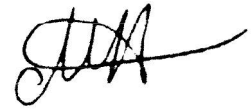


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ"

**МАЗУР ОКСАНА МИКОЛАЇВНА**



УДК 656.621/.626+656.612.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
БАГАТОЦІЛЬОВОГО СУДНА ДОПОМІЖНОГО ФЛОТУ НА ВОДНИХ  
ШЛЯХАХ УКРАЇНИ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент  
**Голіков Володимир Володимирович,**  
Національний університет "Одеська морська академія"  
Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри управління судном.

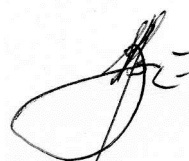
**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Вичужанін Володимир Вікторович,**  
Одеський національний морський університет  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри інформаційних технологій;  
  
доктор технічних наук, професор  
**Мойсеєнко Валентин Іванович,**  
Український державний університет залізничного  
транспорту Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних  
систем.

Захист відбудеться 06 грудня 2018 р. о 10:00 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, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету "Одеська морська академія" за адресою 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2, та за електронною адресою:  
<http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий "05" листопада 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



В. В. Нікольський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Багатоцільові судна створюються з метою універсалізації застосування у різних кліматичних умовах і обставинах (соціальних, політичних, техногенних й інших) для більш гнучкої та економічної експлуатації, для вирішення різноманітних і нестандартних завдань, коли є гостра нестача часу на проведення спеціальних операцій та у інших обставинах, що ускладнюють застосування вузькоспеціалізованих суден. Багатоцільове судно – судно, певним чином пристосоване для здійснення низки технологічних функцій, які зазвичай виконуються декількома вузькоспеціалізованими суднами. Україна, як морська держава, у сучасних політико-економічних умовах не може дозволити собі побудову у короткий термін часу і при наявних матеріальних ресурсах вузькоспеціалізовані судна. До того-ж, є гострий запит практики сучасного військово-морського флоту України на використання нових спеціалізованих кораблів, а можливості конверсії і реновації існуючих цивільних суден обмежені. Одним з варіантів вирішення означеної проблеми виконання спеціальних операцій у внутрішніх територіальних водах України, у тому числі – у період зимової навігації та за умови забезпечення безпеки судноплавства, є проектування, створення і використання високоефективних багатоцільових суден допоміжного флоту (БСДФ) криголамного класу, що здійснено урахуванням основних етапів його життєвого циклу (ЖЦ).

Таким чином можна стверджувати, що створення концепції проектування, синтезу конструкції, побудови та подальшого ефективно-керованого і експлуатованого, з попереднім науковим техніко-економічним обґрунтуванням необхідних тактико-технічних характеристик (ТТХ) та з урахуванням життєвого циклу, БСДФ криголамного класу, є актуальним науково-технічним завданням для сучасного допоміжного флоту України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, темами.** Робота виконувалася відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 року, № 430-р), Стратегії сталого розвитку "Україна-2020" (Указ Президента України від 12.01.2015 року, № 5), рішень Ради національної безпеки і оборони України, а також у рамках планів наукових досліджень: а) за держбюджетною темою Національного університету "Одеська морська академія" ДР № 0114U000346 "Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології", у якій здобувачем виконано окремий розділ; б) наукового семінару "Оптимальне управління й експлуатація електроприводів спеціальних установок" Вченої Ради Національної академії наук України з проблеми "Наукові основи електроенергетики" (Військова академія, м. Одеса), де здобувач був співвиконавцем окремих етапів досліджень. Також здобувачем прийнята участь, як виконувачки підрозділу, у підготовці "Первинної науково-технічної експертизи усісезонних експлуатаційних показників лоцманських катерів проекту ЛК-1500" (наук. кер. В. В. Голіков. – Одеса: ОНМА, 2014. – 70 с.).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є концептуальне забезпечення високоефективного виконання різноманітних багатоцільових задач БСДФ (пошуку, рятування, супроводження, проведення суден караваном, тощо, а також проведення спеціальних задач ВМС України) за умови безпеки судноводіння, шляхом використання високоефективних способів експлуатації судна і створенні для цього організаційних і архітектурно-конструктивних умов при проектуванні, побудові і експлуатації судна.

Робоча гіпотеза дослідження полягає у існуванні такої концептуально-архітектурної композиції судна, яка дозволяє на основних етапах його життєвого циклу виконувати завдання різного, у тому числі подвійного, призначення і ефективно при цьому експлуатуватися у різних погодних, притаманних внутрішнім територіальним водам України, умовах.

Головне завдання дослідження полягає у розробці такої системи керування судном на всіх етапах його ЖЦ, яка за умови визначення архітектурної композиції судна, при неоднозначних вхідних даних, обмежених матеріально-часових можливостях на проектування та побудову, забезпечує його ефективну експлуатацію.

Рішення головного завдання досягнуте шляхом дослідження наступних складових основних завдань:

- аналізу забезпечення судноплавства у зимову навігацію для цілей обґрунтування класу створюваного багатоцільового судна;
- визначенні особливостей реновації та конверсії існуючих суден цивільного флоту; аналізу характеристик і особливостей конструкцій суден-прототипів; аналізу можливостей застосування цивільних суден за подвійним призначенням і використання багатоцільових суден сучасного флоту;
- проведенні порівняльної оцінки енергоозброєності морських суден різного цільового призначення для обґрунтування потужності суднової енергетичної установки (СЕУ) БСДФ льодового класу (ЛК);
- визначенні необхідних характеристик й особливостей конструкції БСДФ ЛК, призначеного для функціонування у внутрішніх територіальних водах України;
- обґрунтуванні теми дослідження, концепції створення з урахування ЖЦ, визначення методик та концепцій проектного синтезу БСДФ ЛК з визначенням напрямків рішення загальної задачі проектного синтезу судна;
- визначенні ТТХ і вимог до БСДФ ЛК; обрання архітектури судна, оцінці його основних проектних параметрів, характеристик, впливу глибини фарватеру Українських територіальних вод на морехідні якості;
- удосконаленні методики: оцінювання кригопрохідності БСДФ; інтегральних оцінювань якості конкуруючих проектних і техніко-економічних рішень, застосованих під час синтезу і створенні судна; експертного аналізу ТТХ і головних впливових факторів, організаційних процедур синтезу, виготовлення, технічної експлуатації, обслуговування і ремонту (ТЕОР) синтезованого БСДФ ЛК; визначення показників підвищення ефективності ТЕОР БСДФ ЛК; системи стабілізації БСДФ ЛК на курсі.

**Об'єктом дослідження** є процеси синтезу, експлуатації і ефективного управління багатоцільовим судном льодового класу, призначеним для використання у допоміжному флоті територіальних вод України.

**Предметом дослідження** є методики, направлені на підвищення ефективності синтезу, експлуатації і управління багатоцільовим судном льодового класу.

**Методи дослідження.** У дисертаційному дослідженні для пошуку рішень поставлених завдань були застосовані методи: а) системного аналізу і методології наукових досліджень, при виборі й обґрунтуванні теми дисертаційної роботи, під час розробки структури і технології наукового дослідження; б) теорії будови судна, під час синтезу конструкції і визначенні оптимальної, з позицій виконання спеціальних і багатоцільових завдань, архітектури БСДФ ЛК; в) теорії автоматичного керування, при побудові системи стабілізації курсу БСДФ ЛК; г) експертних оцінок, нечіткої-логіки і підтримки прийняття рішень при обранні найкращих організаційних, техніко-економічних і конструктивних рішень, тендерних пропозицій, оцінці ТТХ БСДФ ЛК.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному.

1. Уперше запропоновано концепцію створення БСДФ ЛК, що відрізняється від відомих урахуванням вже на етапі аван-проекування судна не тільки необхідних його ТТХ, а й основних стадій ЖЦ, включаючи особливості (місце, імідж, вартість, тривалість, якість та ін.) проектування, побудови, технічної експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, що дозволяє підвищити інтегральний показник якості (конкурентоспроможність) судна ще до моменту здачі його в експлуатацію.

2. Уперше запропоновано розглядати концептуальні моделі/методики синтезу БСДФ ЛК як цілісний комплекс причинно-наслідкових зв'язків, чинників, техніко-експлуатаційних і техніко-економічних характеристик основного етапу ЖЦ судна, які відрізняються використанням гіпотези про існування такого режиму управління БСДФ ЛК, під час якого здійснення роботи з подолання льодового опору не призводить до деформації конструкції судна і забезпечує доцільне і цілеспрямоване перетворення вихідної ситуації в кінцеву і пов'язане з метою дослідження.

3. Удосконалена методика експертних оцінювань при визначенні найкращих проектних і тендерних рішень, при оцінюванні ТТХ характеристик і параметрів БСДФ ЛК, яка відрізняється від відомих методик однозначним трактуванням експертних висновків, що дозволяє аргументовано визначати необхідні вагові коефіцієнти і визначати найбільш вагомі фактори у системах підтримки прийняття рішень.

4. Удосконалена методика ідентифікації параметрів моделі судна, яка відрізняється від відомих урахуванням результатів *DMI* моделювання, що дозволило синтезувати систему управління рухом судна у режимах його стабілізації на курсі під час дії різноманітних збурювань та забезпечити більш ефективну його експлуатацію.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає у тому, що отримані у дисертації основні результати можуть використатися при

концептуальному визначенні загальної архітектури і ТТХ багатоцільових суден допоміжного флоту, у тому числі – подвійного призначення, при їх проектуванні, побудові і експлуатації, а також можуть бути застосовані під час навчання курсантів ЗВО, при підвищенні кваліфікації фахівців морського і річкового транспорту, суднових механіків і судноводіїв.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені: а) у виробничу діяльність Приватного акціонерного товариства "Українське Дунайське пароплавство" (ГВСП "База технічного обслуговування флоту", акт впровадження від 29.05.2018 р.); б) у виробничу діяльність Публічного акціонерного товариства "Чорноморсуднопроект" (акт впровадження від 29.05.2018 р.); в) у навчальний процес Національного університету "Одеська морська академія" під час викладання дисципліни "Теорія і устрій судна" (акт впровадження від 14.02.2017 р.). Також, матеріали дисертаційного дослідження використані у держбюджетних наукових дослідженнях Національного університету "Одеська морська академія".

