

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МАЗУР ОКСАНА МИКОЛАЇВНА

УДК 656.61.052:551.326.7

ДИСЕРТАЦІЯ

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Галузь знань 271 – річковий та морський транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

О. М. Мазур

(підпис)

Науковий керівник Голіков Володимир Володимирович,
кандидат технічних наук, доцент

Одеса – 2018

АНОТАЦІЯ

Мазур О. М. Підвищення ефективності експлуатації багатоцільового судна допоміжного флоту на водних шляхах України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача концептуального забезпечення високоефективного виконання різних транспортних завдань (пошуку, порятунку, супроводу, льодової проводки суден караваном і таке інше, а також проведення спеціальних завдань ВМС України) 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 та технічної експлуатації судна на всіх основних етапах його життєвого циклу (ЖЦ). Рішення завдання здійснюється за неоднозначних вхідних даних на проектування та обмежених матеріально-часових можливостях на проектування і будівництво судна.

У роботі доведено існування такої концептуально-архітектурної композиції судна, яка дозволяє на основних етапах його ЖЦ виконувати завдання різного, у тому числі подвійного призначення (ПП) і ефективно при цьому експлуатуватися у різних кліматичних, властивих внутрішнім територіальним водам України, умовах.

При вирішенні головного завдання проведено аналіз забезпечення судноплавства у зимову навігацію на внутрішніх шляхах України – для цілей обґрунтування класу створюваного багатоцільового судна.

З метою визначення доцільності реновації та конверсії існуючих суден цивільного флоту проведено порівняльний аналіз різних типів універсальних і багатофункціональних суден, проведений аналіз можливостей застосування цивільних суден за подвійним призначенням, оцінені можливості використання багатоцільових суден сучасного флоту на водних шляхах України.

Аналіз характеристик і особливостей конструкцій більш ніж 60 суден-прототипів дозволив визначити і обмежити необхідні характеристики і функціональні можливості БСДФ льодового класу (ЛК).

Для обґрунтування і визначення необхідної потужності суднової енергетичної установки БСДФ ЛК проведена порівняльна оцінка енергоозброєності морських суден різного цільового призначення.

Тема дослідження обґрунтовується застосуванням концепції несуперечливого проектування (В. М. Храмушин) і подальшого створення судна з урахуванням основних етапів його ЖЦ. При визначенні тактико-технічних характеристик (ТТХ) і функціонально-технологічних вимог до БСДФ ЛК враховані обмеження на морехідні якості від впливу глибин фарватеру українських територіальних вод. Обрана і оптимізована загальна архітектура судна, синтезовані основні його креслення.

Проведено оцінку сумарного ваги постачання, запасів палива і мастил, дедвейту, місткості, льодопрохідності, остійності. У ході дослідження вдосконалена експериментальна методика оцінювання льодопрохідності БСДФ і запропонована спрощена програма його випробувань.

Оцінку основних проектних параметрів і характеристик запропоновано здійснювати з урахуванням методів експертних оцінок – застосуванням ранжирування на основі функцій Харрінгтона і ідеології підтримки прийняття рішень.

Запропоновано використання інтегральних оцінок якості з введенням вагових коефіцієнтів для конкуруючих проектних і техніко-економічних рішень на всіх основних етапах ЖЦ, що застосовуються при синтезі і створенні БСДФ ЛК. При інтегральній оцінці якості, з метою усунення неоднозначності

рангової оцінки експертів, запропоновано використовувати методику множинних коефіцієнтів кореляції рангів М. Кендалла.

На основі використання принципів експертного аналізу визначені головні впливові фактори і організаційні процедури синтезу, виготовлення, технічної експлуатації і ремонту синтезованого судна.

На основі застосування методів нечіткої логіки, запропонована методика визначення основних показників, використання яких на практиці забезпечує підвищення ефективності технічної експлуатації, ремонту і обслуговування БСДФ ЛК.

На основі використання діаграм кутовий частоти циркуляцій ω у функції кута перекладки керма α_r і результатів маневреного випробування "зигзаг" запропоновану методику ідентифікації параметрів нелінійної математичної моделі (ММ) судна (моделі Номото 2-го порядку). У запропонованій методиці використані принципи обробки надлишкових систем рівнянь (метод Лежандра) і розкладання сигналів у ряди Фур'є.

На основі ідентифікованої ММ БСДФ ЛК запропоновано автоматизовану систему стабілізації судна на курсі, що використовує принципи часткової інваріантності (принцип Щипанова) до вітро-хвильових збурень.

Визначено, що за рахунок застосування запропонованого вдосконалення системи автоматичного управління курсом можливо скорочення на 3-4% витрат ходового часу, збільшення провізної здатності судна і зниження на 3-6% витрати палива за рейс.

Застосування запропонованих методик на практиці створює передумови забезпечення високоефективної експлуатації БСДФ ЛК на водних шляхах України в усі пори року.

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

ANNOTATION

Mazur O. N. Increase of operational efficiency of a multipurpose vessel of the auxiliary fleet on the waterways of Ukraine. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

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

In the thesis, the actual scientific and technical task of conceptual support of highly efficient performance of various transport tasks (search, rescue, escort, ice caravan escort of ships, etc., as well as carrying out special tasks of the Ukrainian Navy) was solved by a multi-purpose vessel of the auxiliary fleet (MVAF) in inland waters of Ukraine. The task was solved subject to the safety of navigation, creation of organizational, architectural and constructive conditions: in the design, construction, operation and maintenance of the vessel at all major stages of its life cycle (LC) to ensure highly efficient operation of the vessel.

The solution of the task was carried out with ambiguous input data for the design and limited material-time possibilities for the designing and construction of the vessel.

The work proved the existence of such a conceptual and architectural composition of the vessel, which at the main stages of its life cycle allowed it to carry out various tasks including of dual-use purpose as well that are effectively used in various weather conditions inherent in the internal territorial waters of Ukraine.

When solving the main task, an analysis for providing shipping in winter navigation was carried out to justify the class of the created multipurpose vessel. Several studies such as a comparative analysis of various types of ships, an analysis of the possibilities of using civilian ships for dual purposes and the possibility of using multi-purpose ships of the modern fleet on the waterways of Ukraine were

carried out to determine the practicability of the renovation and conversion of existing civilian fleet vessels.

Analysis of the characteristics and features of the structures of more than 60 prototype vessels made it possible to determine and limit the necessary characteristics and functional capabilities of MVAF of the ice-class (IC).

A comparative assessment of the power supply capacity of seagoing ships of various purposes was carried out to justify and identify the required capacity of the ship's power plant of MVAF IC.

The topic of the research was based on application of the concept of coherent design (V.N. Hramushin) and the subsequent creation of the vessel taking into account the main stages of its life cycle. In determining the tactical and technical characteristics (TTH) and the functional and technological requirements for MVAF IC, restrictions on seaworthiness from the depths' influence of the channel of the Ukrainian territorial waters were taken into account. The overall architecture of the ship was selected and optimized, its main drawings were synthesized. The estimation of the total weight of supply, fuel and oil reserves, deadweight, capacity, ice passage, stability was carried out. In the course of the study, the experimental methodology for estimating the ice-breaking capability of MVAF was improved and a simplified programme of its tests was proposed.

It was proposed to evaluate the main design parameters and characteristics taking into account expert assessment methods - using ranking based on Harrington functions and decision support ideology. Suggestion was made to use of integral quality assessments with the introduction of weighting factors for competing design and technical and economic decisions at all the main stages of life cycle used in the synthesis and creation of MVAF IC. In the integrated quality assessment, the method of multiple correlation coefficients of M. Kendall's ranks was suggested to use as well in order to eliminate the ambiguity of the expert rank evaluation.

The main influencing factors and organizational procedures for the synthesis, manufacture, operation and maintenance of the synthesized vessel were deter-

mined based on the use of the principles of expert analysis. The method aimed at determining the main indicators, the use of which in practice provided an increase in the efficiency of operation and maintenance of MVAF IC was proposed.

A method for identifying the parameters of a non-linear mathematical model (MM) of a ship (Nomoto model of the 2nd order) based on the use of angular frequency diagrams of circulations ω as a function of rudder angle α_r and the results of the zigzag maneuver test was proposed. The methodology used the principles of processing redundant systems (Legendre method) and the decomposition of signals in a Fourier series. Based on the identified MM MVAF IC, an automated system for stabilizing the vessel on a course using the principles of partial invariance (the Shchipanov principle) to wind-wave disturbances was proposed. It was determined that due to the application of the proposed improvement of the automatic course control system, it was possible to reduce by 3-4% the loss of running time, increase the carrying capacity of the vessel and reduce by 3-6% fuel consumption per voyage.

The application of the proposed techniques in practice creates the preconditions for ensuring the highly efficient operation of MVAF IC on the waterways of Ukraine in all seasons.

Keywords: multi-purpose vessel, auxiliary fleet, efficiency, quality, control system, expert analysis, technical operation.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

Праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Works, in which the main scientific results of the dissertation are published

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 подвійного призначення льодового класу / 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, **О. 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, **О. М. Мазур**, О. А. Онищенко, В. А. Шевченко // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. Т. 10. – № 2. – С. 57-63.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації і які додатково відображають наукові результати дисертації

Proceedings certifying approbation of the materials of the dissertation and which additionally reflect the scientific results of the dissertation

9. Голиков В. В. Концепция конструкции ледокола для работы в Азовском море / В. В. Голиков, П. А. Костенко, А. А. Лысый, **О. 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, **О. Н. Мазур** // Матер. наук.-методичн. конф. "Забезпечення безаварійного плавання суден", 16-17 листопада 2011 р. – Одеса: ОНМА. – С. 69-74.

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

12. **Мазур О. Н.** Анализ обеспечения судоходства в зимнюю навигацию портами Украины / О. Н. Мазур // Матер. наук.-техн. конф. "Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека", 19-20 листопада 2013 р. – Одеса: ОНМА, 2014. – С. 20-22.

13. Голиков В. В. К определению характеристик размерений и формы условного судна технического флота порта / В. В. Голиков, **О. 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 О. Н.** Анализ математической модели и алгоритма решения задачи проектирования судна / О. Н. Мазур // Матер. наук.-техн. конф. "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні", 16-17 листопада 2016 р. – Одеса: НУ "ОМА", 2016. – С. 100-101.

