $(N-1) \times M$:

$$D_1 = \begin{vmatrix} \mu_{12} & \mu_{13} & \dots & \mu_{1N} \\ \mu_{22} & \mu_{23} & \dots & \mu_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M2} & a_{M3} & \dots & a_{MN} \end{vmatrix}, \quad D_2 = \begin{vmatrix} \mu_{11} & \mu_{13} & \dots & \mu_{1N} \\ \mu_{21} & \mu_{23} & \dots & \mu_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M3} & \dots & a_{MN} \end{vmatrix}, \quad \dots, \quad D_N = \begin{vmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1(N-1)} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2(N-1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & \dots & a_{M(N-1)} \end{vmatrix}$$

Кожний i -тий стовпець масиву D_i при цьому має мінімальний елемент, котрий і являє собою значення функції належності P_i до оптимального за всіма критеріями і обмеженнями рішення:

$$\mu_{D_i} = \min_j (\mu_{ij}).$$

Уже на цьому етапі може визначитися потрібне рішення, якщо якийсь з $\mu_{D_i} = 1$, тобто i -тий проект-претендент задовольняє всім критеріям і обмеженням. Однак, при реальному багатокритеріальному проектуванні така ситуація не є характерною. В загальному випадку йдеться про вибір проекту-претендента, що задовольняв би розглянуті критерії найкращим чином (вибір невідомованої альтернативи). У роботі доведена теорема існування невідомованої нерозмитої альтернативи P_i^{IND} при побудові на множині проектів-претендентів розмитого відношення переваги за такою схемою:

$$\mu^d(a_i, a_j) = 1 - \sup_{k \in M} [\mu_j(a_{k_j}) - \mu_i(a_{k_j})].$$

Достатньо громіздкі, на перший погляд, обґрунтування і докази існування рішень у кінцевому підсумку зводяться до досить простих і ефективних алгоритмів та процедур прийняття рішень у рамках аналізу простіших електронних таблиць, елементами яких виступають кількісні показники відповідних відношень переваги та їх згорток.

Четвертий розділ присвячений розробці методів і засобів забезпечення штормової безпеки малотонажних суден при їх експлуатації: розроблена концепція, структура та основні алгоритми функціонування бортової системи контролю штормової безпеки, алгоритми попередньої обробки вимірюваних параметрів динаміки судна, загальна схема адаптивної ідентифікації параметрів зовнішніх впливів, алгоритми чисельного аналізу випадкових процесів качки судна, структура і методи побудови діаграм безпечного штормування малотонажних суден.

Відомі методи поточного контролю остійності суден орієнтовані на контроль параметрів діаграми статичної остійності розрахунковими методами (за статтями навантаження і величиною середньої осадки з використанням універсальних діаграм) або засобами, що ґрунтуються на функціональній залежності початкової метacentричної висоти від

періода вільних бортових коливань судна. Далі контроль остійності зводиться до порівняння параметрів поточної діаграми статичної остійності з нормативними їх обмеженнями. Як показано в попередніх розділах, такий набір контрольованих параметрів не гарантує об'єктивної оцінки поточного рівня штормової безпеки малотонажних суден (переважна більшість перекидань таких суден відбувається навіть при задоволенні тривіальних обмежень на параметри їх діаграм остійності).

Крім того, точність ручних замірів вихідних даних для використовуваних систем і приладів контролю остійності, не дає змоги вважати їх прийнятними для оцінки штормової безпеки малотонажних суден. Встановлено, що на практиці похибка визначення маси генеральних вантажів становить $\pm 2\%$; координат їх центрів ваги $\pm 1,5$ м по довжині і $\pm 0,5$ м по висоті судна; похибка визначення маси масових вантажів $\pm 5\%$, а координат їх центрів ваги відповідно ± 1 м і $\pm 0,3$ м. При цьому помилка визначення h_c може перевищувати 50-70%.

Таким чином, основним недоліком існуючих систем та приладів є відсутність об'єктивної інформації про поточну посадку і завантаження судна (про його середню осадку, крен і диферент, рівень рідких вантажів тощо). Інструментальні засоби визначення посадки та остійності судна за фактичним навантаженням і контролю кінематичних характеристик руху розповсюдження не дістали. Це перш за все пояснюється їх великою вартістю, складністю, ненадійністю роботи, а також відсутністю вимог до їх встановлення з боку органів технічного нагляду та класифікації.

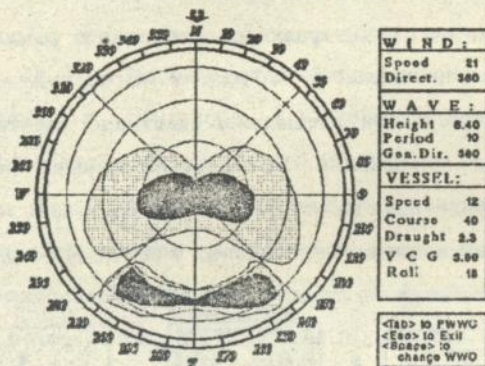
Викладене обумовило необхідність розробки спеціальних методів і засобів поточного контролю штормової безпеки класу суден, що розглядається. В основу їх розробки покладені відомі принципи вибору безпечних поєднань швидкості ходу судна і його курсу відносно хвилі,