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно, без співавторів їм проведений інформаційний пошук і виконаний аналіз основних підходів розв'язання проблеми функціонування багатоцільових суден, забезпечене методологічне обґрунтування дисертаційного дослідження, розроблено і запропоновано метод підвищення ефективності управління судном за наявності збурювань, удосконалені методики експертного оцінювання і підтримки прийняття рішень при синтезі конструкції, реалізація засобами тендерів, оцінювань якостей і ТТХ, виконане імітаційне моделювання режимів циркуляції, розраховані конструктивні параметри судна, упроваджені результати роботи у виробничу діяльність.

З основних профільних наукових робіт [1-8], опублікованих у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення і результати, які належать автору особисто: методика оцінювання хідкості і остійності судна, яке функціонує в умовах обмеженого фарватеру [1]; оцінка основних характеристик кригопрохідності суден при їх роботі у територіальних водах України [2, 3]; удосконалення принципів експертного оцінювання параметрів і характеристик при проектуванні і побудові суден [4]; уточнення коефіцієнтів і методик розрахунку при проектуванні БСДФ ЛК, з елементами розрахунку математичних моделей при вирішенні задач непротиворічного проектування судна [5]; удосконалення методики ідентифікації параметрів математичної моделі судна використанням принципів Лежандра [6]; удосконалення методики аргументування та підтримки прийняття рішень при забезпеченні ремонту і експлуатації суден цілеспрямованим перетворенням вихідної ситуації в кінцеву [7]; удосконалення структури системи стабілізації курсу судна за рахунок додаткових зворотних зв'язків у системі управління автокермовим судна [8].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати і положення роботи доповідались, обговорювались і були схвалені на наступних науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях і заходах.

"Енергетика судна: експлуатація та ремонт", 05-07 квітня 2011 р. – Одеса: ОНМА. "Забезпечення безаварійного плавання суден", 16-17 листопада 2011 р.

– Одеса: ОНМА. "Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека", 2012 і 2013 роки. – Одеса: ОНМА. "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві", 2015 і 2016 роки. – Одеса: НУ "ОМА". Науковий семінар "Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок" Вченої Ради Національної академії наук України з проблеми "Наукові основи електроенергетики". – Одеса: Військова академія, 2015 – 2017 роки. "Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація", 16-17 листопада 2017 р. – Одеса: НУ "ОМА". "Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту", 7 грудня 2017 р. – Ізмаїл: Дунайський інститут НУ "ОМА". "Актуальні проблеми суднової електроенергетики, електромеханіки та радіоелектроніки", 11-12 січня 2017 р. – Одеса: НУ "ОМА". *4-th International Scientific Conference "SEA-CONF 2018", May, 2018, Constanta, Romania.*

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 18 наукових праць (з них 4 одноосібні). Зокрема, 8 основних публікацій у наукових профільних виданнях (з них 7 публікацій, що входять до переліку рекомендованих МОН України і 1 публікація, що входить до наукометричної бази даних *Scopus*), а також 10 доповідей у збірниках матеріалів науково-технічних, науково-практичних і науково-методичних конференцій.

**Обсяг і структура роботи.** Дисертація складається з переліку умовних скорочень, анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 230 сторінок, де крім основного тексту містяться 30 рисунків і 57 таблиць. Список використаних джерел має 156 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено існуючу проблему й обґрунтовано актуальність теми дисертації, охарактеризовано їхні зв'язки з науковими програмами й темами. Сформульовано мету, завдання й застосовані методи досліджень, виділені предмет і об'єкт досліджень. Викладено новизну й практичне значення отриманих наукових результатів. Наведено дані про публікації й апробацію роботи, охарактеризовано особистий внесок здобувача. Наведені відомості про впровадження наукових результатів.

У **першому розділі** "*Термінологія, можливості створення та вимоги до багатоцільових суден допоміжного флоту*", на основі аналізу літературних і нормативних джерел інформації, проведено уточнення використаних термінів "ефективність", "експлуатація", "допоміжний флот". Сформовано загальну структуру експлуатації і системи експлуатації БСДФ для водних шляхів України, оцінено вплив факторів морального старіння при його проектуванні і визначенні необхідних ТТХ. Проведено ретроспективний аналіз можливостей застосування цивільних суден за багатоцільовим, у тому числі – подвійним призначенням (ПП), охарактеризовані існуючі багатоцільові і універсальні судна і кораблі, проведена порівняльна оцінка їх ТТХ і функціональних можливостей. У ході аналізу особливостей проведення реновації та конверсії

існуючих суден цивільного флоту доведена недоцільність цих заходів для допоміжного флоту України.

Для ефективного використання у внутрішніх водах України БСДФ, для цілей обґрунтування його мінімально-необхідного льодового класу, проведено статистичний аналіз забезпеченості можливостей судноплавства у зимову навігацію на Чорному і Азовському морях [2, 3]. З метою аргументованого обґрунтування необхідної потужності СЕУ БСДФ проведена порівняльна оцінка енергоозброєності морських суден різного типу, у тому числі суден типу "річка-море" різного цільового призначення. Проведено аналіз характеристик і особливостей конструкції суден-прототипів БСДФ ЛК, попередньо визначені його необхідні основні характеристики, функції та особливості конструкції.

У **другому розділі** "*Обґрунтування концепції створення судна з урахуванням його життєвого циклу. Вибір теми й синтез конструкції*", на основі аналізу техніко-технологічних можливостей основних морських торговельних портів (МТП) України та статистичних даних їх роботи за сезонами року, доведена необхідність і економіко-політична доцільність забезпечення: а) функціонування МТП України у повному обсязі протягом року; б) можливості ефективного проведення спеціальних операцій на внутрішніх водах у льодовий період року. Аналіз стандартів *ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering – Life cycle processes, P 50-605-80-93*, а також моделі управління матеріально-технічним забезпеченням (МТЗ) флоту Міністерства Оборони США, доводить, що ЖЦ такої складної технічної системи (СТС), як БСДФ ЛК, визначається не періодом його існування, а процесами послідовної зміни його стану. Використав цю ідеологію, визначено, що ЖЦ БСДФ і система управління його МТЗ складаються з етапів: 1) аналізу рішень, вимог і створення концепції побудови судна; 2) розробки технологій; 3) інженерно-конструкторської і виробничої розробки з прогнозуванням і упередженням; 4) будівництва й розгортання; 5) функціонування (експлуатації), за умови використання ефективної системи підтримки прийняття рішень (ППР) на всіх етапах ЖЦ судна. Саме ці етапи ЖЦ є складовою дослідження.

Визначення факторів, що обмежують швидкість руху одиночного судна у кризі дозволило простежити хронологію зміни коефіцієнту складності  $K_m$  плавання й отримати його середні (багаторічні) типові значення, визначити терміни можливого початку й закінчення льодового плавання (розділ 1). Це дозволило відібрати для детального аналізу основні судна-прототипи (криголам "Капітан Білоусов" та універсальне судно "*Arcticaboarg*") та на їх основі сформулювати загальні ТТХ судна, висунути у якості вимог низку функцій і завдань, які повинні виконуватися. Основні функції БСДФ ЛК: криголам; пожежне та аварійно-рятувальне судно; судно ремонту й відновлення; плавбаза постачання шкіперсько-технічного обладнання і майна; участь у міжнародних навчаннях; судно-кілектор; мале десантне або артилерійське судно.

Показано, що несуперечливе проектування (синтез) БСДФ ЛК необхідно розділити на етапи: а) комплексного вивчення проблеми; б) компромісного узгодження вимог до судна, як до складної технічної, сінергетичної, системи.



Визначені етапи створили зустрічно-паралельний шлях дослідження: *a)* від встановлення загальних вимог до БСДФ, до приватних інженерно-конструкторських рішень і, *б)* від наявних технологічно-доступних рішень до максимально найкращої, компромісної (за цільовим призначенням) архітектури БСДФ у цілому (синтез "знизу-догори"). Всі методики та концепції проектного синтезу БСДФ ЛК основані на відомих концептуальних рішеннях несуперечливого проектування й синтезу конструкцій багатофункціональних і універсальних суден (Г. В. Єгоров, В. М. Храмушин, О. С. Огай, І. А. Ільницький, В. І. Тонюк, Н. В. Автутов, *E. Rizzuto, J. Downes, M. Radon* і інші).

Наприклад, у дослідженні розрахунок й оцінка опору руху судна здійснені з порівнянням різних методів (Холтропа-Меннена, В. М. Штумпфа, Ю. А. Будницького, "Атласу діаграм"); коефіцієнт опору тертя оцінений за формулою Прандтля-Шлихтинга для турбулентного режиму (пласка пластина); опір форми судна – за формулою Папмеля; оцінка хвильового опору – на основі спрощення інтегралу Мічелла. Ураховано, що експлуатація БСДФ ЛК пов'язана з його рухом на ділянках обмеженого за глибиною фарватеру [1]. У мілководді й вузькостях складніше утримати курс, значно погіршується маневреність та чутливість до перекладки стерна, збільшується діаметр циркуляції, шлях і час гальмування. Саме тому у мілководді погіршення характеристик ураховано при глибинах, що визначаються формулою Г. Е. Павленка. Названі чинники є обмежувальними, а характеристики маневреності тим гірше, чим менше відношення  $H/T$  (глибини фарватеру  $H$  до осадки  $T$  судна), що ураховано під час встановлення розмірних БСДФ. Для оцінки просадки застосовано формулу Рьоміша, методом Шліхтинга-Лендвєбера оцінено повний опір  $R$  на мілководді. За несприятливих погодних умов втрату швидкості  $\Delta v$  оцінено за формулою Аертсена. Для визначеного району плавання втрату швидкості судна оцінено на основі статистичних вітро-хвильових даних [2, 3]. Вплив мілководдя й вузькості при оцінці характеристик хідкості ітераційно уточнювався.

Практично на всіх основних етапах ЖЦ БСДФ ЛК (етапах синтезу конструкції, створення, технічної експлуатації) використано структурний аналіз систем (САС), що базується на теорії відношень. Особливістю його застосування є те, що, використовуючи мінімум первинних даних, САС надає якісно достовірні результати і дозволяє порівнювати між собою різні варіанти проектів вже на ранніх стадіях (аван-проекти). Це дозволяє усунути принципові помилки проектування, створення та технічної експлуатації, тобто майже усього ЖЦ. Використання САС дозволило, крім низки специфічних можливостей подання та опису, встановлювати значимість окремих елементів і параметрів, зв'язків між ними, оцінити якість синтезу, формулювати рекомендації з його цілеспрямованого покращення. Саме з цією метою використовується кількісний показник значущості – ранжирування. Установлення рангу (запропонованими методами експертних оцінювань Харрінгтона) дозволило усунути суб'єктивну якісну оцінку значущості (ваги) і перевести її у кількісну, що однозначно трактується (див. розділ 4).