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

16. **Мазур О. М.** Особливості проекту багатоцільового судна подвійного призначення льодового класу, призначених для функціонування у територіальних водах України / О. М. Мазур, В. В. Голіков, Т. С. Обнявко // VIII Міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту", 7 грудня 2017 р. – Ізмаїл: МОНУ, ДІ НУ "ОМА", НУ "ОМА". – С. 162-166.

17. **Мазур О. М.** Визначення потужності електроенергетичної установки багатоцільового судна подвійного призначення / В. В. Голіков, О. 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.

ЗМІСТ

АБРЕВІАТУРИ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	13
ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1. ТЕРМІНОЛОГІЯ, АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ТА ВИМОГИ ДО БАГАТОЦІЛЬОВИХ СУДЕН ДОПОМІЖНОГО ФЛОТУ	23
1.1 Уточнення поняття "ефективність експлуатації" багатоцільового судна допоміжного флоту	23
1.2 Можливості застосування цивільних суден у допоміжному флоті та багатоцільові судна сучасного військового флоту.....	30
1.3 Аналіз особливостей реновації та конверсії існуючих цивільних суден	34
1.4 Аналіз забезпечення судноплавства у зимову навігацію для цілей обґрунтування льодового класу створюваного багатоцільового судна	46
1.5 Порівняльна оцінка енергоозброєності морських суден різного цільового призначення для обґрунтування потужності СЕУ створюваного багатоцільового судна	55
1.6 Аналіз характеристик і особливостей конструкції відібраних суден- прототипів створюваного багатоцільового судна та попереднє визначення необхідних характеристик й особливостей його конструкції	57
РОЗДІЛ 2. ОБґРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ СУДНА З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ. ВИБІР ТЕМИ ТА СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ.....	61
2.1 Обґрунтування теми дослідження та концепції створення судна	61
2.2 Методики та концепції проектного синтезу багатоцільового судна льодового класу.....	77
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ОСНОВНИХ СИНТЕЗОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОЦІЛЬОВОГО СУДНА.....	106
3.1 Тактико-технічні вимоги до багатоцільового судна допоміжного флоту льодового класу.....	106
3.2 Оцінка сумарної ваги постачання, запасів палива та мастил, дедвейту й	

місткості	108
3.3 Оцінка потужності суднової енергетичної установки створюваного багатопільового судна	110
3.4 Оцінка остійності багатопільового судна допоміжного флоту льодового класу	113
3.5 Оцінка впливу глибини фарватеру на морехідні якості багатопільового судна	129
3.6 Оцінка льодопрохідності багатопільового судна у неарктичних морях і методика її розрахунку	133
РОЗДІЛ 4. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ БАГАТОПІЛОВОГО СУДНА ДОПОМІЖНОГО ФЛОТУ ЛЬДОВОГО КЛАСУ	140
4.1 Інтегральне оцінювання якості конкуруючих рішень, застосованих під час проектування і створення багатопільового судна	140
4.2 Експертний аналіз тактико-технічних характеристик і визначення основних впливових факторів проектування, виготовлення, технічної експлуатації та ремонту синтезованого судна	156
4.3 Підвищення ефективності технічної експлуатації, ремонту й обслуговування багатопільових суден	164
РОЗДІЛ 5. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БАГАТОПІЛОВИМ СУДНОМ	178
5.1 Ідентифікація параметрів багатопільового судна	178
5.2 Особливості запропонованої методики ідентифікації параметрів нелінійної моделі Номото другого порядку	182
5.3 Побудова розрахункової математичної моделі БСДФ ЛК для режиму стабілізації курсу	185
5.4 Система стабілізації курсу БСДФ ЛК, частково інваріантна до вітрових навантажень	192
ВИСНОВКИ	202
ЛІТЕРАТУРА	204
ДОДАТКИ	222

АБРЕВІАТУРИ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АК – автокермовий;

БСДФ – багатоцільове судно допоміжного флоту;

БСПП – багатоцільове судно подвійного призначення;

БЕ – бойова ефективність;

ДМ – допоміжні механізми;

ДГ – дизель-генератор;

ДЗЗ – датчик зворотного зв'язку;

ЕКНІС – електронна картографічна навігаційно-інформаційна система;

ЕЕЕ – енерго-експлуатаційна ефективність;

ЗЕО, *OEE* – загальна ефективність обладнання (*Overall Equipment Effectiveness*);

ЖЦ – життєвий цикл;

ІТ – інформаційні технології;

КМ – замкнений контур керування кермовою машиною судна;

ЛБ – лівий борт;

МАКТ – Міжнародна асоціація класифікаційних товариств;

МТП – морський торговельний порт;

ММТП – Маріупольський морський торговий порт;

МО – Міністерство оборони;

МС – модель судна;

Т – нормативний строк окупності, стала часу (за змістом);

НСППР – нечітка система підтримки прийняття рішень;

НЧ – нечітке;

NSPE – Національне товариство професійних інженерів;

ОВТ – озброєння та військова техніка;

ОРП, *CAS* – огляд за розширеною програмою (*Condition Assessment Scheme*);

ОД – однозначне;

ПФ – передаточна функція;
ПП – подвійне призначення;
ПАСС, *CAP* – програма аналізу стану судна (*Condition Assessment Program*);
ПБ – правий борт;
ПП – портовий пункт;
ПО – приведені затрати;
РК – регулятор курсового куту;
РСУ – Регістр судноплавства України;
RCM – метод рангової кореляції (*Rank Correlation Method*);
RS – надлишкова система (*Redefined System*);
СТС – складна технічна система;
СОРП – судна обмежених районів плавання;
СЗП – судна змішаних районів плавання;
СЕУ – суднова енергетична установка;
САПР – система автоматизованого проектування;
САС – структурний аналіз систем;
СППР – система підтримки прийняття рішень;
СТЗ – судові технічні засоби;
САКК – система автоматизованого керування курсом судна;
ССК – система стабілізації курсу;
СС – коефіцієнт конкордації рангів (*coefficient of concordance*);
ТЕ – технічна експлуатація;
ТС – технічний стан;
ТО і Р – технічне обслуговування і ремонт;
ТЗ – технічне завдання;
ТТХ – тактично-технічні характеристики;
ТЕХ – техніко-експлуатаційні характеристики;
TEU – контейнеромісткість (двадцятифутовий еквівалент);
УкрНДІМФ – Український науково-дослідний інститут морського флоту.

ВСТУП

Актуальність теми. Багатоцільові судна створюються з метою універсализації 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 в 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 є виконавцем окремих етапів досліджень.

в) у дослідній роботі "Первинної науково-технічної експертизи усісезонних експлуатаційних показників лоцманських катерів проекту ЛК-1500" (наук. кер. В. В. Голіков. – Одеса: ОНМА, 2014. – 70 с.), де здобувачем прийнята участь, як виконувачки окремого підрозділу.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є концептуальне забезпечення вискоефективного виконання різноманітних багаточільових задач БСДФ (пошуку, рятування, супроводження, проведення суден караваном, тощо, а також проведення спеціальних задач ВМС України) за умови безпеки судноводіння, шляхом використання вискоефективних 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-проекткування 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 транспорту, судових 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 наукових дослідженнях Національного університету "Одеська морська академія" (акт використання від 03.09.2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно, без співавторів їм проведений інформаційний пошук і виконаний аналіз основних підходів розв'язання проблеми функціонування багатопільових 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 наукових заходах.

1. Міжн. наук.-техн. конф. "Енергетика судна: експлуатація та ремонт", 05-07 квітня 2011 р. – Одеса: ОНМА [9].

2. Наук.-методичн. конф. "Забезпечення безаварійного плавання суден", 16-17 листопада 2011 р. – Одеса: ОНМА [10].

3. Наук.-техн. конф. "Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека", 2012 і 2013 роки. – Одеса: ОНМА [11, 12].

4. Наук.-техн. конф. "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві", 2015 і 2016 роки. – Одеса: НУ "ОМА" [13, 14].

5. 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 (Додаток Б).

6. Наук.-методичн. конф. "Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація", 16-17 листопада 2017 р. – Одеса: НУ "ОМА" [15].

7. VIII Міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту", 7 грудня 2017 р. – Ізмаїл: Дунайський інститут НУ "ОМА" [16].

8. Наук.-методичн. конф. "Актуальні проблеми суднової електроенергетики, електромеханіки та радіоелектроніки", 11-12 грудня 2017 р. – Одеса: НУ "ОМА" [17].

9. *4-th International Scientific Conference "SEA-CONF 2018", May, 2018, Constanta, Romania* [6].

10. Наук.-техн. конф. "Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт", 22-23 березня 2018 р. – Одеса: НУ "ОМА" [18].

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 сторінки, де крім основного тексту містяться 57 таблиць і 30 рисунків. Список використаних джерел має 156 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ТЕРМІНОЛОГІЯ, АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ТА ВИМОГИ ДО БАГАТОЦІЛЬОВИХ СУДЕН ДОПОМІЖНОГО ФЛОТУ

1.1 Уточнення поняття "ефективність експлуатації" багатоцільового судна допоміжного флоту

Основні цілі будь-якої виробничої системи загального призначення взаємопов'язані і містять дві складові: перша – отримати від системи (підприємства) максимально можливий прибуток, і друга складова – стабільність отримання цього прибутку. У [19, 20] показано, що досягнення цих цілей залежить від: а) ступеня досконалості самої виробничої системи або підприємства; б) організаційної системи її експлуатації.

Згідно ГОСТ 25866-83, "Експлуатація – стадія життєвого циклу обладнання (рис. 1, а), на якій реалізується його призначення, підтримується і відновлюється його якість. Експлуатація включає у себе використання за призначенням, транспортування, зберігання, технічне обслуговування та ремонт". Ефективна реалізація функцій експлуатації морського судна досягається у певному організаційно-технічному середовищі (системі). Така, найбільш загальна, система експлуатації (рис. 1, б) являє собою сукупність технічних об'єктів і засобів експлуатації, організаційних структур і ресурсів, необхідних і достатніх для досягнення мети функціонування при заданих умовах експлуатації. Безумовно, що у рамках наведених на рис. 1 структурних схем можна виробити детальну декомпозицію окремих її елементів. Очевидно, що ступінь досконалості будь-якої виробничої системи залежить, у першу чергу, від проектних рішень, прийнятих на найперших етапах її проектування – на рівні аван-проекту (тобто, концепції створення).