розроблені вітчизняними (В.Г.Сизов, Ю.В.Ремез, В.Б.Ліпіс, Д.В.Кондриков, Ю.І.Нечаєв, Н.Б.Севастьянов та ін.) і зарубіжними (Льюїс, Лертсен, Очі, Тасакі та ін.) дослідниками, що базуються на безпосередній оцінці ходових якостей, надмірних переміщень чи прискорень при хитавиці, можливих резонансних явищ, частоти слемінгу або заливання палуби. При цьому врахування специфіки поведінки малотонажних суден в умовах шторму визначило необхідність наявності в розроблюваних системах контролю завантаження і остійності сліду-ючих рис відмінності:

- сучасної теоретичної бази, що ґрунтується на нелінійному аналізі поведінки малих суден на випадковому хвилюванні;
- використання нових імовірнісних критеріїв остійності;
- надійної, точної, безпечної вимірювальної техніки, яка дає змогу реєструвати посадку судна, рівень і розділ рідких вантажів та динамічні параметри качки;
- низької ціни і затрат на обслуговування;
- центральна частина системи повина займати об'єм не більш чверті кубічного метра через обмеженість місця на містках малих і середніх суден.

Врахування спеціалізованої критеріальної бази і можливості автоматизації ряду вимірювань дали змогу розробити структуру, алгоритми функціонування та конфігурацію бортових вимірювально-обчислювальних комплексів контролю штормової безпеки малих суден. Повнота і несуперечливість розробленої схеми контролю забезпечується застосуванням тих самих параметрів і моделей, що й при проектуванні судна, а також контролем усіх розроблених вище критеріїв і показників остійності і штормової безпеки малотонажних суден з подальшим відображенням результатів цього контролю у вигляді діаграми безпечного штормування (див. мал. 8).

Структура ДБШ малотонажного судна включає шість елементів, основний з яких побудовано за аналогією з верхньою частиною діаграми В.Г.Власова і нижньою частиною універсальної штормової діаграми Ю.В.Ремеза (концентричні кола, які відповідають швидкості ходу судна, і пучок „роменів“, що відповідають курсовим кутам).



Мал. 8. Діаграма безпечного штормування (ДБШ) малотонажного судна.

При цьому площа круга радіуса V_{max} розбивається на три зони:

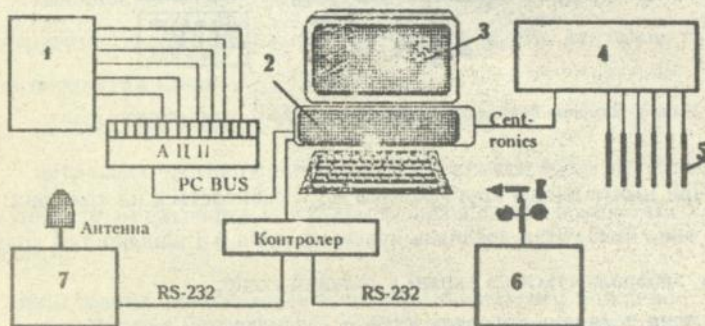
- зона безпечних поєднань курсових кутів q і швидкостей ходу V_s судна, забарвлюється на екрані в зелений колір;

- зона поєднань курсових кутів q і швидкостей ходу V_s судна, що відповідають підвищеній динаміці хитавиці, небажаної з точки зору безпеки судна, його конструкції чи кріплення вантажів тощо, забарвлена в жовтий колір; експлуатація судна в цих режимах істотно позначається на його ефективності, може привести до виникнення некатастрофічних аварійних ситуацій з небажаними наслідками;

- зона небезпечних поєднань курсових кутів q і швидкостей ходу V_s судна, тривала експлуатація судна в яких приводить до аварій з катастрофічними наслідками (перекидання чи інтенсивне заливання з наступним затопленням); забарвлюється в червоний колір.

Конфігурація і розміри вказаних зон істотно залежать від стану завантаження судна і параметрів, діючих вітро-хвильових впливів. Для їх побудови необхідний постійний моніторинг: параметрів посадки і рівнів рідких вантажів; кутових швидкостей і лінійних прискорень основних видів хитавиці; напрямку і швидкості вітра; швидкості ходу судна і його курсового кута.

Розроблена схема контролю реалізована у рамках структури бортової системи, наведеної на мал. 9. Основний варіант схеми передбачає застосування спеціальної адаптивної ідентифікації параметрів спектра хвилювання. Як запасний варіант передбачається можливість введення візуально визначених $h_{3\%}$ і k , з використанням моделей спектрів хвилювання, описаних у першому розділі.



Мал. 9. Структура бортової системи поточного контролю посадки та остійності судна з підсистемою оптимального інформування: 1 - блок вимірювачів динаміки судна (чи радіолокаційна приставка для зняття спектра морського хвилювання); 2 - процесор бортового комп'ютера; 3 - дисплей бортового комп'ютера; 4 - центральний електронний блок приладу контролю посадки судна та рівнів рідких вантажів; 5 - датчики осадок і рівнів рідких вантажів з виносними генераторами-приймачами; 6 - вимірювач напрямку і швидкості вітра; 7 - супутникова навігаційна система (наприклад, вітчизняна "Бірюза СН-4").

Адаптивна оцінка скінченномірних параметрів зовнішніх впливів (наприклад, висоти хвилі $h_{3\%}$ та її періода τ_{ϕ}) передбачає наявність інформації про динамічні характеристики судна (наприклад, про дисперсію кутових швидкостей бортової качки D_{ϕ}), одержаних за

допомогою інструментальних вимірювань цих характеристик у вигляді регресійного вектора $R_r(t) = R_r(D_o^*, D_o'', T_{cp}, z_z / B, h_{3\%}, k_r)$.