Під час розробки концепції БСДФ використано принципи й методи експертного оцінювання, якими також враховувалася необхідність льодової

проводки каравану суден у відкритому морі, каналах і акваторіях портів, здійснення пошукових, рятувальних, буксирних, пожежних, інших і спеціальних операцій у забровочній акваторії [2, 3]. Встановлено, що однією з головних вимог до БСДФ є його здатність до подолання суцільних льодових перемичок товщиною, не менш, ніж 0,5 м. Для цього застосовано технологію подолання "важких" льодів, що заснована на створенні геометрії корпусу судна, сформованої у вигляді складної поверхні двоякої кривизни, орієнтованої щодо просторових координат.

У ході вирішення загальної задачі проектування визначають (за певних умов плавання), чисту вантажопідйомність або дедвейт  $DW$ , швидкість  $v$  або потужність головних двигунів  $N_e$ , головні розмірення судна ( $L, B, H, T$ ) і коефіцієнти повноти ( $\alpha, \beta, \delta$ ). Під час вирішення завдання проектного синтезу варіюємо значеннями вантажопідйомності, швидкості й місткості  $W_c$ , домагаючись необхідного результату з урахуванням забезпечення необхідної міцності корпусу і навігаційних якостей. Встановлено зв'язок незалежних змінних з вихідними даними (з урахуванням обмежень і меж їх зміни), з головними розмірними і безрозмірними характеристиками форми корпусу, розкрити взаємозв'язки між основними параметрами та властивостями судна, а також між параметрами та прийнятими критеріями оптимізації [4, 5].

Під час призначення граничної зміни відношення  $B/T$  враховано досвід проектування у частині забезпечення остійності й хитавиці судна. Під час вибору діапазонів зміни відношення  $L/H$  використані правила класифікаційних товариств, що формулюють вимоги до конструкції та міцності суден. Теоретичне креслення БСДФ синтезовано методами моделювання ліній перетину поверхні корпусу площинами, паралельними головним площинам судна за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Для БСДФ, відносно його архітектури, критерій оптимізації надано у функції багатокомпонентних параметрів: складанню математичної моделі передував відбір параметрів і ТТХ. Їх перелік  $P_{ij}(X)$  встановлюється у кожному конкретному випадку, а змінні  $x_i$  компонента  $X$  відібрано з числа питомих параметрів і ТТХ так, щоб: а) була збережена залежність змінних; б) їхня кількість була мінімальною. Для цього уведено функціонали оцінок:  $F_1 = L/B$  – хідкості й повороткості;  $F_2 = L/H$  – загальної міцності;  $F_3 = B/T$  – остійності, хідкості й повороткості;  $F_4 = H/T$  – непотоплюваності й остійності. Порівняльні результати синтезу наведені у табл. 1.

**Таблиця 1. Порівняння значень функціоналів  $F_i$  для суден-прототипів**

Назва судна	Співвідношення й характер їхнього впливу			
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
"Капітан Білоусов"	4,1	8,2	2,0	1,5
"Articaboard"	3,7	13,8	3,7	1,5
БСДФ ЛК	3,7	10,6	2,8	1,8
Проміжні значення для 80-аналізованих суден-прототипів (Додаток А)	3,5...4,8	6,6...9,2	2,4...3,2	1,3...1,5

У третьому розділі "Оцінка основних синтезованих параметрів і характеристик багатоцільового судна допоміжного флоту льодового класу", на основі синтезованих у розділі 2 конструкційних параметрів, повністю сформульовані тактико-технічні вимоги до судна, що забезпечують його ефективну усісезонну експлуатацію на внутрішніх водах України [4, 5]. З урахуванням цих вимог та за допомогою класичних методів розрахунків, проведено повірочне оцінювання: а) сумарної ваги постачання, запасів палива та мастил, дедвейту, місткості; б) потужності СЕУ; в) остійності; г) впливу глибини фарватеру [1] на морехідні якості; д) кригопрохідності у неарктичних морях. Оцінка буксирувального опору і потужності (з оцінюванням льодового опору судна у суцільній крупнобитой кризі) здійснена альтернативними методами (Холтропа і Будницького) для наступних вихідних даних, визначених з синтезованих у другому розділі креслень і варіативних характеристик судна.

1. Довжина по конструктивній ватерлінії,  $L_{квл} = 70,50$  м. 2. Довжина між перпендикулярами,  $L = 67,70$  м. 3. Об'ємна водотоннажність,  $W = 2863$  м<sup>3</sup>. 4. Вагова водотоннажність,  $\Delta = 2935$  т. 5. Осадка носом,  $d_n = 3,50$  м. 6. Осадка: середня,  $d_m = 3,50$  м; кормою,  $d_k = 3,50$  м. 8. Коефіцієнт загальної повноти,  $\delta = 0,664$ ; коефіцієнти повноти: мідель-шпангоута,  $\beta = 0,903$ , конструктивної ватерлінії,  $\alpha = 0,858$ . 9. Площа змоченої поверхні,  $S = 1240$  м<sup>2</sup>. 10. Площа виступаючих частин,  $F_g = 5,0$  м<sup>2</sup>. 11. Інтервал швидкостей,  $V = 2,0 \dots 20,0$  вузл.

Визначено, що встановлення двох поворотних колонок ( $2 \times 2300$  кВт) забезпечать рух судна зі швидкістю 8,0 вузлів у суцільних льодах товщиною до 0,5 м. Гідростатичні таблиці, масштаб Бонжана й інтерполяційні криві остійності форми, плечі остійності форми (пантокарени) для БСДФ ЛК розраховані за допомогою програмного забезпечення, створеного на основі договору між НУ "ОМА" і ОНМУ (договір від 12.11.2014 р.).

Згідно нормативних вимог здійснено оцінювання остійності для типових варіантів навантаження судна. Для різних варіантів навантаження розраховані: а) координати центра ваги судна; б) характеристики посадки; в) початкова остійність. Для відібраних варіантів завантаження БСДФ проведено оцінювання остійності судна за критерієм погоди, побудовані діаграми  $l(\theta)$  статичної остійності (плече остійності –  $l$ , м і кут нахилу –  $\theta$ , град) БСДФ ЛК. Аналіз результатів проведено відповідно до Резолюції ІМО А.749 (18) "Кодекс вимог до остійності непошкодженого судна".

**Таблиця 2. Програма льодових випробувань БСДФ**

Режим ходу	Вид випробувань на глибокій воді
Повний передній (ПП)	Суцільна крига заданої товщини, м. Прямолінійний рух, потужність СЕУ 100 %.
Повний задній (ПЗ)	Суцільна крига заданої товщини, м. Прямолінійний рух, потужність СЕУ 100 %.
ПП, ПЗ	Чиста вода, хвилювання 0...2 бала, вітер до 5 м/с, прямолінійний рух, потужність СЕУ 100 %.
ПП, ПЗ	Суцільна крига заданої товщини, м. Циркуляція, потужність СЕУ 100 %. Стан стерна, град: мінімум - середнє - максимум.
ПП, ПЗ	Суцільна крига заданої товщини, м. Розворот на 180° маневром "ялинка", маневром "зірка". Потужність СЕУ змінна, до 90 %.

Таблиця 3. Технічні характеристики порівнюваних суден

Найменування характеристики	"Капітан Белоусов"	"Arctica-boarg"	БСДФ ЛК
Довжина судна між перпендикулярами, $L_{m1}$ , м	77,50	60,60	67,70
Ширина судна, $B$ , м	18,70	16,40	18,20
Висота судна, $D$ , м	9,50	4,40	6,40
Осадка судна, $d$ , м	6,20	2,90	3,50
Вагова водотоннажність, $\Delta$ , т	4500	2015	2935
Об'ємна водотоннажність, $W$ , м <sup>3</sup>	4390	1966	2863
Сумарна потужність СЕУ, $N$ , кВт	13760	3900	> 4600
Експлуатаційна швидкість, $v$ , вузл	16,5	13,0	16,0
Гребних гвинтів судна, шт.	4	2	2
Членів екіпажу	85	42	45 (+24)

Вплив глибини фарватеру [1] на морехідні якості БСДФ ЛК оцінювався з урахуванням критичної швидкості  $v_k = (c \cdot g \cdot H)^{0,5}$ , вузл ( $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – глибина акваторії, м;  $c$  – коефіцієнт) і осадки, а просідання корми під час руху на мілководді – за діаграмою Ю. Л. Воробйова. Після оцінювання льодопрхідності БСДФ ЛК у Азово-Чорноморському басейні (категорія – неарктичні моря) удосконалена методика побудови кривих льодопрхідності і запропонована спрощену програму льодових випробувань БСДФ ЛК (див. табл. 2).

Зі проведених оцінок основних параметрів і характеристик БСДФ ЛК можна стверджувати, що синтезоване судно, у порівнянні з суднами-прототипами, має всі необхідні льодові властивості, володіє універсальністю застосування і добрими морехідними якостями (див. табл. 3).

У **четвертому розділі** "Підтримка прийняття рішень у життєвому циклі багатоцільового судна допоміжного флоту льодового класу" запропоновано методику підтримки прийняття рішень при інтегральному оцінюванні якості конкуруючих проектних і техніко-економічних рішень, застосованих під час аван-проекування, синтезу, створення, ТЕОР БСДФ ЛК.

На основі сформульованого тезису, що якість – сукупність таких властивостей засобу, які пов'язані з результатом [4, 5], а не з понесеними при цьому витратами, і які виявляються у процесі експлуатації засобу відповідно до його цільового призначення (*ISO 9000-9004, ISO 8402*), визначено, що: а) якщо БСДФ успішно виконує спеціальні завдання, які мають суттєве політичне, соціальне й т. ін. значення, має високі вимірювані якісні властивості й тому відношення "вартість виконаного завдання" / "витрати" неможливо розрахувати, тому що чисельник цього дробу майже неможливо визначити у грошовому еквіваленті; б) найважливішим для БСДФ, до 80 % ваги сумарної якості, є якість підготовки проектного рішення, концепції його побудови, що пояснюється тим, що основні складові (якість матеріалів, робіт, дотримання норм і т. ін.) легко контролюються замовником (державою).