Для оптимізації (фінансової, часової, функціональної) процесів проектування, створення нового судна, експлуатації, ремонту та утилізації необхідно застосування спеціальних методик, а також показників і критеріїв (технічних, економічних, інтегральних). Показники і критерії повинні дозволяти

оцінювати ступінь досконалості об'єктів або реалізованих процесів (у тому числі – експлуатаційних). Одна з універсальних і загальноприйнятих оцінок – оцінка ККД (коефіцієнт корисної дії), що показує, яка частина з усіх витрат (використання) перетворена у корисний (цільовий) ефект.

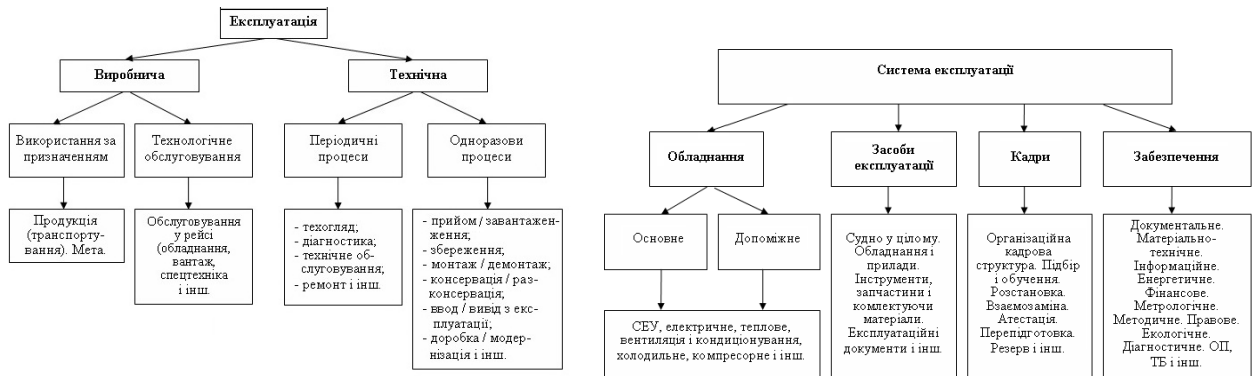


Рис. 1. Загальна структура експлуатації і системи експлуатації судна

Основною метою експлуатації цивільного судна є фінансовий результат $C_{Ц}$ [20]:

$$C_{Ц} = C_{Pe} \cdot P_E - (C_Y \cdot E_Y + C_T \cdot E_T + C_P \cdot E_P + C_V \cdot \Delta V),$$

де C_{Pe} , C_Y , C_T , C_P , C_V – вартісні вимірники, відповідно, транспортної роботи, потоків енергії, технічного потенціалу; $C_{Pe} \cdot P_E$ – доходи від транспортної роботи; $C_Y \cdot E_Y$ – витрати на управління, у тому числі на утримання особового складу; $C_T \cdot E_T$ – витрати на паливо і мастильні матеріали; $C_P \cdot E_P$ – витрати на ремонт; $C_V \cdot \Delta V$ – амортизаційні відрахування (витрати на відновлення технічного потенціалу). А у якості цільової функції можна прийняти функцію:

$$F_u = \Sigma (D_{ci} \times T_{ei}) / \Sigma (R_i \times n_i),$$

де D_{ci} – чиста вантажопідйомність судна, т; T_{ei} – експлуатаційний період, доб; R_i – сумарні витрати на технічну експлуатацію (ТЕ), грн; n_i – кількість членів екіпажів суден, експлуатаційних працівників, середня кількість працівників судноремонтних заводів.

Щоб функція прагнула до максимуму ($F_u \rightarrow \max$) потрібно щоб T_{ei} збільшувався, а R_i зменшувався. Однак це неможливо без оцінки і прогнозування технічного стану (ТС) суден і суднових технічних засобів (СТЗ). У зв'язку з природним старінням суден потреби у ремонті можна знизити шляхом ефек-

тивної і грамотної експлуатації, підтримки на заданому рівні ТС, підвищенням ефективності роботи берегових баз технічного обслуговування (ТО).

Таким чином, підвищення ефективності експлуатації судна цивільного призначення укладено у знаходженні способів збільшення цільової функції $F_{ц}$. Тобто, за рахунок оптимізації співвідношення її показників (ціни транспортної роботи, витрат на особовий склад, паливо, ремонт без погіршення ТС) необхідно отримати від експлуатації найбільший фінансовий результат.

Для різних транспортних систем застосовується поняття "ефективність". Зазвичай, під ефективністю розуміється "інтегральна властивість цілеспрямованого процесу функціонування агрегату, системи, пристрою, механізму, устаткування і так далі, що характеризує ступінь його пристосованості до виконання головної мети з урахуванням витрат ресурсів (матеріальних, часових)" [4, 21-23]. Для транспортного морського судна цивільного призначення врахуємо наступне [4, 20, 22, 23].

1. Необхідно прийняти, що термін "ефективність" відноситься до цілеспрямованого процесу використання судна, як виробничої системи, а не до судна, як до об'єкта (системи). Тобто "ефективний процес" є об'єднана загальним задумом і єдиною метою, узгоджена і цілеспрямована сукупність дій. І, якщо оцінювати ефективність експлуатації морського судна, то необхідно однозначно сформулювати головну мету, яку необхідно досягти.

2. Ефективність процесу (результати), визначаються досконалістю обладнання, умовами функціонування, наприклад, метеорологічними, досконалістю використання наявних ресурсів. При оцінці ефективності проведення процесу вкрай важливо, якою ціною і за який часовий інтервал буде досягнута мета, якою ціною буде отриманий цільовий ефект, і саме витрата ресурсів зумовить спосіб здійснення процесу.

3. Результируюча ефективність цілеспрямованої діяльності складної технічної системи (СТС), якою є сучасне морське судно, визначається якістю рішень, що приймаються не тільки на рівні управління, а й закладаються на концептуальному рівні її проектування. Різні показники (технологічності, матеріало- і ресурсоемності, енергетичної досконалості, екологічності, резуль-

тативності, оперативності, досконалості ТО і Р, патентної чистоти і інші) входять у поняття ефективності і містять приватні показники.

4. При оцінюванні проекту судна, процесів його будівництва, ефективності експлуатації, ремонту, обслуговування та інших необхідно проводити первинну оцінку. Така первинна оцінка проводиться за допомогою спрощених критеріїв, що інтегрально характеризують певну сторону процесу (етапу експлуатації, конструктивно-технологічних та інших проектних рішень). За допомогою такої первинної оцінки виділяють всі істотні, що найбільш впливають на кінцевий результат, фактори. Далі застосовують оцінки і критерії для більш детальних властивостей всіх виділених істотних чинників [4, 23].

Поширені традиційні критерії, за допомогою яких проводиться оцінка ефективності: а) питомі витрати на одиницю продукції і питомі трудовитрати; б) питома вартість машино-години функціонування обладнання; в) коефіцієнти готовності і використання обладнання; г) напруження на відмову. Однак традиційні критерії достовірні тільки при застосуванні їх вже на стадії дослідної експлуатації або на завершальній стадії проектування.

Один із загальноприйнятих критеріїв – критерій "загальної ефективності обладнання" (ЗЕО, *Overall Equipment Effectiveness – OEE*) [www.oee.com]. Критерій враховує готовність обладнання та втрати від простою; продуктивність обладнання і втрати від зниження швидкості виробництва; якість продукції і втрати від зниження якості. Поганий показник за критерієм *OEE* – менше 65%, задовільний – 65 ... 75 %, добрий – 75 % і вище. При оцінках за допомогою *OEE*, необхідно враховувати ціну досягнення мети, а також те, що для прийняття коректних управлінських або проектних рішень завжди апріорна інформація, яка необхідна для розрахунків показників, повинна бути достовірною (верифікованою) і повною. Саме тому необхідно додаткове порівняння вартості можливих заходів і вигоди від їх реалізації, яке на стадії аван-проектуювання можливо тільки за допомогою експертних оцінок [4, 16, 23-26].

Таким чином, визначення ефективності експлуатації судна з практичної точки зору має цінність тільки при комплексному проведенні оцінок, аналізі та синтезі. Можна стверджувати, що оцінка і аналіз ефективності експлуата-

ції, як процесу, це ідентифікація значень інтегральних показників ефективності і впливаючих на його величину параметрів. Оцінка і аналіз є основною частиною, наприклад, при вирішенні прямої задачі несуперечливого проектування судна [27-29].

Синтез ефективного процесу експлуатації – зворотна задача, яка полягає у відборі значень керованих параметрів, які гарантовано забезпечують необхідне значення інтегрального показника ефективності проведення процесу. Тільки при синергетичному (системному) підході до оцінки ефективності експлуатації судна можливі обґрунтування для проектування, створення і/або придбання нового судна (системи, її складових), обґрунтування для вибору способу застосування (при реновації, модернізації) існуючого судна для досягнення сформульованої мети.

Регістрова книга Регістра судноплавства України (РСУ) містить перелік суден, які мають бути класифіковані або повинні мати конвенційні документи: "...судна довжиною більше 24 метрів, незалежно від типу та призначення, пасажирські судна, криголами, буксири, штовхачі, плавучі крани, судна технічного флоту, судна спецпризначення, судна, призначенні для перевезення небезпечних вантажів незалежно від їх довжини" [<http://www.shipregister.ua/pdf/reg-ships.pdf>].

Уточнимо, саме що у сучасній термінології мається на увазі у понятті "допоміжний флот". За визначенням [30], "Допоміжний флот – складова частина ВМФ, яка організаційно складається із з'єднань і частин морських і рейдових суден забезпечення, суден спеціального призначення. Допоміжний флот призначений для забезпечення бойової і повсякденної діяльності кораблів і берегових частин ВМФ". Судно забезпечення (синонім – допоміжне судно) входить до складу ВМФ (ВМС) – військово-морське або рейдове судно, призначенням якого є забезпечення діяльності сил флоту у воєнний і мирний час. Судна допоміжного флоту можуть бути спеціальної будівлі або переобладнаними з інших кораблів або суден (конверсія, реновація). Морські судна допоміжного флоту діляться на судна: а) забезпечення бойової підготовки, випробувань зброї і техніки; б) медичного забезпечення, радіаційної безпеки та хімічного захисту; в) навігаційного і гідрографічного забезпечення;

г) транспортного забезпечення; д) аварійно-рятувального забезпечення; е) технічного забезпечення; ж) забезпечення базування кораблів і обладнання театрів бойових дій.