У першому наближенні можна обмежитися одним параметром - дисперсією кутових швидкостей бортової качки $R_r(t) = D_o$. В цьому випадку адаптивна оцінка параметру хвилювання $P_w = \{h_{3\%}, k_r, \bar{V}\}$ полягає в тому, що на основі поточного регресійного сигналу $R_r(t)$, його оцінки $P_w(t, p_i, h_{3\%}, k_r)$ у відповідності з комплексною моделлю (мал. 3) і сигналу помилки $E(t) = E(t, h_{3\%}, k_r)$ коректується або заново обчислюється оцінка параметрів спектра хвилювання $S_w(h_{3\%}, k_r, w_0)$.

Практична реалізація розробленої схеми адаптивної ідентифікації поточних параметрів спектра хвилювання ґрунтується на переході від вихідних диференціальних рівнянь хитавиці до функцій спектральних щільностей. Спочатку вихідні диференціальні рівняння типу:

$$(I_x + \mu_{44})\ddot{\vartheta} + \lambda_{44}\dot{\vartheta} + D I(\vartheta) = M_{lp}(V, \vartheta, t) - I_x \ddot{\Delta}(t) + M_p(\vartheta, \Delta, t),$$

подаються у вигляді:

$$\dot{x}_1'(t) + f_1(x_1', t) + f_2(x_1', t) = f_3(x_1', y, y', y''),$$

де: $\vartheta(t) = \Theta(t) - \Delta(t)$ - відносний кут крену; $\Delta(t) = \chi_0 \alpha(t)$ - редукований кут хвильового схилу; $M_{lp}(V, \vartheta, t)$ - нахилиючий момент від дії вітрового тиску; $M_p(\vartheta, \Delta, t)$ - додатковий нахилиючий момент, обумовлений дією близьких до саморуйнованих і саморуйнованих гребенів хвиль; x_i - величини, які визначають динаміку судна ($x_1 = \Theta$, $x_2 = \psi$ тощо).

При цьому вважається, що змінні x_i (стаціонарні випадкові або приводжувані до них функції) можуть бути безпосередньо виміряні з допомогою інструментальних засобів, розроблених у розділі 5, а для зовнішніх впливів $y(t)$ відома, з точністю до числових параметрів $h_{3\%}$ і k_r , спектральна щільність (моделі якої розроблені у розділі 2). Одне з ключових завдань ідентифікації полягає в тому, щоб використовуючи наведені вище рівняння, як якусь "передаточну ланку", визначити конкретні значення цих параметрів по реалізації $x_i(t)$, тобто визна-

чити реально діючі зовнішні збурення з наступним аналізом і оптимізацією режимів руху судна.

На першому кроці формули для визначення коефіцієнтів лінеаризації мають вигляд:

$$K_1^1 = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}; \quad K_1^2 = \frac{R_{xy}(0)}{R_x(0)}; \quad y_0 = \int_{-\infty}^{\infty} F(x)f(x)dx;$$

$$K_1^3 = \left[\frac{1}{\sigma_x^2} \int_{-\infty}^{\infty} F^2(x)f(x)dx y_0^2 \right]^{0.5}; \quad K_1^4 = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)m_x F(x)f(x)dx;$$

де: верхні індекси у коефіцієнтів K_1^i вказують на один з можливих засобів лінеаризації; R_x , R_{xy} - кореляційна та взаємкореляційна функції $x(t)$ і $y(t)$.

Перехід до функцій спектральних щільностей здійснюється методом передаточної функції:

$$S_x(\omega) = \frac{|(j\omega)^2 + K_{11}^1 j\omega + K_{11}^1|^2}{|(j\omega)^2 + L_{11}^1 j\omega + L_{11}^1|^2} S_y(\omega).$$

Оскільки $S_x(\omega)$ і $S_y(\omega)$ визначені незалежно від вихідної системи диференціальних рівнянь, то ця рівність може бути виконана тільки наближено. Як міру близькості можна вибрати суму:

$$C(h_{yx}, k_r) = \sum_{i=1}^3 \sum_{L=1}^N \beta^L(\omega) |S_x^L(\omega_k^L) - |\Phi(i\omega)|^2 S_y^L|^n,$$

а числа h_{yx} , k_r вибрати з умови її мінімуму. Таким чином, перший крок закінчується визначенням h_{yx} і k_r , що дають екстремум функції $C(h_{yx}, k_r)$, і, отже, дисперсій G_y , G_x . На другому кроці, за відомими G_y , G_x а також центральними моментами X_0^i , знаходяться еквівалентні частотні коефіцієнти, а за ними еквівалентні передаточні функції виходячи з рівності:

$$K^2(\omega, G_x, m_x) = K(j\omega, G_y, m_y) K(-j\omega, G_y, m_y)$$

Передбачаючи, що випадкові процеси, описувані кожним членом у диференціальних рівняннях, некорельовані, частотну характеристику лівої

та правої частин, визначають аналогічно випадку постійних коефіцієнтів, тобто сумою частотних характеристик додатків. У цьому випадку функція $|\Phi(j\omega)|^2$ буде дорівнювати:

$$|\Phi(j\omega)|^2 = \frac{|(j\omega)^2 + K'_{11}(j\omega, G_X', m_X')(j\omega) + K'_1(j\omega, G_X, m_X)|^2}{|(j\omega)^2 + L'_{11}(j\omega, G_Y', m_Y')(j\omega) + L'_1(j\omega, G_Y, m_Y)|^2},$$

де: $K'_{11}, K'_1, L'_{11}, L'_1$ - еквівалентні передаточні функції.