Запропоновано використати відносний безрозмірний показник властивості  $K_i$ , який відображає ступінь наближення абсолютного показника властивості  $Q_i$  до еталонного показника  $Q_i^{em}$ , і показника браку  $Q_i^{bp}$ , які характеризують

найвищий і найнижчий рівні оцінювання [4]. Відносний показник  $K_i$  описується залежністю  $K_i = f(Q_i, Q_i^{em}, Q_i^{op})$ , яка у разі застосування методів кваліметрії нормується функцією:  $K_i = \frac{Q_i - Q_i^{op}}{Q_i^{em} - Q_i^{op}}$ . Для зіставлення за відносною важливістю обраних з дерева властивостей окремих показників, використані безрозмірні коефіцієнти ваги властивостей  $G_i$  (прийнято  $0 < G_i < 1$ , а  $\sum_{i=1}^n G_i = 1$ ). Значення коефіцієнтів ваги визначені із залученням різновидів експертного, аналітичного методів і їх комбінацій за допомогою безрозмірної шкали Харрінгтона сформованої на основі виразу для шкали переваг  $y(x)$ :  $y(x) = e^{-E}$ , де  $E = e^{-\alpha x}$  – функція визначення лінгвістичної змінної;  $\alpha$  – коефіцієнт "жорсткості" вимог експертів.

Кількісна оцінка якості, у цілому, виражається за допомогою спрощеного показника якості  $K_{jя} = K_{je} \cdot \sum_{i=1}^n K_i \cdot G_i$   $K_{jя} = \varphi(K_i, G_i, K_{je})$ , де  $K_{je}$  – коефіцієнт рівня ефективності  $j$ -го об'єкту ( $0 \leq K_{je} \leq 1$ ). Окрім якості проекту, його складових, побудованого спецзасобу й т. і ураховуються витрати на його створення, виробництво і експлуатацію, та сукупні витрати (наведені витрати). Саме тому замість показника якості використовується інтегральний показник якості, визначення значень якого ґрунтується на тих самих принципах, що наведені вище.

**Таблиця 4. Чинники, спосіб оцінки, можливості керування та група**

№	Фактор, характеристика	Позначення	Спосіб оцінки	Керованість	Група факторів і ТТХ
1	Місце проектування, імідж проектувальника	F1	НЧ	ПК	З
2	Моральний знос БСДФ на етапі його проектування	F2	НЧ	НК	З
3	Місце споруди, імідж судноверфі й постачальників	F3	НЧ	ПК	З
4	Вартість проекту, вартість будівництва	F4	НЧ	НК	З, Е
5	Багатофункціональність, універсальність, можливість виконання БСДФ спеціальних завдань	F5	НЧ	ПК	ТЕ
6	Дедвейт і модуль	F6	ОД	ЧК	ТЕ
7	Льодовий клас	F7	ОД	ПК	ТЕ
8	Дальність, автономність, райони плавання	F8	ОД	ЧК	ТЕ
9	Енергетична ефективність та експлуатаційні витрати	F9	ОД	ЧК	Е
10	Відповідність міжнародним конвенціям, правилам, витрати на огляд	F10	НЧ	НК	В, Е
11	Швидкість	F11	ОД	ЧК	ТЕ
12	Строк служби	F12	ОД	ЧК	ТЕ
13	Чисельність екіпажу	F13	ОД	ЧК	ТЕ
14	Спеціальне оснащення, можливість установки активного озброєння, обладнання, систем	F14	ОД	ПК	ТЕ
15	Середньорічні витрати на ремонт	F15	ОД	НК	Е
16	Тривалість ремонтного циклу	F16	ОД	ЧК	Е
17	Тривалість міжремонтних періодів	F17	ОД	ЧК	Е
18	Місце ремонту	F18	НЧ	ПК	З
19	Тривалість ремонту	F19	НЧ	ЧК	Е
20	Вартість і якість ремонту	F20	НЧ	ЧК	Е

У якості спрощеного прикладу експертного аналізу ТТХ і визначення основних впливових факторів проектування, виготовлення, технічної експлуатації синтезованого БСДФ ЛК, на основі висновків експертів, згруповані (див. табл. 4) оцінювані чинники, спосіб оцінки, можливості керування та група факторів (оцінка: *НЧ* – нечітка, *ОД* – однозначна; керованість: *ПК* – повністю керований, *ЧК* – частково керований, *НК* – некерований; група факторів: *ТЕ* – техніко-експлуатаційні, *Е* – економічні, *З* – зовнішні).

Для СТС, сукупність змінних (оцінки експертів) характеризується не двома, а кількома послідовностями рангів, де необхідно встановити статистичний зв'язок між ними. Для встановлення інтегрального рангу застосовано метод кореляції *RCM* (*Rank Correlation Method*, метод Кендалла). При використанні коефіцієнту конкордації Кендалла методу *RCM*, часто не враховують ранги, пов'язані одним експертом (тобто такі, для яких експерт дає однаковий ранг різним факторам). Встановлено, що визначення коефіцієнту конкордації без поправочних коефіцієнтів  $H_j$  і перевірки на статистичну значущість приводить до суттєвих помилок. Саме тому застосовано множинний коефіцієнт кореляції  $W$  – коефіцієнт конкордації рангів М. Кендалла (*CC* – *coefficient of concordance*):

$$W = \frac{S}{\frac{m^2}{12} \cdot (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m H_j},$$

де:  $m$  – число експертів у групі;  $n$  – число чинників, що враховуються;  $S$  – сума других ступенів різниць експертних оцінок впливових факторів від їх середніх значень, визначених у припущенні рівнозначності рангів;  $n = 20$  – число

аналізованих у прикладі чинників;  $H_j = \frac{1}{12} \sum_{l=1}^l (h_j^3 - h_j)$  – поправка, що враховує

пов'язані (однакові) ранги у оцінках кожного  $j$ -го експерта ( $l = m$ ). Суми других ступенів різниць відхилень  $S$  розраховані за очевидним виразом:

$$S = \sum_{F_i = F_1}^{F_i = F_{20}} \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{F_i = F_1}^{F_i = F_{20}} a_{ij}}{n} \right)^2 = \sum_{F_i = F_1}^{F_i = F_{20}} \Delta^2_{F_i},$$

де  $a_{ij}$  –  $i$ -оцінка  $j$ -експерта, яка, за необхідності, може бути перекладена у однозначний числовий вираз *ОД* за допомогою шкали Харрінгтона.

Наведено спрощений приклад визначення основних впливових на кінцеву мету (створення і ефективну експлуатацію БСДФ) факторів, сформований на підґрунті аналізу висновків двох груп експертів. Основні результати використання наведеної методики наведені у табл. 5.

На прикладі визначення найкращої з конкуруючих, за інтегральним показником, організації, що виконує ТО і Р БСДФ ЛК, запропоновано методику підвищення ефективності експлуатації, обслуговування, ТО і Р суден [4, 7].

Нехай  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$  – множина  $n$ -організацій, з яких потрібно відібрати одну з найкращими параметрами на основі інтегральної оцінки, а  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  – множина характерних  $m$ -параметрів, що описують характеристики й можливості здійснення виробничої діяльності  $n$ -організацій з

множини  $O$ . Необхідно ранжувати елементи універсальної множини  $O$  у порядку інтегральної переваги. Шкалу розмірностей прийнято на інтервалі дійсних чисел  $[0, 1]$ .

**Таблиця 5. Вичленовані найбільш впливові фактори і характеристики**

Позначення	Фактор, характеристика	Ранги, за групами експертів		Сума рангів	Фактор, керування
		1 гр.	2 гр.		
<i>F5</i>	Багатофункціональність, універсальність, можливість виконання спец. завдань	74	68	142	ТЕ, ЧК
<i>F14</i>	Спеціальне оснащення, можливість установки активного озброєння	72	69	141	ТЕ, К
<i>F7</i>	Льодовий клас	73	64	137	ТЕ, К
<i>F3</i>	Місце споруди, імідж судноверфі і постачальників	60	60	120	Е, К
<i>F1</i>	Місце проектування, імідж проектувальника	57	62	119	Е, К
<i>F11</i>	Швидкість	56	56	112	ТЕ, ЧК
<i>F20</i>	Вартість і якість ремонту	49	61	110	З, Е
<i>F9</i>	Енергетична ефективність та експлуатаційні витрати	50	60	110	Е, ЧК

Для кожної організації постачальника послуг з ТО і Р суден вважаємо, що  $o_i \in O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$  при  $i = 1, n$ , за значенням кожного параметра  $p_j \in P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  при  $j = 1, m$ , встановлює числову оцінку  $\mu_j(o_i) \in [0, 1]$ . Така оцінка визначає, наскільки організація з множини  $O$  вище або нижче найкращої за  $j$ -м параметром на основі мінімаксного принципу порівняння.