Судна забезпечення базування кораблів і обладнання театрів бойових дій призначені для забезпечення зв'язком та постачання маневрених пунктів базування, проводки кораблів і суден у льодах, прокладки підводних кабелів, трас, буксирування, конвоювання, супроводу, установки боних загород і виконання безлічі інших *вузькоспеціалізованих* завдань. До таких суден належать: судна зв'язку, криголами, кабельні судна, морські буксири та інші.

Основним завданням дослідження є розробка теоретичних передумов для створення високоефективного при *багатоцільовий* експлуатації на внутрішніх водах України судна допоміжного флоту. Зрозуміло, що по суті це може бути тільки судно подвійного призначення (ПП), що забезпечує вирішення специфічних завдань, як цивільного, так і при необхідності військового флотів України. Тут слід урахувати, що ефективна комерційна експлуатація судна і ефективна бойова експлуатація істотно розрізняються. Саме тому потрібно розглянути поняття і "бойової ефективності".

Бойова ефективність (БЕ) – узагальнююча характеристика озброєння і військової техніки (ОВТ), з її допомогою оцінюють ступінь відповідності ОВТ функціональним призначенням і цілям, поставленим при створенні.

Можна зробити висновок, що оцінювання переваг і недоліків ОВТ проводиться за допомогою критеріїв порівняння. Їх використання на етапі аванпроекту, на етапі розробки технічного завдання забезпечить: а) відповідність економічним обмеженням і вимогам держави, б) мінімізацію і раціональне використання (експлуатацію) виділених цільових ресурсів, в) високий рівень ефективності, узгодження можливостей ОВТ зі стратегічними цілями модернізації і вдосконалення Збройних сил України (ЗСУ).

Теоретично, ЗСУ повинні використовувати тільки такі ОВТ, які у рамках свого життєвого циклу задовольняють основному критерію "*Ефективність – Час – Вартість*". Сутність критерію очевидна – внесок при експлуатації зразка ОВТ у збитках, що наносяться противнику, або відвернений собі, повинен бути виправданий не тільки тактично, але й економічно. Це і є осно-

вний принцип ефективної експлуатації, і саме у цьому полягає головна домінанта функціонування ЗСУ в умови підготовки або проведення звичайного (без'ядерного) збройного конфлікту. І саме це є головним протиріччям теоретичного обґрунтування конструкції та ефективної експлуатації багатоцільового судна допоміжного флоту.

При виборі і обґрунтуванні конструкції та призначення судна допоміжного флоту у існуючих умовах обмежень (фінансових, часових, технологічних, нормативно-правових, політичних) необхідно прогнозувати його внесок: а) у наявний потенціал флотів; б) ціну реалізації проекту; в) ключові характеристики; г) часовий чинник; д) суб'єктивну складову.

Розширений аналіз властивостей нових і перспективних ОВТ використовує показники ефективності, вартості і можливостей експлуатації, але основою визначення чисельних значень показників є процес моделювання бойових дій у типових ситуаціях [31-33]. Особливий вплив на ефективність складного багатоцільового ОВТ надає фактор морального старіння – саме на етапах проектування необхідно закладати такі властивості і характеристики, які до моменту початку експлуатації будуть актуальні. В умовах безперервного вдосконалення противником засобів ОВТ (протиповітряної оборони, зв'язку, радіоелектронних та кіберзасобів боротьби, логістики, управління та інші) затримка з прийняттям на озброєння нового ОВТ, бойова ефективність нових систем буде різко знижена.

Поширеними є приватні показники оцінки бойової ефективності: а) ймовірність виконання бойового завдання при діях сил флоту; б) ймовірність ураження типовий цілі; в) середнє значення (математичне очікування) ефективного виконання завдання і т. д.

Таким чином, перспективні показники, у тому числі бойової ефективності, повинні бути сформульовані вже у технічному завданні (ТЗ) на етапі аван-проекту створення судна і є основою для його проектування.

1.2 Можливості застосування цивільних суден у допоміжному флоті та багатоцільові судна сучасного військового флоту

Багатоцільове судно – це судно, певним чином пристосоване для здійснення низки технологічних функцій, які зазвичай виконуються декількома вузькоспеціалізованими суднами. Багатоцільові судна створюються з метою універсалізації застосування в різних кліматичних умовах і обставинах (соціальних, політичних, техногенних й ін.) для більш гнучкої та економічної експлуатації, вирішення різноманітних і нестандартних завдань, коли є гостра нестача часу на проведення спецоперацій та інших обставин, що ускладнюють застосування вузькоспеціалізованих суден. Типовими прикладами багатоцільових суден цивільного флоту є судна, які забезпечують роботу морських нафтопромислів, мають на борті вантажопідйомне й ремонтно-рятувальне устаткування, предмети постачання бурових установок, обладнання для виконання робіт під водою та пожежогасіння, будматеріали, а також спроможні перевозити екіпажі, спецконтингент, виконувати спеціальні завдання пошуку, порятунку, евакуації різного призначення, здійснюють обслуговування офшорного флоту та ін.

Під поняттям *"товар подвійного призначення (застосування)"* [34, 35] мається на увазі продукція, вироби, обладнання або технології, які можуть задовольняти не тільки цивільні (мирні) потреби, а й використовуватися задля військових цілей [36]. У різні історичні епохи, у разі потреби, до складу військово-морських сил (ВМС) флотів різних морських держав входили цивільні судна. Такі судна використовувалися не тільки за прямим призначенням, але й у якості, наприклад, військових транспортів або, після більш серйозного переобладнання, перетворювалися у бойові кораблі. Судна, таким чином, ставали багатоцільовими кораблями (суднами) подвійного призначення (ПП).

Важливим моментом створення суден ПП, що дозволяє їх ефективно застосовувати у мирний і у воєнний час, стали істотні відмінності у концептуальному підході – у принципах конструювання та проектування цивільних суден. Саме тому створений у 1950 – 1980 роки цивільний флот СРСР вже

мав нові характеристики. Ці нові тактично-технічні характеристики (ТТХ) мирних суден могли враховувати і багато в чому забезпечувати інтереси активної оборони. Вже на стадії проектування цивільних суден, не завжди з економічним обґрунтуванням, максимально враховувалася можливість їх "воєнізації", а інколи проекти цивільних суден враховували можливість встановлення активних видів озброєння.

У 50-ті роки ХХ-го століття конструкторами передбачалася можливість швидкого переобладнання сейнерів пр. 388 у рейдові тральщики, а катерних тральщиків – у малі сейнери пр. 389. На цивільних буксирах (пр. 745) (70-ті роки ХХ-го століття) передбачалась можливість встановлення зенітних автоматів АК-630 або двоствольних автоматів АК-230. Всі атомні криголами обладнані фундаментами і кріпленнями для артилерії: на криголах "Ленін" є можливість швидкого монтажу 45-мм зчетверених зеніток типу СМ-20-ЗІФ, а на "Арктиці" – монтажу двох 76-мм артустановок АК-726, чотирьох 30-мм 6-ти ствольних зенітних автоматів АК-630. Новими проектами передбачалася можливість використання у воєнний час криголамних транспортів (пр. 550) і суховантажних суден (типу "Андижан", "Вента", "Вилуй", "Онда", "Посьет") у якості мінних загороджувачів. Ці судна могли транспортувати ракети.

Малі протичовнові кораблі створювались на основі нових проектів суден ПП – на базі риболовецьких суден. Ці проекти передбачали можливість монтажу спрощених комплектів активного озброєння. Протичовново-патрульні кораблі легко перетворювались з середніх морозильних рибальських траулерів типу "Маяк" (пр. 502), з рефрижераторних сейнерів–траулерів типу "Альпініст" (пр. 503). Рейдові катери типу "Ярославець" (пр. 376) надходили й у військовий, і в цивільний флоти. Такі судна відразу проектувались як багатоцільові: катерні тральщики, водолазні, роз'їзні, патрульні, гідрографічні, дослідні. За новою концепцією ПП при проектуванні, у Миколаєві були побудовані вдосконалені газотурбінні ролкери типу "Капітан Смірнов" (пр. 1609) з кормовою апареллю. Створені за концепцією ПП теплоходи-ваговози класу "ро-флоу" "Стахановець Котов", "Стахановець Єрмоленко", "Стахановець Петраш" (пр. 0217) призначені для перевезення великовагових і великогабаритних вантажів. Фактично, будь-яке судно (пр. 0217) було високомобільним десантним доком-

транспортером. Арктичні постачальники "Іван Папанін" і "Олександр Слезюк" (пр. 10621) отримали надлишкове бортове устаткування рейдового розвантаження – по два пошуково-рятувальних середніх транспортних гелікоптера "Ка-32" (з можливістю установки на них озброєння), спеціальні платформи на повітряній подушці.

Потрібно зазначити, що інформація про бойові дії багатьох мобілізованих суден у різні історичні часи є у різноманітних відкритих джерелах. Набагато менше інформації про те, як передбачалося використовувати цивільні судна, що були переобладнані для ведення військових дій, після закінчення військових подій. Можна показати, що реновація задля цивільних потреб раніше мобілізованих суден практично не проводилася через цілу низку причин.

Сучасний вигляд ВМФ провідних держав почав набувати після II-ї світової війни. Разом з кінцем цієї війни завершилися великі морські битви. Завдяки сучасним технологіям, зокрема, комп'ютерним та інформаційним, завдяки бурхливому розвитку світового ринку, навіть невеликі держави змогли придбати ефективні й найсучасніші ВМС. Наприклад, фрегати класу "Лафайєт", які побудовані з використанням технології "Стелс", придбали: шість одиниць, з посиленням озброєнням – Тайвань, шість – Республіка Сінгапур, три – Саудівська Аравія. Зараз такі авіаносці перебувають на озброєнні дев'яти держав, проте будівництво та утримання цих кораблів вимагає величезних ресурсів. Якщо проаналізувати завдання, які вирішуються авіаносцями й іншими великими військовими вузькоспеціалізованими суднами, то легко зрозуміти, що бойове застосування таких кораблів зводиться, загалом, до залякування передбачуваного супротивника. Таким чином, внаслідок безперервної глобалізації – процесу всесвітньої економічної, політичної, культурної, релігійної інтеграції та уніфікації, характер сучасної морської війни істотно змінюється.