Якщо на першому кроці досить проста апроксимація дає, як правило, достатньо точне значення дисперсій, то другим кроком робиться спроба досить точно описати зміну спектральної щільності при проходженні сигналу через нелінійність.

Після побудови нової передаточної функції необхідно знову, приймаючи h_{Σ} і k_r за незалежні змінні, мінімізувати функцію $S(h_{\Sigma}, k_r)$. Після розв'язання екстремальної задачі, необхідно розрахувати G_X, G_Y . Якщо вони близькі до відповідних значень, знайдених на першому кроці, то процес визначення спектральної щільності для даного курсу і швидкості закінчується.

При знаходженні функції спектральної щільності при інших значеннях $V, \cos \varphi$, необхідно виконати розрахунок заново, починаючи з першого кроку, бо зміниться перший доданок у сумі $S(h_{\Sigma}, k_r)$.

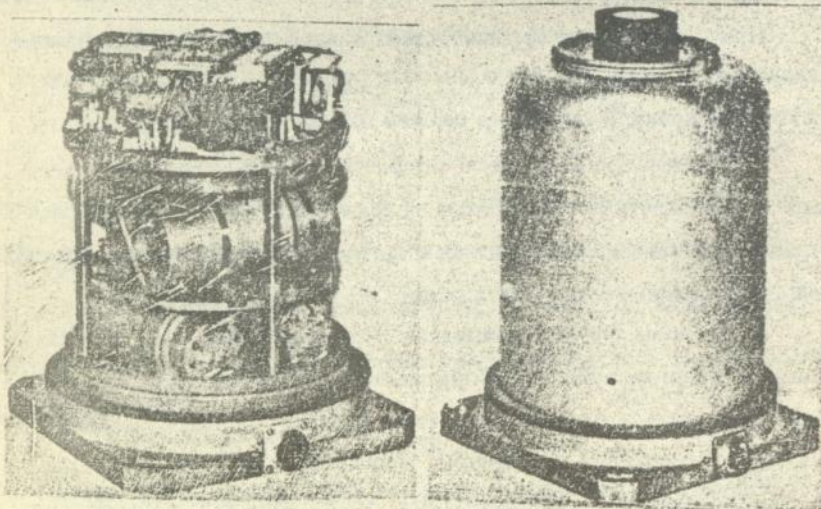
У розділі розроблені також алгоритми зменшення похибок, пов'язаних з дискретністю оброблюваної інформації (поява хибних спектральних складових і паразитних амплітуд модуляції спектра, розмивання спектральних складових тощо).

У *п'ятому розділі* викладено результати розробки спеціалізованих конструктивних та вимірювальних елементів приладів поточного контролю параметрів штормової безпеки - блоку вимірювачів кутових швидкостей і лінійних прискорень, фільтрів перешкод знімаючої інформації, спеціалізованого аналого-цифрового переко-

вага, блоку вимірювачів посадки судна та рівнів рідких вантажів; розроблено теоретичні основи, схемні і технічні рішення вказаних приладів на базі методів імпульсної рефлектометрії; наведено основні результати експериментальних досліджень працездатності і точісних параметрів розроблених бортового комплексу та його елементів.

Параметрами динаміки судна, які підлягають поточній оцінці і використовуються в алгоритмах ідентифікації параметрів зовнішніх впливів, а також при побудові діаграм безпечного штормування, визначені: кутові швидкості бортової та кільової хитавиці, а також рискання; лінійні прискорення вертикальної, поперечно-горизонтальної та поздовжньо-горизонтальної хитавиці.

Вимірювальний блок являє собою закінчену конструкцію у вигляді суцільної основи, фрезерованої з алюмінію, на якій розміщена спеціальна платформа з встановленими на строго взаємно перпендикулярних площинах по три датчики кутових швидкостей та лінійних прискорень, а також електронним блоком. Платформа закривається захисним кожухом з вентилятором, закріпленим на основі (мал. 10).



Мал. 10. Зовнішній вигляд блоку вимірювачів параметрів динаміки судна.

Модифіковані за результатами експериментальних досліджень варіанти вимірювального блоку відрізняються встановленими додатково фільтрами перешкод знімаючої інформації та системою вентиляції, що забезпечує стабільний температурний режим. Для введення даних у бортовий комп'ютер розроблен 24-х каналний програмований (з попередньою обробкою даних і буферною пам'яттю) аналого-цифровий перетворювач.