Використав принципи нечіткої логіки, вважаємо, що кожна з організацій  $o_i$ , з універсальної множини  $O$ , описана не різнорідними значеннями характеристик і параметрів, а низкою відповідних ним числовими оцінками  $\{\mu_1(o_i), \mu_2(o_i), \dots, \mu_m(o_i)\}$ , вимірюваних на інтервалі  $[0, 1]$ , тобто у відповідних ступенях приналежності. Урахуємо, що перетин  $\cap$  нечіткої множини дає нечітку підмножину з функцією приналежності, що є мінімумом функцій приналежності  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ , а поєднання  $\cup$  нечітких множин дає нечітку підмножину з функцією приналежності, що є максимумом функцій приналежності  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ . Так для будь-якого параметру  $p_j \in P$  знаходимо характеризуюче значення (мінімум/максимум) усередині ступенів належності  $\{\mu_1(o_i), \mu_2(o_i), \dots, \mu_m(o_i)\}$ , що дозволяє об'єктивно порівнювати й оцінювати кожну з організацій за цим параметром [7]. Для використання зазначених властивостей нечітких множин у результуючих інтегральних оцінках, уявімо нечітку множину, що задана на універсальній множині  $O$ , як:

$$\dot{p}_j = \left\{ \frac{\mu_j(o_1)}{o_1}, \frac{\mu_j(o_2)}{o_2}, \dots, \frac{\mu_j(o_n)}{o_n} \right\},$$

де функція приналежності  $\mu_j(o_i)$ , характеризує  $i$ -організацію на універсальній множині  $o \in O$ . Ранжирування відбувається з урахуванням вагових коефіцієнтів  $g_j$ , визначених експертами (або за способом "найгіршого значення")

$$\mu_{\dot{p}}(o_i) = \sum_{j=1}^m g_j \cdot \mu_j(o_i), \text{ де } g_1 + g_2 + \dots + g_m = 1. \text{ Вагові коефіцієнти } g_1, g_2, \dots, g_m$$

характеризують відносну важливість кожного з параметрів  $p_j \in P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  у значенні функції приналежності  $\mu(o_i)$  у діапазоні значень  $[0, 1]$  для кожної організації з множини  $o_i \in O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ . Результатом перетину нечітких множин

$$\cap P = \{\dot{p}_1 \cap \dot{p}_2 \cap \dot{p}_3 \cap \dot{p}_4 \cap \dot{p}_5 \cap \dot{p}_6 \cap \dot{p}_7 \cap \dot{p}_8 \cap \dot{p}_9\}$$

відповідно є нечітка множина  $\dot{p}_j$ . Послідовність вибору найкращої організації пояснюється таблицями 6, 7, 8, де у результаті визначена нечітка множина:

$$\cap P = \left\{ \frac{0,093}{o_1}, \frac{0,135}{o_2}, \frac{0,116}{o_3}, \frac{0,046}{o_4}, \frac{0,072}{o_5}, \frac{0,092}{o_6} \right\}.$$

**Таблиця 6. Загальні параметри оцінювання організацій забезпечення ТО і Р**

Параметр	Опис параметру, характеристики	Шкала, одиниця виміру
$p_1$	Якість дефектації	{Дуж. Низька; Низька; Середня; Висока; Дуж. Висока}
$p_2$	Строки дефектації	{0, ∞}, днів
$p_3$	Вартість ТО і Р	{0, ∞}, тис. грн.
$p_4$	Строки ТО і Р	{0, ∞}, днів
$p_5$	Імідж організації	{Дуж. Низька; Низька; Середня; Висока; Дуж. Висока}
$p_6$	Умови сплати дефектації, ТО і Р	{Передоплата; Кредит; За фактом}
$p_7$	Сервісне, гарантійне обслуговування, інфраструктура	{Дуж. Низька; Низька; Середня; Висока; Дуж. Висока}
$p_8$	Віддаленість	{Дуж. Далеко; Далеко; Недалеко; Дуж. Близько}
$p_9$	Матеріально-технічний і фінансовий стан	{Дуж. Низький; Низький; Середній; Високий; Дуж. Високий}

**Таблиця 7. Приклад визначених параметрів оцінки організації щодо забезпечення ТО і Р**

Параметр	Організація					
	$o_1$	$o_2$	$o_3$	$o_4$	$o_5$	$o_6$
	<b>Оцінка організацій з забезпечення ТО і Р</b>					
$p_1$	С	В	С	ДВ	В	ДВ
$p_2$	13	13	12	18	17	13
$p_3$	1100	1115	1120	1220	1180	1300
$p_4$	31	31	32	37	33	38
$p_5$	С	С	В	ДВ	ДВ	С
$p_6$	ЗФ	КР	ЗФ	ПО	ПО	ЗФ
$p_7$	С	С	С	В	С	ДВ
$p_8$	Дуже близько	Недалеко	Недалеко	Дуже далеко	Недалеко	Далеко
$p_9$	С	В	С	ДВ	В	С



Таблиця 8. Найгірший параметр (НП) і відповідний ранг

Параметр	Організації					
	$o_1$	$o_2$	$o_3$	$o_4$	$o_5$	$o_6$
	Ранг організацій із забезпечення ТО і Р					
$p_1$	НП, 4	7	5	9	8	10
$p_2$	7	7	8	НП, 5	6	7
$p_3$	9	8	8	7	7	НП, 6
$p_4$	9	9	8	5	7	НП, 4
$p_5$	8	НП, 7	9	10	10	8
$p_6$	10	7	10	НП, 2	3	10
$p_7$	8	НП, 7	8	9	8	10
$p_8$	10	9	9	НП, 2	9	4
$p_9$	НП, 6	10	7	9	10	7

Примітка. У табл. 7 позначено: ДН - Дуже Низька; Н - Низька; С - Середня; В - Висока; ДВ - Дуже Висока; ПО - Передплата; КР - Кредит; ЗФ - За Фактом.

Розподіл рейтингів організацій, що забезпечують ТО і Р, наведено у табл. 9.

Таблиця 9. Результуючі рейтинги організацій щодо забезпечення ТО і Р

Організація	Інтегральний показник	Рейтинг	Відносний інтегральний показник
$o_2$	0,135	1	1
$o_3$	0,116	2	0,86
$o_1$	0,093	3	0,69
$o_6$	0,092	4	0,68
$o_5$	0,072	5	0,53
$o_4$	0,046	6	0,34

У реальному оцінюванні використовується більше 30 параметрів організацій, які необхідно урахувати та порівняти. Методика реалізована у середовищі *Microsoft Excel* та апробована низкою тестових прикладів.

У розділі п'ять "Підвищення ефективності функціонування систем управління багатоцільовим судном" показано, що за рахунок використання сучасних систем автоматичного управління курсом (САУК) можливе суттєве скорочення втрат ходового часу (на 3-4 %), збільшення провізної спроможності судна і зниження витрати палива за рейс (на 3-6 %). З метою реалізації ефективних експлуатаційних режимів при стабілізації курсу БСДФ ЛК необхідно попередня ідентифікація моделі судна, на основі якої синтезуються її САУК.

Удосконалено методику ідентифікації параметрів моделі судна на основі виразу Номото (нелінійного диференціального рівняння 2-го порядку):

$$T_1 \cdot T_2 (d^2\omega/dt^2) + (T_1 + T_2) (d\omega/dt) + \omega + H(\omega) = K \cdot \alpha_r + K \cdot T_3 (d\alpha_r/dt), \quad (1)$$

де  $\omega$  – кутова частота (швидкість) судна;  $H(\omega) = v_1|\omega|\omega + v_2\omega^3$  – нелінійна функція кутової частоти; шукані  $T_1, T_2, T_3, K, v_1, v_2$  – параметри математичної моделі (ММ);  $\alpha_r$  – кут перекладки керма.

Особливості пропонованої авторами [6] методики ідентифікації параметрів (1) ґрунтуються на використанні експериментальних характеристик: а) статичної залежності сталої кутової частоти циркуляції  $\omega$  у функції кута перекладки керма  $\alpha_r$ ; б) результатів маневреного випробування "зигзаг". Такі характеристики можуть бути отримані у опитовому басейні – за допомогою зменшеної копії судна, або – за допомогою імітаційного моделювання (DMI),

яке враховує гідродинаміку судна, що й було здійснено у роботі за допомогою спеціалізованого програмного середовища.

З аналізу рівняння (1) видно, що у статичному режимі ( $d\omega/dt = 0$ ) можна записати рівняння  $v_1|\omega_i|\omega_i + v_2\omega_i^3 + \omega = K \cdot \alpha_{ri}$ . Для позитивної циркуляції судна справедливий вираз:

$$v_2 \cdot \omega_i^3 + v_1 \cdot \omega_i^2 + \omega = K \cdot \alpha_{ri}. \quad (2)$$

Розділивши вираз (5.2) на добуток  $(\omega_i \cdot K)$ , отримаємо:

$$v_2 \cdot \omega_i^2 / K + v_1 \cdot \omega_i / K + 1 / K = \alpha_{ri} / \omega_i. \quad (3)$$

Підставивши у (3) декілька різних значень частоти  $\omega_i$  для відповідних кутів перекладки керма, наприклад, 2, 4, 6, ..., 30 градусів, отримаємо систему з  $n$ -лінійних алгебраїчних рівнянь з трьома невідомими  $v_2/K$ ,  $v_1/K$  і  $1/K$ , причому  $n > 3$ . Це перевизначена система (*RF – Redefined System*), яку вирішуємо методом Лагранжа. Саме це дозволило відобразити експериментальну статичну залежність сталої кутової частоти циркуляцій  $\omega$  у функції кута перекладки керма  $\alpha_r$  у вигляді рішення, що згладжує похибки (викиди, шуми) експерименту на усьому діапазоні кутів і частот. Отже, таким чином ідентифіковані три невідомі параметри рівняння (1) –  $K$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ .

Для ідентифікації сталих часу  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  використовуємо метод розкладання у ряд Фур'є вхідного  $\alpha_r$  і вихідного  $\psi$  сигналів з діаграми "зигзаг". З діаграми визначаємо головний період  $T_1 = 1/\omega_1$ , та обмежимося трьома першими непарними гармоніками розкладання. У результаті розкладання у ряди отримаємо для вхідного сигналу три гармоніки. Кожна з гармонік буде характеризуватися амплітудою  $A_{1r}(\omega_1)$ ,  $A_{3r}(\omega_3)$  і  $A_{5r}(\omega_5)$ , а також фазою  $\phi_{1r}(\omega_1)$ ,  $\phi_{3r}(\omega_3)$  і  $\phi_{5r}(\omega_5)$  для відповідних частот  $\omega_1$ ,  $\omega_3 = 3\omega_1$  і  $\omega_5 = 5\omega_1$ .

Для вихідного сигналу у результаті розкладання отримуємо значення: амплітуди  $B_{1\psi}(\omega_1)$ ,  $B_{3\psi}(\omega_3)$  і  $B_{5\psi}(\omega_5)$ , фази –  $\phi_{1\psi}(\omega_1)$ ,  $\phi_{3\psi}(\omega_3)$  і  $\phi_{5\psi}(\omega_5)$ .