Наразі потрібна висока гнучкість виконання бойових і антитерористичних завдань, вкрай гострою стає роль інформаційних технологій, розвідки, обробки інформації, пошуку, порятунку і т. д. З огляду на обмеженість матеріальних ресурсів, морські держави вимушені не тільки встигати за науково-технічним прогресом, а вирішувати завдання довгострокового "упередженого"

планування, оптимізувати склад флоту, визначати, які судна знадобляться у найближчій перспективі, і, що головне, як поєднувати функції суден для виконання мирних і бойових завдань.

Тенденції розвитку громадянського флоту показують, що всі морські держави починають віддавати перевагу невеликим багатоцільовим суднам різного функціонального призначення і з різними ТТХ. Це невеликі судна ПП, наприклад, які можуть нести літак з вертикальним злетом і посадкою, літак з коротким злетом і вертикальною посадкою, бойові гелікоптери, безпілотні літаючи і морські апарати, різні спеціалізовані та допоміжні засоби і системи, можуть здійснювати льодову проводку, виконувати завдання постачання, пожежогасіння, евакуації і т. д.

Відповідно до концепції НАТО "Максимум боєздатності у перерахунку на один долар" створено безліч кораблів ВМФ США. Наприклад, корабель берегової оборони "Індепенденс", вироблений компанією "Дженерал Дайнемикс" (патрулювання, оперативне реагування, демонстрація сили у прибережних водах); підводні човни, недорогі у будівництві та здатні успішно протидіяти навіть кращим протичовневим суднам, літакам і гелікоптерам; сторожові кораблі, що здатні виконувати різні завдання у складі флоту або поодиноці. Загалом це все багатофункціональні судна, здатні перевозити спорядження, боєприпаси, продовольчі речі та війська, а також надавати бойову підтримку.

Часто від бойових кораблів очікують дуже багато, але далеко не всі дуже дорогі в будівництві та експлуатації судна дійсно відповідають зростаючим вимогам. Сьогодні у більшості ВМФ десантні кораблі використовуються не тільки для перевезення військ і їх підтримки, а й для надання гуманітарної допомоги. Хоча великі десантні кораблі й несуть на борту літаки–винищувачі і гелікоптери, але за своєю сутністю ці судна є спеціалізованими багатофункціональними платформами (кораблі класу "Уосп", *LHA-R*), що дозволяють виконувати низку суто мирних завдань.

Сучасні ВМФ перетворюються на флоти, які у своїй більшості складаються з недорогих багатоцільових кораблів, обладнаних новітньою електронікою й озброєнням, та які дозволяють проводити свою подальшу модерніза-

цію. Такі невеликі багатофункціональні авіаносці, кораблі типу ескадрених міноносців (есмінець, фрегат, корвет), універсальні гладкопалубні десантні судна, здатні не тільки, наприклад, брати участь у різних антитерористичних операціях, а й надавати гуманітарну допомогу, висаджувати десант, виконувати інші завдання.

За прогнозами військових фахівців, найбільшим бойовим кораблем майбутнього буде есмінець, а авіаносці стануть набагато меншими у порівнянні з сучасними, оскільки особливої необхідності у величезних кораблях такого класу немає. Вважається, що з часом до складу більшості флотів буде входити один невеликий авіаносець, а основним кораблем стане багатофункціональний сторожовик, оскільки військові конфлікти, що вимагають втручання, часто виникають у прибережних регіонах. Крім того, такий багатофункціональний корабель є придатним для використання у рятувальних операціях у районах природних або техногенних катастроф.

Таким чином, оскільки ареною битв стало узбережжя, ролі різних класів бойових кораблів різко змінилися, і дуже часто універсальність корабля, здатність його вирішувати різноманітні, та часом, непередбачувані багатоцільові завдання має чільне, суттєве значення.

1.3 Аналіз особливостей реновації та конверсії існуючих цивільних суден

Під технічним наглядом Регістру судноплавства України перебуває більше 230 суден (на 2015 рік). Наразі їхній середній вік становить 25 років, при цьому є судна з віком більшим, ніж 50 років. Протягом терміну служби судна відбуваються суттєві зміни в структурі перевезень вантажів і технології вантажних робіт, змінюються умови комерційної та технічної експлуатації, з'являються нові прогресивні рішення у суднобудуванні, судноплаванні, ремонті, обслуговуванні. При цьому техніко-експлуатаційні характеристики (ТЕХ) суден залишаються незмінними, або погіршуються. У своєму життєвому циклі судна піддаються фізичному й моральному зношуванню.

Фізичне зношування проявляється у зміні геометричних розмірів і форми судових конструкцій, деталей, структури матеріалів, зміні механічних

властивостей, хімічного складу, у корозії та ерозії, зміні шорсткості поверхні й обростанні тваринними й рослинними організмами, нагару, накипу, забрудненнях та інших чинниках. Ці процеси відбуваються як під час нормального функціонування суден і їхніх елементів (механічне зношування тертьових пар суднових механізмів, втомне зношування деталей, що працюють зі знакозмінним навантаженням), так і під дією сил природи (корозія деталей і вузлів механізмів, зміна властивостей матеріалів). При цьому основні елементи суден (корпус, суднові пристрої), піддаються спільному впливу факторів.

У результаті фізичного зношування погіршується технічний стан і ТЕХ суден, збільшується ймовірність виникнення відмов, аварій, забруднення навоколишнього середовища. Підтримка заданого рівня технічного стану судна досягається шляхом відновлення його елементів, заміною зношених частин, регулюванням систем, механізмів, апаратів і проведенням інших технологічних операцій, сукупність яких являє собою технічне обслуговування й ремонт. Їхнє виконання є об'єктивною необхідністю й неодмінною умовою ефективного функціонування суден.

Моральне зношування не залежить від технічного стану суден і пов'язане з появою технічно більш досконалих суден. Нові судна мають кращі техніко-експлуатаційні характеристики і тому більш високу конкурентоспроможність – забезпечують більш високий фінансовий і соціально-політичний результати при менших витратах на одиницю транспортованої продукції.

Одним із способів протидії моральному зношуванню є реновація і конверсія суден [37-40] – якщо вони застаріли, проблемні елементи та технічні засоби судна мають недоліки, які призводять до необхідності виконання передчасних робіт або впливають на безпеку судна. У цьому процесі усуваються конструктивні недоліки, виконуються роботи з покращення техніко-експлуатаційних характеристик суден і його елементів, робляться відновлення корпусів, судно оснащують засобами нової техніки. Таким чином покращуються техніко-експлуатаційні характеристики судна шляхом зміни конструкцій його елементів, заміни окремих суднових механізмів, систем і пристроїв на більш сучасні й більш ефективні. Реновація і конверсія забезпечують високу ефективність капітальних вкладень, тому що реконструкції під-

даються тільки окремі елементи судна, основна ж частина упередженої праці зберігається. Доведено, що чим вища будівельна вартість судна й менший його фізичний знос, тим вища очікувана ефективність від проведення його реновації.

Можна стверджувати: якщо наслідки фізичного зношування суден усуваються шляхом проведення ремонту, то наслідки морального зношування – тільки шляхом проведення кардинальної модернізації, реновації або конверсії.

Таким чином, існуючий стан проблеми потребує для її вирішення системного, науково обґрунтованого підходу – тобто, подальшого розвитку сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту, зокрема її методів, технологій і прийомів, розробки нових ідей, гіпотез і концепцій побудови і експлуатації суден.

На даний час для українського цивільного і військового флотів практично відсутні замовлення на будівництво суден і серйозні інвестиції у найближчі роки не передбачаються.

Судноплавні компанії, що експлуатують цивільні судна, яким більше ніж 20 років, але мають гарний технічний стан і професійно підготовлені екіпажі, не можуть утворювати конкуренцію на рівних з недобросовісними судновласниками, які експлуатують судна з низьким стандартом свого стану. Тому МАКТ (Міжнародна Асоціація Класифікаційних Товариств) ввела процедуру розширеного огляду нафтоналивних, газовозних і навалочних суден з метою виявлення найбільш серйозних випадків зносу корпусних конструкцій. Провідні класифікаційні товариства ввели різні схеми оновлення (реновації) корпусу та схеми оцінки стану суден. Висока вартість побудови привела до того, що судновласники почали шукати шляхи продовження терміну служби існуючих суден – для забезпечення безпечної експлуатації та збереження прийняттого рівня ризику. У світовій практиці використовується низка схем і процедур збереження безпечного й рентабельного рівня експлуатації існуючих суден. Загалом, в основу цих процедур закладена одна з двох основних цілей або їх поєднання: оновлення (реновація) і переобладнання (конверсія).

Провідними класифікаційними товариствами-членами МАКТ розроблені спеціальні процедури (огляду) продовження безпечної експлуатації суден на 3–5 років. Вони розділені на дві групи: обов'язкове проведення огляду (класифікаційний та конвенційний) – "Огляд за розширеною програмою" (ОРП, "*Condition Assessment Scheme*", *CAS*), а також необов'язкове проведення огляду (огляд для і за дорученням судновласника) – "Програма аналізу стану судна" (ПАСС, "*Condition Assessment Program*", *CAP*).

Перша група огляду проводиться класифікаційними товариствами або представниками морських адміністрацій (адміністрацій прапора, порту). Обов'язкове проведення огляду: початковий і огляд під час будівництва судна; щорічний; проміжний; черговий; огляд підводної частини корпусу, а також розширений огляд навалювальних, нафтоналивних, комбінованих суден і газозовів. Обов'язкові позачергові: для контролю усунення виявлених недоліків або пошкоджень; після аварії; під час надання відстрочок періодичних або докових оглядів; при існуючих замінах об'єкта нагляду, переобладнання або ремонту.