Вимірювальні прилади посадки судна та рівнів рідких вантажів сконструйовані у вигляді двопровідної довгої електричної лінії, поданої як множина з'єднаних у ланцюжок нескінченно малих елементів довжиною dx , кожен з яких має опір $godx$ і індуктивність L_0dx , провідність g_0dx і ємність C_0dx . При цьому опір $godx$ та індуктивність L_0dx вважалися включеними в один провід, а процеси, що відбуваються в цьому проводі, описувались диференціальними рівняннями вида:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = r_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}; \quad -\frac{\partial i}{\partial x} = g_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t}.$$

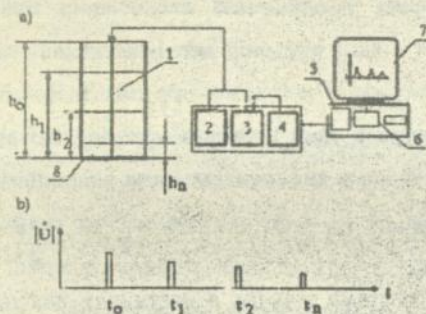
Розв'язання цієї системи рівнянь в частинних похідних при заданих початкових і граничних умовах дає можливість визначити струм і напругу як функції відстані від початку лінії й часу, що відкриває можливість побудови схем і алгоритмів оцінки відстані від початку лінії до особливостей (стрибків) її параметрів. При цьому завдання визначення рівня рідких вантажів зводиться до аналізу часових інтервалів між імпульсами значень струму і напруги, описуваних виразами типу:

$$i_2 = \dot{A}_3 + \dot{A}_4; \quad I_2 z_c = \dot{A}_3 - \dot{A}_4; \quad \text{де: } \dot{A}_3 = \frac{1}{2}(\dot{u}_2 + \dot{I}_2 z_c); \quad \dot{A}_4 = \frac{1}{2}(\dot{u}_2 - \dot{I}_2 z_c).$$

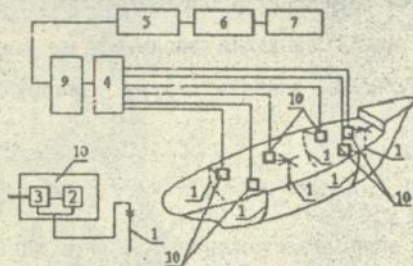
При довільному опорі навантаження Z_2 в кінці лінії $\dot{A}_4 \neq 0$ і в лінії виникає зворотна хвиля з комплексним коефіцієнтом відображення:

$$\bar{r} = \frac{\dot{A}_4 e^{-\gamma x}}{\dot{A}_3 e^{\gamma x}} = \frac{z_2 - z_c}{z_2 + z_c}.$$

В загальному випадку коефіцієнт відображення визначається в точках, де є якась неоднорідність (кінець, початок лінії, перехід лінії через розділ середовищ з різним коефіцієнтом діелектричної проникності, наприклад, повітря-вода або вода-нафтопродукт, тощо). В роботі з урахуванням цієї особливості розроблені теоретичні основи та ряд охороноздатних технічних рішень дистанційного автоматизованого контролю параметрів посадки судна і рівнів рідких вантажів, які входять в алгоритми побудови діаграм безпечного штормування малотонажних судей як вихідні дані (див. мал. 11 і 12).



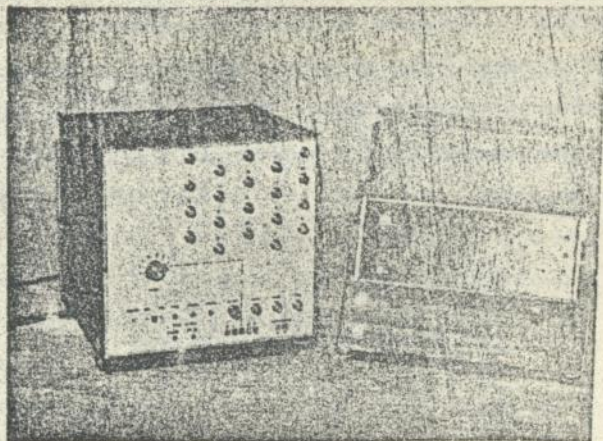
Мал. 11. Функціональна схема (а) і часова рефлектограма (б) приладу контролю рівнів і розділів незмішуваних рідких середовищ: 1 - вимірювальна двоспівідна лінія; 2 - імпульсний генератор; 3 - приймач; 4 - підсилювач; 5 - АЦП; 6 - процесор; 7 - індикатор; 8 - ємність з незмішуваними рідинами.



Мал. 12. Функціональна схема приладу контролю посадки судна і рівнів рідких вантажів: 1 - вимірювальні лінії; 2 - імпульсний генератор; 3 - приймач; 4 - підсилювач; 5 - АЦП; 6 - процесор; 7 - індикатор; 9 - комутатор; 10 - вимірювальна головка (виносний електронний блок).

Вимірювальні лінії формуються двома симетричними або асиметричними провідниками, гальванічно з'єднаними з корпусом, використовуючи один з таких варіантів: сталеві кутики, розділені ізолюючим матеріалом; дві металеві смуги, розділені ізолюючим матеріалом; сталева труба з металевим сердечником всередині, зафіксованим ізолюючим матеріалом; два натягнутих сталевих троси; металева смуга, відокремлена ізолятором від переділки тощо.

Для забезпечення оперативного контролю параметрів посадки та рівнів рідких вантажів у суднових умовах розроблені і виготовлені 6-ти та 40-ка каналні зразки відповідних приладів (див. мал. 13).



Мал. 13. Зовнішній вигляд 40-ка і 6-ти каналного приладів контролю посадки і рівнів рідких вантажів.