Тоді комплексні значення коефіцієнтів передачі для кожної гармоніки можна записати (опускаючи для спрощення запису позначення  $\omega_{1,3,5}$ ) у вигляді відношення вихідного до вхідного сигналу (4).

$$\left. \begin{aligned} K_1 \cdot e^{j\alpha_1} &= \frac{B_{1\psi}}{A_{1r}} \cdot e^{j(\phi_{1\psi} - \phi_{1r})}; \\ K_3 \cdot e^{j\alpha_3} &= \frac{B_{3\psi}}{A_{3r}} \cdot e^{j(\phi_{3\psi} - \phi_{3r})}; \\ K_5 \cdot e^{j\alpha_5} &= \frac{B_{5\psi}}{A_{5r}} \cdot e^{j(\phi_{5\psi} - \phi_{5r})}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для режиму малих відхилень можна знехтувати у (1) нелінійним членом  $H(\omega)$ . Тоді отримаємо:

$$T_1 \cdot T_2 (d^2\omega / dt^2) + (T_1 + T_2) (d\omega / dt) + \omega = K \cdot \alpha_r + KT_3 (d\alpha_r / dt). \quad (5)$$

ПФ, що відповідає виразу (5.5), буде мати вигляд:

$$W(s) = \frac{\omega(s)}{\alpha_r(s)} = \frac{(T_3s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}. \quad (6)$$

Після переходу у частотну область (провівши заміну  $s = j\omega$ ), записуємо з (4) і (6) систему з 3-х рівнянь із трьома невідомими  $T_1$ ,  $T_2$  і  $T_3$ :

$$\left. \begin{aligned} W_1(j\omega) &= \frac{(T_3 j\omega_1 + 1)}{(T_1 j\omega_1 + 1)(T_2 j\omega_1 + 1)} = K_1 \cdot e^{j\alpha_1}; \\ W_3(j\omega) &= \frac{(T_3 j3\omega_1 + 1)}{(T_1 j3\omega_1 + 1)(T_2 j3\omega_1 + 1)} = K_3 \cdot e^{j\alpha_3}; \\ W_5(j\omega) &= \frac{(T_3 j5\omega_1 + 1)}{(T_1 j5\omega_1 + 1)(T_2 j5\omega_1 + 1)} = K_5 \cdot e^{j\alpha_5}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Система (7) вирішується у середовищі *Matlab/Simulink* командою  $[T1, T2, T3] = solve (...)$ , де у результаті знаходяться шукані значення  $T_1$ ,  $T_2$  і  $T_3$ .

З метою верифікації результатів ідентифікації, комп'ютерний експеримент "зигзаг 10-10" (у середовищі *Matlab/Simulink*) представимо у вигляді таблиць даних у функції часу, з апроксимацією проміжних значень. Далі представимо (6) у вигляді відповідної ПФ, у який додатково враховано відкинуту раніше у (6) нелінійність  $H(\omega)$ . З урахуванням сказаного, структурна схема ММ, яка описує експеримент "зигзаг" у середовищі *Matlab/Simulink*, наведена на рис. 1.

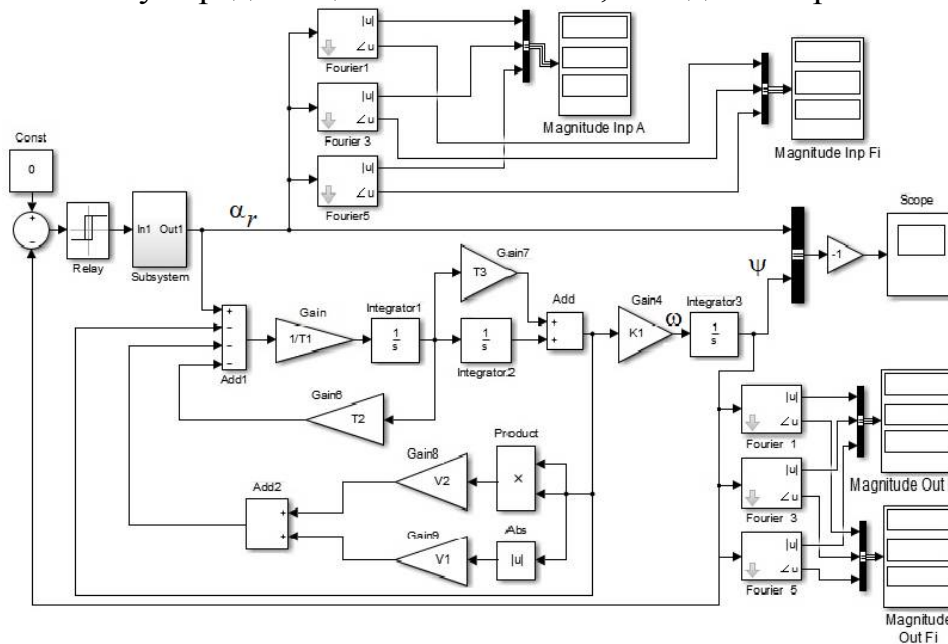


Рис. 1. Структурна схема, що описує експеримент "зигзаг" і Фур'є-аналіз

У схемі (рис. 1) враховано перехід "рад/с - градуси", а також що: а) курсовий кут визначається інтегруванням кутової частоти  $\omega$ ; б) переключки керма  $\alpha_r$  у потрібний момент часу, згідно алгоритму управління "зигзаг", моделюються елементом "петля гістерезису" – "Relay block"; в) динаміку кермової машини, що обмежує швидкість повороту керма, описує окрема підсистема (*Subsystem*). У якості вихідних даних узяті параметри БСДФ ЛК (розд. 3), для нього ідентифіковані параметри (1), що наведені у табл. 10.

Таблиця 10. Ідентифіковані параметри моделі БСДФ ЛК

$K$	$v_1$	$v_2$	$T_1, c$	$T_2, c$	$T_3, c$
0,031	$-1,7 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	31	15	5

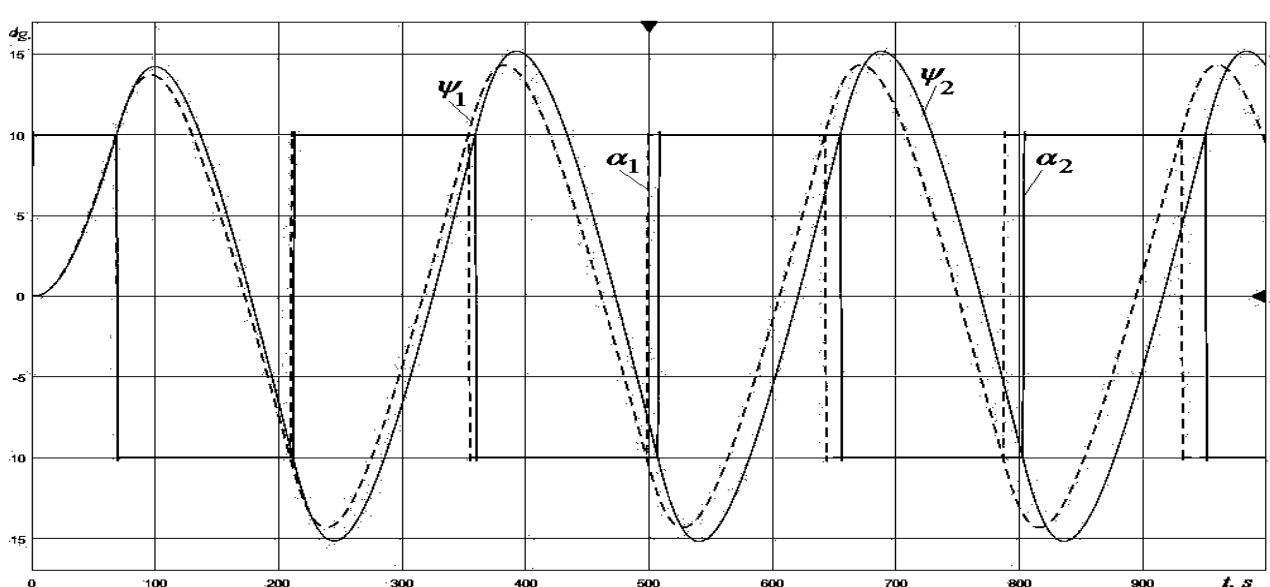


Рис. 2. Верифікація результатів моделювання маневреного випробування "зигзаг 10-10": 1 – експеримент, 2 – модель

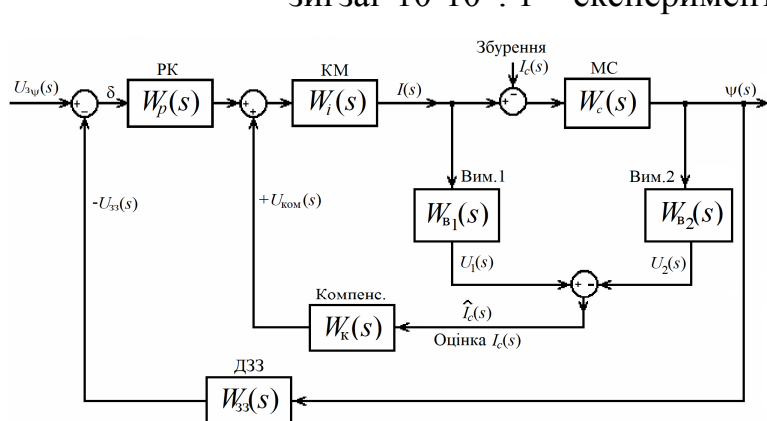


Рис. 3. Функціональна схема двоконтурної системи стабілізації курсу, що забезпечує часткову інваріантність до збурення  $I_c(t)$

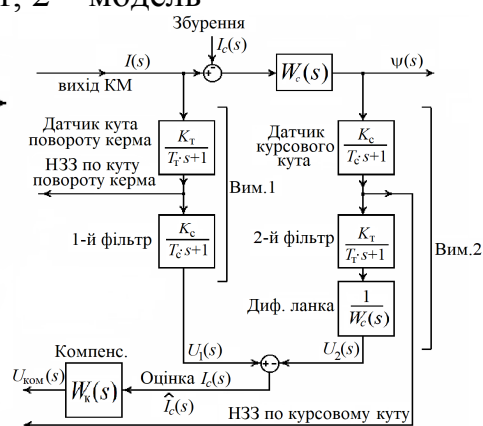


Рис. 4. Ділянка структурної схеми (див. рис. 3), яка реалізує оцінку основного збурення

На рис. 2 наведені результати верифікації експериментальної (*DMI*) і ідентифікованої моделі випробування "зигзаг 10-10". Пунктирною лінією показані дані експерименту, суцільною лінією – дані моделювання.