До другої групи належать численні види оглядів судна і його елементів, що проводяться, як безпосередньо представниками судновласника (суперінтендантами), так і за дорученням або в інтересах судновласника, іншими організаціями: страховиками, незалежними сюрвеєрами з метою підтвердження ефективності та безпеки судна. Необов'язковий огляд: під час підтвердження рекламацийних актів; під час оновлення корпусу; під час прийому суден у тайм-чартер і здачі суден з тайм-чартеру; під час перегону суден поза встановленим районом плавання; під час видачі буксирувального сертифіката для перегону судна, списаного на брухт. Огляд за Розширеною програмою (*CAS*) містить вивчення фактичного технічного стану судна, контроль наявних на борту актів класифікаційного товариства й рекомендацій щодо поліпшення нагляду за розглянутим судном.

"Програма аналізу стану судна" (*CAP*) містить широку базу для аналізу й оцінки фактичного стану основних елементів судна. Програма містить перевірку фактичного стану судна стосовно корпусу, машин, механізмів і вантажних систем, вона заснована на огляді, ознайомленні з документами, замі-

рах залишкових товщин і наявних дефектів, вимірах вібрації, розрахунках міцності корпусу. За цією програмою діє уніфікована шкала оцінки стану: *CAP 1* – (*Condition Assessment Program 1* – відмінний стан судна (його окремих частин і елементів); *CAP 2* – добрий; *CAP 3* – задовільний; *CAP 4* – поганий. Термін дії сертифіката *CAP 3* – 4 роки.

Серед вітчизняних судновласників найбільш відомою і широко застосованою на практиці схемою продовження терміну служби є реновація корпусів суден (*Hull Renovation*).

Реновація – спосіб продовження терміну служби судна. Під реновацією корпусу мається на увазі комплекс заходів з відновлення фактичного технічного стану корпусу до встановлених класифікаційним товариством рівнів оновлення. Шляхом реновації зменшується розрахунковий вік при збереженні конструкції корпусу судна і його призначення. Так, судно 25-річного віку порівнюється з тими, що мають вік 5 і 10 років і на підґрунті подібності визначається обсяг реноваційних робіт.

Після реновації до рівня, який вимагає класифікаційне товариство, видається сертифікат *Hull Renovation* (корпус судна розглядається вже як 5-річний 1SS або 10-річний 2SS рівень). Після завершення робіт зберігається рік побудови, початковий клас і тип судна. Процедура реновації дозволяє судновласнику експлуатувати судно в портах, де є обмеження (15, 20 років) за віком суден. Судна віком більше ніж 30 років, що не пройшли реновацію, отримують підтвердження класу Регістру, найчастіше – на два роки і повинні щорічно докуватися [20].

Головний недолік даної процедури полягає в тому, що реновація в подібному трактуванні стосується тільки корпусу. Машини, механізми, пристрої та системи залишаються майже без змін. Ця схема не дозволяє, як правило, знизити страхові ставки й мало впливає на економіку судна, оскільки в цілому ризик експлуатації судна залежить не тільки від стану корпусу, а й від інших елементів судна.

"Центром розробки правил Регістру" у 2001–2002 роках підготовлено принципово новий документ, що вперше у світовій практиці містить вимоги стосовно оновлення не тільки корпусу, а й машин, механізмів і електрообла-

днання суден, піднаглядних Регістру. Введено два рівня поновлення: перший (Y1), аналог 1SS, який засвідчує технічний стан, що відповідає стану судна після 5 років експлуатації від дати побудови (для суден віком не більше 20 років); другий (Y2), аналог 2SS, який засвідчує технічний стан, що відповідає стану судна після 10-річної експлуатації від дати побудови (для суден віком не більше 25 років).

Передбачається, що в межах такої процедури поновлення судна, забезпечиться продовження надійної і рентабельної експлуатації суден внутрішнього і річка-море плавання на 15–20 років.

Процедури продовження терміну служби суден вельми різноманітні й не дозволяють виділити з них, в якості загальної рекомендації, найбільш ефективні. Для суден внутрішнього плавання, промислових суден та інших об'єктів, які не здійснюють міжнародних рейсів або не охоплюються міжнародними конвенціями, рекомендовані процедури поновлення корпусу й капітального ремонту. Для вантажних суден рекомендовані проведення процедури *CAR*, що дозволяє продовжити на відносно невеликий термін рентабельну експлуатацію старих суден. Вибір схеми забезпечення надійної та рентабельної експлуатації судна повинен базуватися на ретельному аналізі фактичного стану всіх елементів судна і передбачуваних умовах його роботи (вантажі, район плавання, вимоги адміністрацій прапора, портів заходів, класифікаційних товариств, фрахтувальників, страховиків).

Конверсія [41] (*conversion*) – велика модернізація судна з його показниками за всіма частинами як "нового", з повним пакетом документів і терміном служби, що обчислюється від дати модернізації. Часто після конверсії судно набуває нових технологічних якостей. У вітчизняній і світовій практиці суднобудування і судноремонту накопичено великий досвід конверсії суден. До неї відноситься переобладнання суден, під час якої змінюються характеристики або конструктивні параметри судна (вагові характеристики, місткість, габарити судна, надводний борт, потужність силової установки, льодове посилення тощо) і які могли спричинити зміну типу і призначення, розмірення, пасажиромісткості, збільшення терміну експлуатації судна або зміну символу класу, зміну цільового призначення, функцій [37, 41]. Конверсія суден дозволяє вирішувати завдан-

ня з продовження терміну служби, підвищення безпеки, цільового призначення в найкоротші терміни і з мінімальними витратами.

Деякі судна стають морально застарілими задовго до початку крайнього фізичного зносу їх корпусів і механізмів. При цьому, передчасне моральне старіння не є приводом для здачі судна у брукт, і виходом з такого становища може стати реновація або конверсія.

Необхідність конверсії визначається наступними причинами:

- зміною призначення судна. Наприклад, для цивільного судна у зв'язку зі зміною структури вантажопотоку, переорієнтацією на інші види вантажів, уніфікованих вантажних місць, інші райони плавання, надання судну специфічних функцій (подвійне призначення) і т.д.;

- моральне старіння суден. Наприклад, обумовлене зміною технології перевезення та обробки вантажів, посиленням міжнародних і національних вимог, зміною цін на паливо, необхідністю зміни промислового та іншого технологічного обладнання і т.д.;

- фізичне старіння суден і їх окремих елементів;

- значні пошкодження суден, отримані у результаті аварій або бойових дій.

Під час конверсії існують проблемні особливості застосування нових і старих елементів судна. Згідно чинних реєстрових Правил, під віком судна розуміється проміжок часу між датою будівництва і датою на даний момент. Особливо наголошується на тому, що дата будівництва не може бути змінена в результаті значного переобладнання, модернізації або реновації судна. Якщо проведена повна заміна або вбудована значна частина (секція) корпусу судна (наприклад, носова або кормова частини, циліндрична вставка), то можуть бути встановлені наступні дати:

- дата побудови для кожної, заміненої або вбудованої частини корпусу, що базується на даті її побудови;

- щорічні дати проведення огляду на підтвердження справності для замінених або вбудованих частин.

Конверсія потребує врахування наступних накопичених у процесі експлуатації судна дефектів:

- корозійне і механічне зношування корпусних конструкцій і зварних швів, особливо стоншення локального характеру, що погано документується й у традиційних перевірочних розрахунках міцність не враховується;

- деформації настилів другого дна і другого борту у результаті контакту з вантажем і засобами вантажної обробки у портах, деформації зовнішньої обшивки у результаті контакту з ґрунтом на мілководді, стінками шлюзів, каналів, причальних споруд, льодом;

- накопичені втомні пошкодження у зоні концентрації напружень, особливо мікротріщини й порушення кристалічної структури матеріалу, які не можуть бути виявлені під час огляду;

- можлива зміна фізико-механічних властивостей матеріалу корпусу.

Під час визначення коефіцієнтів запасу конструкцій конверсованого судна слід враховувати такі фактори, як строк експлуатації судна; умови його експлуатації з хвилюванням (море/річка), за інтенсивністю експлуатації, вантажів, методам вантажної обробки, а також за обсягом і методом раніше проведених ремонтних робіт.

Після проведення конверсійних робіт судновласник отримує практично нове судно з повним комплектом документів, схваленим класифікаційним товариством, а термін служби судна може обчислюватися від дати модернізації. Звичайно, основним шляхом поповнення флотів спеціалізованими судами є суднобудування. Однак необхідну транспортну одиницю в багатьох випадках можна отримати шляхом реновації та конверсії. Як правило, подібна конверсія [37, 41] дозволяє змінити цільове призначення судна, і становить до 30 % від вартості нового. У цьому випадку виграш у часі досягається не тільки за рахунок меншої тривалості робіт, а й значного скорочення термінів проектування. Важливою обставиною є і той факт, що портфель замовлень суднобудівних верфей у країнах зі стабільною економікою зазвичай укомплектований на один-два роки наперед, у той час як судноремонтні підприємства, на базі яких проводиться розмірна модернізація, завжди мають резерви потужностей на найближчий період.

Морські судна зношуються нерівномірно. У районах найбільшого зносу корпусу можливе застосування ефективного секційно-блочного методу ремонту,

особливо при поєднанні відновлювального ремонту з розмірною модернізацією (при заміні зношених конструкцій новими, більшими за розміром).

Аналізуючи численні випадки модернізації та переобладнання суден за кордоном, можна виділити наступні основні технологічні напрямки.

1. Збільшення головних розмірів судна (вставки).
2. Створення багатокорпусних суден з однокорпусних, а також розчленування корпусу на окремі частини, які після дообладнання використовуються в якості самостійних плавучих споруд.

При подовженні корпусу вдається збільшити швидкість судна, а при подовженні і розширенні – зберегти швидкість на тому рівні, що був раніше.

Компанією *Shell UK* у 1989 році проведена реновація, що включала заміну головних двигунів танкера *Shell Craftsman*, який був побудований у кінці 60-х років. Три однотипних танкери, що належать компанії *BP Oil*, перед цим пройшли модернізацію на верфі *Wear Dockyard* у Сандерленді, під час якої були замінені головні двигуни, оновлено покриття танків і т.д. Оскільки корпуси суден, також як і у танкера *Shell Craftsman*, виявилися в гарному стані, термін їх служби був продовжений ще на 15–20 років. Модернізація одного судна зайняла 2 місяці, вартість – 9,6 млн. ам. дол.