Експериментальні дослідження працездатності і точнісних параметрів розроблених елементів бортового ИВК проводилися в лабораторних і натурних умовах, для чого під керівництвом автора при активній участі Б.М.Гордеева, А.К.Снігура, А.Ф.Галя, Г.Г.Амплеєва, Л.М.Кузнецова, М.О.Шарлаєва створені три стаціонарні і один переносний лабораторні комплекси (лабораторія гіротехнологій, лабора-

торія імпульсної рефлектометрії, лабораторія автоматизації наукових досліджень на науково-дослідницькому судні МКІ "Дельта"). Натурні випробування проводилися в рамках трьох експедицій у Чорному та Середземному морях на НДС "Дельта", трьох експедиціях у Чорному морі на командирському-катері "Альфа", в ході одного з рейсів на теплоході "Індіра Ганді" Чорноморського морського пароплавства. Описання лабораторних стендів та приладів, алгоритми обробки даних, а також основні результати і деякі протоколи випробувань наводяться у відповідних розділах і додатках.

При обробці експериментальних даних й уточненні алгоритмів поточного чисельного аналізу параметрів хитавиці суден використовувались методи спектрального аналізу, за допомогою яких, зокрема, вдалося приблизно у 3 рази підвишити точність визначення періодів власних коливань судна порівняно з традиційними засобами при аналізі бортової хитавиці судна, в тому числі й з малими амплітудами (див. мал. 14 и 15).

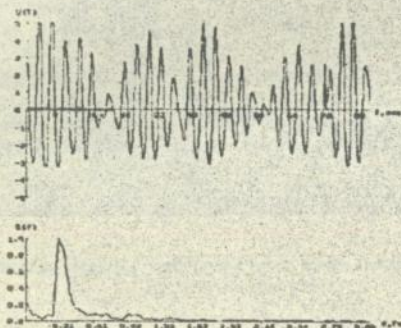
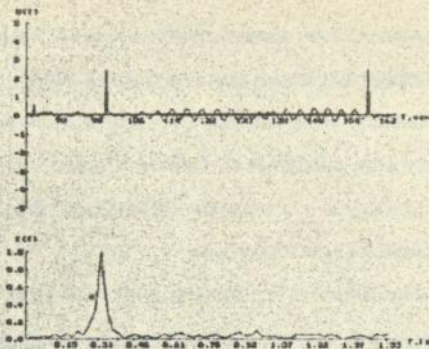


Рис. 14. Фрагмент запису і результатів спектральної обробки бортових коливань т/х "Дельта" при маневруванні при вході в порт.

У цілому випробування підтвердили працездатність, надійність і відповідність технічним вимогам системи поточного контролю та її елементів, а також дали змогу визначити основні шляхи подальшого їх удосконалення.



Мал. 15. Фрагмент запису і результатів спектральної обробки бортових коливань т/х "Дельта" при постійних швидкості хода і курсі на тихій воді.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

У поданій роботі вирішена наукова проблема теоретичного обґрунтування і створення методів та засобів комплексного забезпечення штормової безпеки малотонажних суден при їх проектуванні й експлуатації, яка має важливе соціально-економічне та народно-господарське значення. У системній постановці і закінченому вигляді таке завдання, незважаючи на його актуальність, для розглянутого класу суден раніш не ставилося.

Основні результати роботи.

Виявлені основні причини аварій різних категорій для суден малих і середніх розмірів, визначені домінуючі фактори ризику та сформульовані найбільш невідкладні завдання підвищення рівня їх штормової безпеки.

Розроблені інтегральні критерії оцінки рівня штормової безпеки розглянутих суден у різних варіантах навантаження, а також інтенсивності і розвиненості зовнішніх вплив.

Сформовано новий, більш повний і адекватний особливостям малих суден набір критеріїв оцінки (на стадії проектування) і контролю (в ході експлуатації) рівня їх штормової безпеки.

□ Розроблена комплексна модель оцінки рівня штормової безпеки при проектуванні та експлуатації малотонажних суден.

Розвинені методики нормування, проектування і контролю в ході експлуатації показників штормової безпеки малотонажних суден, а також відповідні структура і алгоритми функціонування бортових вимірювально-обчислювальних комплексів.

Розглянуті з позицій системного підходу вимоги до проектних критеріїв, структура і взаємозв'язок елементів інформаційної моделі штормової безпеки. Сформульовано принцип найбільшої гарантованої безпеки та основана на його послідовному застосуванні концепція забезпечення експлуатаційної безпеки малотонажних і середніх суден.

Введено поняття проектної інтенсивності безпечної експлуатації малотонажних суден, здійснено відповідне коректування номенклатури проектних змінних та модифікація традиційних критеріїв проектної ефективності. Запропоновані і обгрунтовані спеціальні алгоритми багатокритеріальної оптимізації малих суден на початкових стадіях проектування на базі аналізу нечітких відношень переваги альтернативних проектних рішень.

Розроблені варіанти конфігурації вимірювально-обчислювального комплексу поточного контролю штормової безпеки розглянутого класу суден, визначені його функції, склад інструментальних і програмних засобів.

Розроблена схема адаптивної кількісної оцінки поточних параметрів зовнішніх впливів, відповідні алгоритми чисельного аналізу випадкових процесів хитовиці та оцінки параметрів динаміки судна за дискретними експериментальними даними, поданими з допомогою інструментальних засобів.

Розроблена структура і методи побудови діаграм безпечного штормування малотонажних суден, орієнтованих на автоматизовану їх побудову та візуалізацію.

Виконано аналіз нових схемних та конструктивних рішень вимірювачів параметрів посадки судна і рівнів рідких вантажів, шести-компонентних блоків вимірювачів параметрів динаміки судна, фільтрів перешкод зніманої інформації, спеціалізованого аналого-цифрового перетворювача, що програмується.