На основі ідентифікованої ММ (1) БСДФ ЛК, удосконалено [8] систему стабілізації курсу БСДФ ЛК, частково інваріантну до вітро-хвильових навантажень  $I_c(s)$ . Використав структуру двоканального керування на основі принципів Г. В. Щипанова, запропонована [8], система стабілізації курсу (ССК) (див. рис. 3 і рис. 4). На цих рисунках позначено: РК – ПД-регулятор курсового куту  $\psi$  судна; КМ – замкнений контур керування кермовою машиною судна; МС – ПФ моделі судна, яка заснована на описі (1) Номото 2-го порядку; ДЗЗ – датчик негативного зворотного зв'язку НЗЗ (курсного куту); Вим. 1, Вим. 2, Компенс. – відповідно, пристрої вимірювання та уведення компенсуючого збурення позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ) ССК.

Оцінку основного збурення  $I_c(s)$  проведено за виразом, який витікає зі структурної схеми, зображеної на рис. 4:

$$I_c(s) = I(s) - \psi(s) / W_c(s), \quad (8)$$

відповідно  $\hat{I}_c(s) = U_1(s) - U_2(s)$ , а  $\hat{I}_c(s) \approx I_c(s)$ , де  $W_c(s)$  – ПФ моделі судна (при стабілізації курсового куту  $\psi$ ). Збурення, оцінене за допомогою наведеної на рис. 4 структурної схеми (рис. 5, графік 3), визначається виразом:

$$\hat{I}_c(s) = I_c(s) \cdot \frac{K_T}{(T_T \cdot s + 1)} \cdot \frac{K_C}{(T_C \cdot s + 1)}. \quad (9)$$

У вираз (9) входить складова  $1/W_c(s)$ , згідно (8).

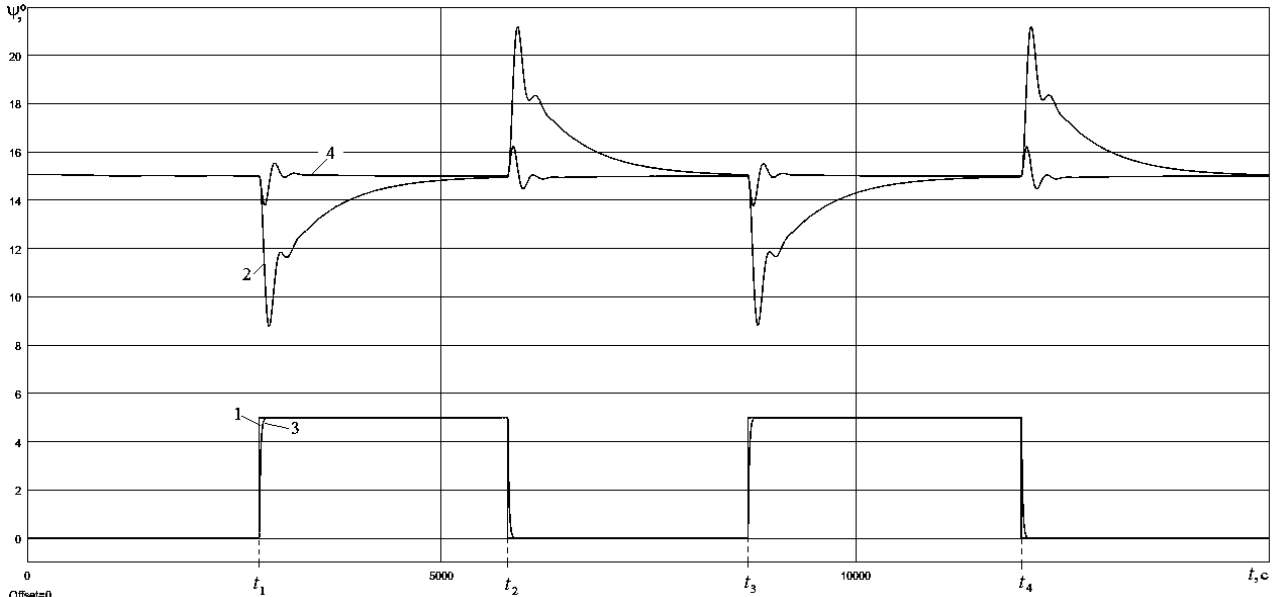


Рис. 5. Результати моделювання системи (див. рис. 3 та 4) з урахуванням дії компенсації основного збурення (1 – "реальне", 3 – оцінене)

Визначено, що: а) результуюча точність оцінки  $\hat{I}_c(s)$  залежить від точності технічної реалізації виразу  $1/W_c(s)$ , яке, у свою чергу, також є спрощеною моделлю судна; б) у системі з датчиком курсового куту і обсервації оцінка буде грубіше, оскільки інерційність такого вимірювального каналу висока і порівнянна з інерційністю КМ; в) ПФ компенсуючого зв'язку  $W_k(s) = W_i^{-1}(s)$  не може бути точно реалізована, тому

$$W_k(s) = \frac{2 \cdot T_{\mu 1} \cdot s + 1}{0,1 \cdot T_{\mu 1} \cdot s + 1} \cdot k_T, \quad (10)$$

що є спрощенням, заснованим на наближеній ММ КМ. Результати моделювання системи (рис. 3), з урахуванням дії визначеної оцінки основного збурення (рис. 4), наведено на рис. 5, де показані процеси його зміни (графіки 3 і 1) у моменти часу  $t_1 = 2800$  с,  $t_2 = 5800$  с,  $t_3 = 8700$  с та  $t_4 = 12000$  с. Це збурення викликає зміну курсу БСДФ (див. рис. 5: графік 2, ПД-регулятор; графік 4 – у запропонованій системі) та за рівнем приведено до куту повороту керма на  $5^\circ$ .

### ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене актуальне науково-технічне завдання концептуального забезпечення виконання різноманітних транспортних задач багатоцільовим судном допоміжного флоту у внутрішніх водах України за умови безпеки судноводіння, шляхом використання вискоєфективних способів експлуатації судна і створення для цього організаційних і архітектурно-

конструктивних умов при проектуванні, побудові і експлуатації судна – на всіх основних етапах його життєвого циклу.

1. Вирішене завдання розробки системи керування судном на основних етапах його ЖЦ, за умови визначення архітектурної композиції судна при неоднозначних вхідних даних, обмежених матеріально-часових можливостях на проектування та побудову і яке при цьому буде ефективно експлуатуватися.

2. Проведений аналіз забезпечення судноплавства у зимову навігацію дозволив обґрунтувати клас створюваного багатоцільового судна. При цьому визначені можливості реновації та конверсії існуючих суден цивільного флоту та доведено недоцільність цих процедур. На основі аналізу характеристик і особливостей конструкцій суден-прототипів, можливостей застосування цивільних суден за подвійним призначенням і використання багатоцільових суден сучасного флоту, визначені основні необхідні функції БСДФ ЛК і особливості конструкції, визначена необхідна потужність СЕУ.

3. Із урахуванням впливу на морехідні якості глибин фарватеру Українських територіальних вод, визначені ТТХ і вимоги до БСДФ ЛК, обрано і оптимізовано його архітектуру. Удосконалені методики оцінювання кригопрохідності; інтегральних оцінювань якості конкуруючих проектних і техніко-економічних рішень, застосованих під час синтезу і створенні БСДФ ЛК; експертного аналізу ТТХ і головних впливових факторів, організаційних процедур синтезу, виготовлення, технічної експлуатації і ремонту синтезованого судна; визначення показників підвищення ефективності технічної експлуатації, ремонту та обслуговування БСДФ ЛК; системи стабілізації БСДФ ЛК на курсі. Ці методики довели можливості високоефективної експлуатації БСДФ ЛК у внутрішніх водах України у всі пори року. Основні результати дослідження знайшли практичне застосування у виробничій діяльності і у навчальному процесі при підготовці курсантів у галузі знань 27 – транспорт (271 – річковий та морський транспорт).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці

1. Сауляк С. В. Влияние ограниченности глубины фарватера на мореходные качества судна / С. В. Сауляк, **О. Н. Мазур** // Проблемы техники. – 2013. – № 2. – С. 126-131.

2. Голиков В. В. Определение ледопроеходимости судов для плавания в неарктических морях / В. В. Голиков, П. А. Костенко, **О. Н. Мазур**, И. В. Сафин // Судовые энергетические установки. – 2014. – № 33. – С. 183-190.

3. **Мазур О. Н.** Анализ обеспечения судоходства в зимнюю навигацию портами Украины // Проблемы техники. – 2014. – № 1. – С. 159-168.

4. **Mazur O.** *Decision support system in assessing technical design and tender purchases* / *O. Mazur, O. Onishchenko* // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2016. – № 1(5). – С. 91-99.

5. Голиков В. В. Особенности проектирования многоцелевого судна подвального назначения ледового класса / В. В. Голиков, **О. М. Мазур**, О. А. Онищенко / Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2016. – № 42. – С. 29-35.

6. *A simple technique for identifying vessel model parameters* / V. A. Golikov, V. V. Golikov, Ya. Volyanskaya, **O. Mazur**, O. Onishchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 4th International Scientific Conference "SEA-CONF". – 2018. V. 172, #012010. – P. 1-8. – IOP Publishing Ltd., (Scopus).

7. Підвищення ефективності технічного обслуговування, експлуатації і ремонту складних технічних систем / Я. Б. Волянська, **O. М. Мазур**, Т. С. Обнявко, О. А. Онищенко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. пр. – 2018. – № 2(65). – С. 5-18.

8. Система стабілізації курсу морського судна, частково-інваріантна до вітро-хвильових навантажень / Я. Б. Волянська, В. В. Голиков, **O. М. Мазур**, О. А. Онищенко, В. А. Шевченко // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. Т. 10. – № 2. – С. 57-63.

#### Праці апробаційного характеру

9. Голиков В. В. Концепция конструкции ледокола для работы в Азовском море / В. В. Голиков, П. А. Костенко, А. А. Лысый, **O. Н. Мазур** // Матер. міжн. наук.-техн. конф. "Енергетика судна: експлуатація та ремонт", 05-07 квітня 2011 р. – Одеса: ОНМА, 2011. – С. 64-67.

10. Голиков В. В. Многоцелевое судно для ледовой проводки судов в Азовском море / В. В. Голиков, **O. Н. Мазур** // Матер. наук.-методичн. конф. "Забезпечення безаварійного плавання суден", 16-17 листопада 2011 р. – Одеса: ОНМА. – С. 69-71.