Головне завдання конверсії – перепрофілювання судна у спеціалізований контейнеровоз. Як приклад можна привести конверсію серії суден *Leverkusen, Erlangen, Ludwigshafen i Hoehst*, які були побудовані як багатоцільові судна у 1970–1971 роках для роботи на лінії порт Гамбург – порти Америки. За своїм архітектурно-конструктивним типом ці судна були багатопалубними зі зміщеним у корму машинним відділенням, баком, шістьма трюмами, вантажними кранами та стрілами на головній палубі. Роботи були виконані в 1979 році на верфі *Bremen Vulkan* (судна перейменовані в "*Leverkusen Express*", "*Erlangen Express*", "*Ludwigshafen Express*" і "*Hoechst Express*"). Під час конверсії збережені кормова та носова частини з необхідним переобладнанням, встановлена нова середня частина. У результаті змінився клас і призначення судна, його головні технічні характеристики (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Характеристики судна "Leverkusen Express"

Найменування	До конверсії	Після конверсії
Довжина, м	165,10	181,44
Ширина, м	24,5	27,8
Висота борту, м	14,5	14,37
Осадка максимальна, м	10,77	10,59
Дедвейт, т	16265	21307

Судно стало здатне приймати на борт 951 *TEU*, а швидкість судна, незважаючи на збільшення ширини корпусу на 13,5% і його подовження на 10,0%, зменшилася всього на 0,3 вузла.

Відома конверсія багатоцільового судна у контейнеровоз (1980 р.) у Далекосхідному пароплаванні. Судно типу "Пула" на верфі *Jurong* було подовжено на 16,8 м, демонтовані вантажні пристрої і т. д. У результаті контейнеромісткість судна досягла 704 *TEU*, змінилися технічні характеристики судна (див. табл. 1.2)

Особливу роль у вітчизняному судноплаванні займають судна обмежених районів плавання (СОРП), що були отримані шляхом модернізації існуючих річкових і змішаного "річка-море" плавання суден.

Таблиця 1.2. Характеристики судна типу "Пула"

Найменування	До конверсії	Після конверсії
Довжина, м	159,42	176,24
Ширина, м	21,25	21,25
Висота борту, м	12,6	12,6
Осадка максимальна, м	9,68	9,8
Дедвейт, т	14380	15203

Судна мають класи різних реєстрів (*PC*, *GL*, Російського річкового реєстру, Регістру судноплавства України, Польського реєстру, Грецького реєстру, *INSB* й ін.) з різними обмеженнями за віддаленнями від портів, за висотою хвилі, за дозволеними районами і сезонами плавання.

У кінці 50-х років XX-го століття був створений новий архітектурно-конструктивний тип суден змішаного "річка-море" плавання з "комірковими" трюмами, широким розкриттям палуби, практично без "кишень", з подвійним дном і подвійними бортами. Судна і сьогодні влаштовують сучасні засоби

обробки вантажу в портах. Аналогічні судна на морі з'явилися через 20–25 років (морські суховантажні судна до середини 70-х років зберігали архаїчний вид двопалубних суден з вузькими вирізами люків). Перші СЗП проектувалися "розрахунковим" методом конструкторами річкових суден, що дозволило істотно знизити металоємкість корпусу. Кількість проектів неухильно зростала, але їх більшість відповідала одному і тому ж архітектурно-конструктивного типу. У кінці 80-х років ХХ-го століття почався новий етап розвитку СОРП, активно капіталізувалась країна та з'явився приватний судновласник, вантаж дробився до 1000–5000 тонн, більше прав було делеговано річковим пароплавствам, зруйнувалась централізована зовнішньоекономічна система. СЗП якнайкраще підходили для роботи у нових економічних умовах – вантажопідйомність від 2000 до 5000 т, мала осадка, "коміркові" трюми, низька залишкова вартість. Конвенційне дообладнання СОРП без корпусних робіт, збільшення класу й району плавання відбувалися за кількома напрямками. З 1989 року, застосовуючи накладні смуги-листи, у море випущено понад 200 СОРП. Для забезпечення загальної міцності застосовувалися накладні смуги завширшки до 800 мм, які встановлюються на довжині, що відповідає довжині судна. Зміна моменту опору корпусу становила до 40 %, а його зменшення дозволило більш ніж 30 СОРП отримати більш високі класи.

У проектах, що мали високі поздовжні комінгси з полицями на рівні лінії борта, для збільшення ефективності надводного борту змінювалися рішення з "зашивання" бортів – продовження зовнішньої обшивки набором до полиць комінгса. З 1998 року почали реалізовуватися проекти підйому безперервного поздовжнього комінгса, що дозволило під час збільшення моменту опору корпусу збільшити вантажопідйомність і вантажомісткість судна. За кордоном подібні модернізації були пов'язані не тільки зі змінами типу, можливостей і головних розмірів судна, але і з призначенням нової дати побудови (зміни року побудови). За цих обставин всі частини судна були подані класифікаційному товариству на відповідність вимогам правил і міжнародних конвенцій станом на нову дату побудови. У вітчизняній практиці зі зміною року побудови подібні модернізації практично не проводилися. Винятком є досвід

Морського інженерного бюро з переобладнання суховантажних ліхтерів "Дунай–море" класу РС ПСП, що залишилися після розвалу "Інтерліхтер", у несамохідні суховантажні наливні баржі типу "Європа-2". З існуючих ліхтерів різних років побудови (1975–1988 років), шляхом зрощування на суднобудівному заводі у сел. Кілія, отримано понад 20 несамохідних барж класу РС В2 для експлуатації у системі Дунай-Майн-Рейн, а також класу РРР "Р" для річки Волга (побудова у 1998–2000 р.р).

Однак існує низка складнощів правового порядку, наприклад, зі зміною номера *ІМО*, дат побудови судна і головного двигуна.

Конверсія ніколи не буде зведена до простого коригування судових документів і є доволі дорогим заходом (конверсія на вітчизняних верфях становить не менше 30 % від вартості нового судна, а при зміні цільового призначення судна – ще більше, і це без витрат на класифікаційні процедури та оформлення документів на дозвіл). Зрозуміло й наступне.

1. Збільшення терміну служби суден може бути здійснено:

– без зміни віку судна з проведенням реноваційних технічних заходів (заміна корпусних конструкцій) і з отриманням відповідних документів від РС (на рівень 1SS або 2SS), що цілком може влаштовувати судна, які не здійснюватимуть міжнародні рейси;

– завдяки конверсії зі зміною віку судна у варіанті розмірної модернізації без заміни технологічного обладнання; розмірної модернізації з заміною в межах нової вставки всього технологічного обладнання; розмірної модернізації з приведенням у відповідність з конвенціями всього судового обладнання та механізмів.

2. Вибір варіанту збільшення служби судна визначається шляхом техніко-економічного обґрунтування з кожного об'єкта, підготовка якого передбачає обстеження та обґрунтування, що включає: вимоги, яким має відповідати судно на дату подання; класифікаційний район плавання судна; регіон плавання судна (країни, порти заходу); види вантажів, що перевозяться; особливі вимоги, зумовлені експлуатаційними особливостями, районом плавання (національні вимоги, експлуатаційні обмеження); тип розмірної модерні-

зації; приведення у відповідність до міжнародних конвенцій (МК) *SOLAS* і *MARPOL*; приведення елементів корпусу у відповідність до вимог РС; приведення у відповідність до вимог РС характеристик суднових механізмів і обладнання; приведення у відповідність до вимог РС характеристик суднових систем; приведення у відповідність до вимог РС характеристик суднового електрообладнання.

3. До теперішнього часу конверсія та реновація компенсували лише знос корпусу й обладнання. Однак залишається невідновлюване зниження рівня низки морехідних якостей, що викликане віком судна й пов'язаної з цим проблемою безпеки мореплавання.

4. Конверсія суден може надати альтернативу ринку суднобудування. Однак, під час зміни цільового призначення судна, надання судну багатофункціональності та універсальності, надання судну можливостей подвійного призначення, виконання спецоперацій, конверсія повинна бути ретельно обґрунтована і не завжди доцільна.

1.4 Аналіз забезпечення судноплавства у зимову навігацію для цілей обґрунтування льодового класу створюваного багатоцільового судна

Україна має найпотужніший портовий потенціал серед усіх країн Чорного моря. На узбережжі Чорного та Азовського морів знаходиться 18 (див. рис. 1.1) морських торговельних портів (МТП) і 12 портових пунктів (ПП). Порти мають 330 тис. м² критих складів і 2,5 млн. м² складських площ. Найбільш значними з МТП України є Одеський, Чорноморський і Південний порти [2, 3, 9, 10, 12]. На їх частку припадає понад 60 % усього вантажообігу. Ці порти мають найкращі морські підходи, а осадка прийнятих суден може бути до 14,5 м. У гирловій частині найбільших українських річок Дніпра і Південного Бугу розташована інша група МТП – Миколаївський, Херсонський, Жовтневий, що працюють з навалювальними і генеральними вантажами.

На берегах тимчасово окупованого Кримського півострова розташовані Євпаторійський, Севастопольський, Ялтинський, Феодосійський і Керченський МТП. Вони призначені, перш за все, для обслуговування транспортних

потреб самого Криму. Феодосійський МТП має значні потужності для перевалки нафти й нафтопродуктів. МТП Ялтинський і Севастопольський є досить перспективними для розвитку пасажирських, круїзних перевезень і військово-морського базування.

На північному узбережжі Азовського моря розташовані Бердянський і Маріупольський МТП, для яких характерна близькість до Донбасу і Придніпров'я. Експорт металу й іншої продукції цих регіонів забезпечує основне завантаження портів [2, 3, 9,12].

Україна має три МТП у низинах Дунаю – Ренійський, Ізмаїльський і Усть-Дунайський, де проходять вантажопотоки у напрямку придунайських країн. Завдяки статистичному аналізу й з урахуванням лоції Чорного й Азовського морів у водах України може бути наступна льодова ситуація.