Проведені лабораторні і морські випробування розроблюваних пристроїв, приладів і систем, які підтвердили їх працездатність, надійність, відповідність технічним вимогам та умовам.

Теоретичні рішення обгрунтовані співставленням одержаних на їх базі кількісних оцінок з даними опублікованих і власних експериментальних досліджень і статданих, шляхом проведення метрологічних експертиз, а також порівняння з результатами розрахунків за іншими апробованими раніш методиками.

Результати роботи використані при створенні керівних документів Річкового Регістра РФСР, Мінсудпрома СРСР, Держфлотнагляду України та Міжнародної організації по стандартизації ISO, при розробці пакетів прикладних програм та при проектуванні ряду конкретних бортових систем контролю поточних параметрів завантаження та остійності суден, автоматизованих систем дистанційного контролю рівнів рідких вантажів, їх конструктивних і вимірювальних елементів.

Основний зміст дисертації відображено в таких роботах:

1. Александров М.Н., Бугаенко Б.А., Жуков Ю.Д. и др. Судовые устройства. Справочник, - М.: Судостроение, 1987.

2. Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Методика определения допустимых ветро-волновых режимов для эксплуатации судов с классом Речного Регистра РСФСР длиной до 20 м (Рекомендуемая). - М.: Речной Регистр РСФСР, 1988.

3. Жуков Ю.Д. Безопасность малотоннажных судов. Предпосылки и общая концепция/ Судостроение, вып. 40. - Киев-Одесса: "Лыбидь", 1991.

4. Жуков Ю.Д. Безопасность малотоннажных судов. Инструментальные средства контроля/ Гидродинамика корабля. Сб. науч. трудов. - Николаев, НКИ, 1990.

5. Жуков Ю.Д. Инструментальный контроль динамической остойчивости судна/ Труды пятой конференции международной морской ассоциации стран восточного средиземноморья, (на англ.). - Афины, 1990.

6. Жуков Ю.Д. Инструментальные средства прогноза аварии судна по группе "Остойчивость"/ Труды международного общества инженеров механиков, Кобе'90, том 2, (на англ.). - Кобе, 1990.

7. Жуков Ю.Д. Инструментальные средства прогноза аварии судна по группе "Остойчивость". Ответы автора в письменной дискуссии/ Труды международного общества инженеров механиков, Кобе'90, том 7, (на англ.). - Кобе, 1990.

8. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Инструментальный контроль остойчивости и эксплуатационной безопасности морских судов/ Труды IV международной конференции по остойчивости судов и средств освоения океана, Стаб'90, (на англ.). - Неаполь, 1990.

9. Жуков Ю.Д., Снигур А.К. и др. Малое исследовательское судно/ Труды пятой конференции международной морской ассоциации стран восточного средиземноморья, (на англ.). - Афины, 1990.

10. Жуков Ю.Д. Машинный метод реализации размытых алгоритмов/ Труды НКИ, вып.154 - Николаев: НКИ, 1979.

11. Жуков Ю.Д. Применение некоторых методов теории размытых множеств к решению задач многокритериальной оптимизации при проектировании сложных конструкций/ Труды НКИ, вып. 141. - Николаев: НКИ, 1978.

12. Александров М.Н., Некрасов В.А., Жуков Ю.Д. Новый подход к оценке остойчивости морских судов/ Гидродинамика корабля. - Николаев: НКИ, 1991.

13. Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Остойчивость малых судов в положении лагом к волнению и ветру/ Труды IV международной конференции по практическому проектированию судов, Прадс'89, (на англ.). - Варна, 1990.

14. Амплеев Г.Г., Галь А.Ф., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Динамическая устойчивость и минимальные требования к малым судам/ Автоматизация проектирования и конструкции судов: Сб. науч. трудов. - Николаев: НКИ, 1987.

15. Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Динамическая устойчивость судна в положении лагом к ветру и волнению/ Научно-технический сборник. - Л.: Регистр СССР, вып. 17, 1991.

16. Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Остойчивость малотоннажных судов в положении лагом к ветру и волнению/ Судостроение, N8, 1989.

17. Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Характеристики бортовой качки и предельная устойчивость малотоннажного судна закрытого типа в условиях шторма/ Гидродинамика корабля. Сб. науч. трудов.- Николаев: НКИ, 1987.

18. Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А. Характеристики бортовой качки и предельная устойчивость малотоннажного судна открытого типа в условиях шторма/ Гидродинамика корабля. Сб. науч. трудов. - Николаев: НКИ, 1987.

19. Антипин М.А., Жуков Ю.Д. Один из аналитических способов нахождения ординат конструктивной ватерлинии теоретического чертежа транспортного судна/ Труды НКИ, вып. 25.- Николаев: НКИ, 1974.

20. Антипин М.А., Жуков Ю.Д. Построение теоретического чертежа буксирного судна по заданным главным размерениям с помощью ЭВМ / Труды НКИ, вып. 85. - Николаев: НКИ, 1974.

21. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Устройство аварийной сигнализации при качке судна. АС СССР N 1380128 ДСП от 15.07.86.

22. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Устройство для повышения остойчивости и плавучести судна. АС СССР N1627452 Бюл. N6 от 15.02.91 г.

23. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Устройство для стабилизации плавучего объекта. АС СССР N 1263574 Бюл. N38 от 15.10.86 г.

24. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. Устройство контроля качки судна. АС СССР N1748393 ДСП от 17.11.88 г.

25. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Устройство контроля ускорений при качке судна. АС СССР N1832636 ДСП от 13.10.92 г.

26. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Устройство для определения ускорений произвольной точки судна. АС СССР N1816968 Бюл. №19 от 22.05.93 г.

27. Александров М.Н., Жуков Ю.Д. и др. Волномерное устройство. АС СССР N1722131 ДСП от 20.06.88 г.

28. Отчет о научно-исследовательской работе "Разработка рекомендаций на изготовление прибора контроля качки судна", N гос. рег. 01890050198, Николаев, НКИ, 1989. - 50 с.

29. Отчет о научно-исследовательской работе "Теоретические основы инструментального обеспечения безопасности плавания судов в условиях шторма", № гос. рег. 01910002388, Николаев, НКИ, 1991. - 169 с.

30. Отчет о научно-исследовательской работе "Создание подсистемы "Общее проектирование" САПР малотоннажных судов", № гос. рег. 0290011180, Николаев, НКИ, 1987. - 207 с.

31. Отчет о научно-исследовательской работе "Разработка проектов Правил постройки малотоннажных судов и Норм обеспечения их безопасности", № гос. рег. 01840036802, Николаев, НКИ, 1984.-103 с.

32. Отчет о научно-исследовательской работе "Исследование и отработка в натурных условиях элементов экспериментального образца аппаратно-программного комплекса с графическим интерфейсом для анализа и контроля загрузки и остойчивости судов в ходе их эксплуатации", Николаев, НКИ, 1993.- 90 с.

33. Жуков Ю.Д. Инструментальный контроль работоспособности и безопасности плавания технических средств освоения океана в условиях шторма/ Автоматизация процессов управления техническими средствами исследования Мирового Океана. - Калининград.- М.: УОП КТИРПИХ, 1989.

34. Жуков Ю.Д. Методы и средства обеспечения штормовой безопасности малотоннажных судов при проектировании и эксплуатации/Николаев. кораблестроит. ин-т. - Николаев, 1994. - Деп. в ГНТБ Украины.

35. Alexandrov M.N., Nekrasov V.A., Zhukov Yu.D. New technique for providing loading and Stability safety of fishing vessels. A short course. - Paper presented at the Eurofishing Exhibition in Bilbao, Spain, 17 - 22 November, 1992. - Preprint, Nikolaev, UМУ, 1992.

36. Zhukov Yu.D. Small Craft Stability Control.- ISO/TC 188 N 123 - Amsterdam, 1991.

37. Alexandrov M.N., Zhukov Yu.D. and oth. Position of the Soviet Union delegation to ISO/TC 188 WG/22 on Stability & Floatability Numerals.- ISO/TC 188 WG/22 N35.-London,1991.

38. Alexandrov M.N., Zhukov Yu.D. and oth. New Approach to Ship Stability Assessment and Control.- ISO/TC 188 WG/22 N36. - London, 1990.

° 39. Alexandrov M.N., Zhukov Yu.D. Stability of Open Boats and Power Driven Vessels.- ISO/TC 188 WG/22 N 23.-Rome,1991.

40. Ampleev G.G., Zhukov Yu.D. and oth. Preliminary Draft International Standard for PWWC for Small Craft Operation.- ISO/TC 188 WG/22 N9. - Lisbon, 1990.

Zhukov Yu.D. Small Craft Rough Sea Safety Support in Design and Operation.

Doctor of sciences (technology) dissertation, specialty 05.08.03 - Ship design and structure, Ukrainian State Maritime Technical University, Nikolaev, 1994.

Dissertation is presented as the manuscript (287 pages, 84 figures, 21 tables, 180 references, appendix on 181 pp.). It contains theoretical and experimental study of small craft safety in stormy sea. Main regularities and directions of such ship's safety level increase are discovered. Complex model and based on it methods and means of small craft rough sea safety support in design and operation is developed. The main results of the study (regulations, design methods and corresponding software, principal and technical solutions for special instruments and onboard ship's load and stability monitoring systems) are used in practice by some Ukrainian and foreign organizations and enterprises.

Жуков Ю.Д. Обеспечение штормовой безопасности малотоннажных судов при проектировании и эксплуатации.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.08.03 - проектирование и конструкция судов, Украинский государственной морской технический университет, Николаев, 1994.

Защищается рукопись (287 стр. м.п. текста, ил. 84, табл. 21, библиографических ссылок 180, прил. на 181 стр.), которая содержит теоретические и экспериментальные исследования безопасности малых и средних судов в условиях шторма. Установлены основные закономерности и пути повышения уровня штормовой безопасности таких судов. Разработана комплексная модель и, на ее основе, методы и средства обеспечения при проектировании и эксплуатации их штормовой безопасности. Основные результаты работы (нормативные требования, методики проектирования и пакеты прикладных программ, а также схемные и технические решения, положенные в основу созданных под руководством автора устройств, приборов и бортовых измерительно-вычислительных систем текущего контроля загрузки и остойчивости судов, а также параметров их динамики) внедрены рядом организаций и предприятий Украины и зарубежных стран.

Ключові слова:

Малотонажні судна, штормова безпека, проектування, експлуатація, вимірально-обчислювальні комплекси, остійність, нормативи.

AB 31.044

AB 31.044