11. **Мазур O. Н.** Энергетическая эффективность морских судов / O. Н. Мазур // Матер. наук.-техн. конф. "Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека", 14-15 листопада 2012 р. – Одеса: ОНМА, 2013. – С. 46-49.

12. **Мазур O. Н.** Анализ обеспечения судоходства в зимнюю навигацию портами Украины / O. Н. Мазур // Матер. наук.-техн. конф. "Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека", 19-20 листопада 2013 р. – Одеса: ОНМА, 2014. – С. 20-21.

13. Голиков В. В. К определению характеристик размерений и формы условного судна технического флота порта / В. В. Голиков, **O. Н. Мазур** // Матер. наук.-техн. конф. "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві", 19-20 листопада 2015 р. – Одеса: НУ "ОМА", 2016. – С. 124-126.

14. **Мазур O. Н.** Анализ математической модели и алгоритма решения задачи проектирования судна / O. Н. Мазур // Матер. наук.-техн. конф. "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві", 16-17 листопада 2016 р. – Одеса: НУ "ОМА", 2016. – С. 100-101.

15. **Мазур O. М.** Підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту багатоцільових суден подвійного призначення / O. М. Мазур, Т. С. Обнявко // Матер. наук.-методичн. конф. "Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація", 16-17 листопада 2017 р. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 45-47.

16. **Мазур O. М.** Особливості проекту багатоцільового судна подвійного призначення льодового класу, призначених для функціонування у територіальних водах України / O. М. Мазур, В. В. Голиков, Т. С. Обнявко // VIII Міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні підходи до вискоєфективного використання засобів транспорту", 7 грудня 2017 р. – Ізмаїл: МОНУ, ДІ НУ "ОМА", НУ "ОМА". – С. 162-167.

17. **Мазур O. М.** Визначення потужності електроенергетичної установки багатоцільового судна подвійного призначення / В. В. Голиков, O. М. Мазур // Матер. наук.-методичн. конф. "Актуальні проблеми суднової

електроенергетики, електромеханіки та радіоелектроніки", 11-12 грудня 2017 р. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 72-74.

18. **Мазур О. М.** Ідентифікація параметрів моделі Номото / О. М. Мазур, О. А. Онищенко // Матер. наук.-техн. конф. "Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт", 22-23 березня 2018 р. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 239-245.

### АНОТАЦІЯ

**Мазур О. М. Підвищення ефективності експлуатації багатоцільового судна допоміжного флоту на водних шляхах України. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту (271– річковий та морський транспорт). – Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, 2018 р.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання концептуального забезпечення високоефективного виконання різноманітних транспортних задач багатоцільовим судном допоміжного флоту (БСДФ) у внутрішніх водах України. Завдання вирішується за умови безпеки судноводіння, створенням для забезпечення високоефективної експлуатації, організаційних і архітектурно-конструктивних умов: при проектуванні, побудові і технічній експлуатації судна на всіх основних етапах його життєвого циклу. Рішення здійснюється при неоднозначних вхідних даних і обмежених матеріально-часових можливостях на проектування та побудову. Обґрунтовано льодовий клас судна, визначені основні необхідні функції БСДФ льодового класу (ЛК), оптимізовано конструкцію і обґрунтовано необхідну потужність суднової енергетичної установки. Удосконалені методики оцінювання кригопрохідності, інтегральних оцінювань якості конкуруючих рішень, експертного аналізу, організаційних процедур проектування, виготовлення, технічної експлуатації і ремонту синтезованого БСДФ ЛК. Визначені показники ефективності технічної експлуатації, ремонту та обслуговування, розроблена методика ідентифікації параметрів судна та інваріантна до вітро-волнових збурень система стабілізації судна на курсі. Запропоновані методики довели можливість високоефективної експлуатації БСДФ ЛК на водних шляхах України у всі пори року.

**Ключові слова:** багатоцільове судно, допоміжний флот, ефективність, якість, система керування, експертний аналіз, технічна експлуатація.

### ANNOTATION

**Mazur O. M. Increase of operational efficiency of a multipurpose vessel of the auxiliary fleet on the waterways of Ukraine. – Manuscript.**

Dissertation on competition of a scientific degree of PhD in Technical Sciences in the speciality 05.22.20 – operation and maintenance of transport facilities (271 – river and marine transport). – National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2018.

The actual scientific and technical task of the conceptual provision of high-performance implementation of various transportation tasks by a multi-purpose vessel of the auxiliary fleet (MVAF) on inland waterways of Ukraine was solved in the dissertation. The task was solved subject to the safety of navigation, creation of organizational, architectural and constructive conditions: during designing, constructing and technical operation of the vessel at all the main stages of its life cycle for ensuring highly efficient operation. The solution was carried out with ambiguous input data, limited material and time possibilities for designing and construction. The



ship's ice class was determined, the basic essential functions of (MVAF) of the ice class (IC) were defined, the design was optimized and the required power of ship's power plant was substantiated. The methods for assessing the icebreaking capability, integrated quality assessments of competing solutions, expert analysis, organizational procedures for designing, manufacturing, operation and maintenance of synthesized (MVAF) (IC) were improved. Performance indicators of operation and maintenance were determined. The method for identifying the vessel's parameters and the course stabilization system that is invariant to wind-wave disturbances was also developed. The methods proved the possibility of highly efficient operation of (MVAF) (IC) on the waterways of Ukraine in all seasons of the year.

**Keywords: multipurpose vessel, auxiliary fleet, efficiency, quality, control system, expert analysis, technical operation.**

#### АННОТАЦИЯ

**Мазур О. Н. Повышение эффективности эксплуатации многоцелевого судна вспомогательного флота на водных путях Украины. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта (271 – речной и морской транспорт). – Национальный университет "Одесская морская академия", г. Одесса, 2018.

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача концептуального обеспечения высокоэффективного выполнения различных транспортных задач (поиска, спасения, сопровождения, ледовой проводки судов караваном и т.д., а также проведения специальных задач ВМС Украины) многоцелевым судном вспомогательного флота (МСВФ) во внутренних водах Украины. Задача решается при условии безопасности судовождения, созданием (для обеспечения высокоэффективной эксплуатации), организационных и архитектурно-конструктивных условий: при проектировании, построении и технической эксплуатации судна на всех основных этапах его жизненного цикла (ЖЦ). Решение задачи осуществляется при неоднозначных входных данных на проектирование и ограниченных материально-временных возможностях на проектирование и строительство судна.

В работе доказано существование такой концептуально-архитектурной композиции судна, которая позволяет на основных этапах его ЖЦ выполнять задания различного, в том числе двойного назначения и эффективно при этом эксплуатироваться в различных погодных, присущих внутренним территориальным водам Украины, условиях.

При решении главной задачи проведен анализ обеспечения судоходства в зимнюю навигацию – для целей обоснования класса создаваемого многоцелевого судна. С целью определения целесообразности реновации и конверсии существующих судов гражданского флота проведен сравнительный анализ различных типов судов, анализ возможностей применения гражданских судов по двойному назначению и возможности использования многоцелевых судов современного флота на водных путях Украины.

Анализ характеристик и особенностей конструкций более чем 80 суден-прототипов позволил определить и ограничить необходимые характеристики и функциональные возможности МСВФ ледового класса (ЛК).

Для обоснования и определения необходимой мощности судовой энергетической установки МСВФ ЛК проведена сравнительная оценка энергооборуженности морских судов различного целевого назначения.

Тема исследования обосновывается применением концепции непротиворечивого проектирования (В. Н. Храмушин) и последующего создания судна с учетом основных этапов его ЖЦ. При определении тактико-технических характеристик (ТТХ) и функционально-технологических требований к МСВФ ЛК учтены ограничения на мореходные качества от влияния глубин фарватера Украинских территориальных вод. Выбрана и оптимизирована общая архитектура судна, синтезированы основные его чертежи. Проведена оценка суммарного веса снабжения, запасов топлива и масел, дедвейта, вместимости, ледопроеходимости, остойчивости. В ходе исследования усовершенствована экспериментальная методика оценки ледопроеходимости МСВФ и предложена упрощенная программа его испытаний.

Оценку основных проектных параметров и характеристик предложено осуществлять с учетом методов экспертных оценок – применением ранжирования на основе функций Харрингтона и идеологии поддержки принятия решений. Предложено использование интегральных оценок качества с введением весовых коэффициентов для конкурирующих проектных и технико-экономических решений на всех основных этапах ЖЦ, применяемых при синтезе и создании МСВФ ЛК. При интегральной оценке качества, с целью устранения неоднозначности ранговой оценки экспертов, предложено использовать методику множественных коэффициентов корреляции рангов М. Кендалла.

На основе использования принципов экспертного анализа определены главные влияющие факторы и организационные процедуры синтеза, изготовления, технической эксплуатации и ремонта синтезированного судна. На основе методов нечеткой логики, предложена методика определения основных показателей, использование которых на практике обеспечивает повышение эффективности технической эксплуатации, ремонта и обслуживания МСВФ ЛК.

На основе использования диаграмм угловой частоты циркуляций  $\omega$  в функции угла перекладки руля  $\alpha_r$  и результатов маневренного испытания "зиг-заг" предложена методика идентификации параметров нелинейной математической модели (ММ) судна (модели Номото 2-го порядка). В методике использованы принципы обработки избыточных систем (метод Лежандра) и разложения сигналов в ряды Фурье. На основе идентифицированной ММ МСВФ ЛК предложена автоматизированная система стабилизации судна на курсе, использующая принципы частичной инвариантности (принцип Щипанова) к ветроволновым возмущениям. Определено, что за счет применения предложенного усовершенствования системы автоматического управления курсом возможно сокращения на 3-4% потерь ходового времени, увеличение провозной способности судна и снижение на 3-6 % расхода топлива за рейс. Применение предложенных методик на практике создает предпосылки обеспечения высокоэффективной эксплуатации МСВФ ЛК на водных путях Украины во все времена года.

**Ключевые слова:** многоцелевое судно, вспомогательный флот, эффективность, качество, система управления, экспертный анализ, техническая эксплуатация.

Підп. до друку 1.11.2018. Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.  
Тираж 100 пр. Зам. № И18-11-08

Національний університет "Одеська морська академія"  
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.  
Тел./факс (048) 793-24-51  
[publish-r@onma.edu.ua](mailto:publish-r@onma.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 1292 від 20.03.2003