Крижаний покрив спостерігається у північно-західній і північній частинах Чорного моря. У суворі й дуже суворі зими він зустрічається уздовж західного берега, на крайньому північному сході, а також у Керченській протоці, близько Кримського півострова в районах мису Тарханкут, порту Євпаторія, у Севастопольській та Феодосійській бухтах. Крига на Чорному морі утворюється зазвичай у середині грудня – початку січня (див. табл. 1.1), з'являючись у гирлах великих річок. Найважчим періодом у цій ситуації є кінець січня до початку березня.

На Чорному морі переважає крига морського походження, у районах гирла річок – крига, що виноситься річками. У відкритих берегів і ближче до моря частіше спостерігається дрейфуюча крига, у лиманах, затоках і бухтах – нерухома крига. Крижаний покрив нестійкий, у прибережній зоні моря протягом зими неодноразово відбувається його розтин і замерзання.

Розтин і очищення моря від криги зазвичай відбувається у кінці лютого на початку березня, спочатку крига зникає у відкритому морі, а потім у лиманах, затоках і бухтах. У кінці березня море повністю звільняється від криги. Особливістю льодового режиму Азовського моря є мінливість льодових умов, які залежать від ступеня суворості зими. Протягом кожного льодового сезону через зміни погоди порушується нормальний розвиток крижаного покриву,

який може перетворюватися з нерухомого у дрейфуючий, зникати або з'являтися. На Азовському морі лід утворюється щорічно.

У період м'яких зим він спостерігається лише в лиманах і захищених від хвилювання затоках і бухтах, що ускладнює судноплавство. У період помірних зим навігація з причини наявності криги зазвичай припиняється і навіть виникають значні труднощі для плавання криголамів.



Рис. 1.1. Розташування портів України

Під час суворих зим море іноді повністю покривається кригою і стає непрохідним для криголамів середньої потужності [2, 3, 9, 10, 12]. Коли виникає крига в Азовському морі оголошується льодова кампанія. Середня тривалість льодового періоду на маршруті Керч-Маріуполь-Бердянськ складає 76 діб, найменша – 22 доби, найбільша – 145 діб. Приблизні терміни проведення суден криголамами трасою Керч-Маріуполь наведені у табл. 1.3.

На початку зими, у мілководних районах зі швидкими течіями (коси Таганрозької затоки, біля північного берега моря та ін.), завдяки відсутності криги на поверхні моря можливе утворення льоду на ґрунті й на предметах, що знаходяться на дні (якорях і т.д.).

Таблиця 1.3. Строки проведення льодових кампаній

Характеристика зими	Строки проведення кампанії	
	Початок (Д, М)	Кінець (Д, М)
Дуже м'яка	(20 – 30), XII	(1 – 10), III
М'яка	(20 – 30), XII	(20 – 30), III
Помірна	(15 – 25), XII	(20 – 30), III
Сувора	(10 – 20), XII	(01 – 10), IV
Дуже сувора	(15 – 25), XII	(10 – 20), IV

У період помірних зим перша крига з'являється зазвичай у кінці листопада або на початку грудня в Таганрозькій затоці, у районі портового пункту Приморсько-Ахтарськ і селища Ачуїво. Зазвичай через 7-10 днів після того, як з'явиться перший лід, нерухома крига покриває Таганрозьку затоку, Утлюцький і Ахтарський лимани та частину Ясенської затоки. Водночас уздовж північного берега моря утворюється смуга припаю, біля кромки якого помітно збільшується кількість криги, що дрейфує. Дрейфуюча крига у цей час з'являється і у південно-західній частині Азовського моря, звідки лід виноситься через Керченську протоку у Чорне море. Пізніше нерухома крига утворюється уздовж західного, східного та південного берегів моря. Покривається нерухомою кригою Таманська затока, у Керченській протоці стійкий крижаний покрив утворюється у кінці січня.

Найбільшого розвитку крига на Азовському морі сягає на початку лютого. Сильні вітри ламають кригу і викликають торосіння, відривають від берегів і виносять в море. Взимку північно-східний вітер переважає, що призводить до підвищеного ущільнення принесеної криги біля західного і південно-західного берегів Азовського моря. Північно-східний вітер викликає інтенсивний дрейф криги з Таганрозької затоки, що може призвести до пошкодження суден. Уздовж коси Довга за припаєм утворюється ополонка завширшки 30-35 миль, яку можна використовувати для судноплавства. У суворі зими, коли море вкрите сіро-білою і білою кригою, ширина ополонки не перевищує 15 миль. У кінці лютого крига в Азовському морі під впливом хвилювання, течій та інших факторів поступово руйнується. Розтин і очищення моря від криги зазвичай відбувається у березні, рідше – у першій половині квітня і, як правило, спочатку в південній частині моря і на гирлових ділянках річок. Забезпечення нормального судноплавства у зимову навігацію, за даними Реєстрової книги [42] виконується суднами портового флоту (див. табл. 1.3).

У південно-західній частині моря відбувається скупчення криги, а вздовж коси Арабатська Стрілка утворюються пасма торосів заввишки 2 ... 3 м, іноді вони сягають 5 м. Частина криги течією виноситься до Керченської

протоки. Завдяки північно-західному вітру крига розріджується у зоні підхідних каналів портів Маріуполь і Бердянськ та ущільнюється у центральній і південній частинах моря, де виникає стиснення і торосіння криги. У Керченській протоці дрейф криги відбувається зазвичай на південь і південний захід. Дрейфуюча крига у протоці спостерігається з кінця листопада до кінця березня. Найбільша вірогідність наявності дрейфуючої криги (до 70 % в Керченській протоці й до 90 % в Таманській затоці) зазначається з середини січня до початку лютого.

Південно-західний і південно-східний вітри ускладнюють льодовий стан на півночі моря. У районі Білосарайської і Бердянської коси утворюються пасма торосів, висота яких у суворі зими може сягати 3 м. Під час штормових вітрів усіх напрямків і посилення дрейфу криги почастишали випадки посадки суден на бровки каналів і мілини. Затока Сиваш замерзає лише в північній частині й то не щороку. Крига з'являється під час більш низької температури води, ніж в Азовському морі.

У дослідженні був проведений ретельний статистичний аналіз льодового режиму портів, портових пунктів України за майже 15-ти річний період.

Статистичні результати, що визначають найбільшу товщину криги і кількість днів з кригою, наведені у табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Дані льодового режиму

Пункт	Дата появи дрейфуючого льоду			Дата повного замерзання			Дата розтину				Дата зникнення появи дрейфуючого льоду			Число льодових сезонів
	рання	середня	пізня	рання	середня	пізня	рання	середня	пізня	рання	середня	пізня		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Белгород-Дністр. порт	12.XI	3.XII	9.I	9.XI	9.XII	18.I	12.II	9.III	28.III	3.III	19.III	1.IV	20	
Джарилгачський маяк	1.XII	23.XII	11.I	20.I	...	16.II	27.I	...	18.II	18.II	10.III	27.III	12	
Євпаторія, порт	26.XI	7.I	15.II	2.II	...	...	...	...	16.II	13.II	17.II	24.III	35	
Миколаїв, порт	20.XI	17.XII	4.I	29.XI	22.XII	13.II	5.II	12.III	3.IV	7.III	23.III	17.IV	17	
Одеса, порт	11.XII	10.I	5.III	9.XII	23.I	10.III	7.I	18.II	17.III	27.I	28.III	1.IV	20	
Очаків, портовий пункт	19.XI	12.XII	24.I	29.XI	1.I	8.III	22.XII	20.II	27.III	15.II	18.III	19.IV	36	
Скадовськ, порт	22.XI	14.XII	19.II	2.XII	3.I	6.III	16.I	28.II	31.III	14.II	13.III	6.IV	36	
Вузька, бухта	1.XII	5.I	17.II	21.XII	29.I	2.III	22.XII	13.II	5.III	10.I	15.II	29.III	24	
Феодосія, порт	20.XII	24.I	11.II	5.II	...	6.III	7.II	...	1.III	5.II	...	1.III	20	
Херсон, порт	26.XI	16.XII	4.I	27.XI	28.XII	7.III	29.I	6.III	29.III	28.II	19.III	6.IV	28	

Примітка. Позначка " ..." означає відсутність даних

Примітка. Позначка "... " означає відсутність даних

Таблиця 1.6. Товщина криги та кількість днів з кригою

Район моря	Найбільша товщина, см		Кількість днів з кригою
	Суворі зими	М'які зими	
Західна частина моря	70	10 – 30	100
Північна частина моря	80	50	100
Таганрозька затока	60 – 80	25 – 30	95 – 105
Східна частина моря	70	20	100
Центральна частина моря	40	15 – 25	–
Південна частина моря	60	30	80
Керченська протока	40 – 45	20 – 30	54

Таблиця 1.7. Порівняння типів суден, льодового класу та потужність СЕУ

П/п	Тип судна	Назва	Льодовий клас	Потужність суднової енергетичної установки, кВт
1	2	3	4	5
Білгород-Дністровський морський торговельний порт				
1	Буксир-кантовщик	Ємельян Пугачов	ЛП4	2 × 590
2	Буксир	Дністровець	Ice2	2 × 442
3	Буксир	Тира	ЛП2	1 × 315
Бердянський морський торговельний порт				
4	Буксир	Ластівка	ЛП4	2 × 590
5	Буксир	Антон Мазин	ЛП1	2 × 590
6	Буксир	Лейтенант Шмідт	ЛП4	2 × 442
Євпаторійський морський торговельний порт				
7	Буксир-кантовщик	Каламит	ЛУ3	2 × 441
Іллічівський (Чорноморський) морський торговельний порт				
8	Буксир	Олександрія	ЛП5	2 × 441
9	Буксир	Аргус	ЛП4	2 × 590
10	Буксир	Арктур	ЛП1	2 × 590
11	Буксир	Бригадир	ЛП2	2 × 850
12	Буксир	Булат-1	ЛП3	2 × 2000
13	Буксир	Бургас	ЛП5	2 × 440
14	Буксир	Дружній	ЛП5	2 × 440
15	Буксир	Михайло Добров	ЛУ4	2 × 2590
16	Буксир	Портофлотець	–	2 × 220
17	Буксир	Титан	ЛП4	1 × 2944
18	Буксир	Труженник	–	2 × 330
Керченський морський торговельний порт				
19	Буксир	Ів. Красносельський	УЛ	2 × 441
Маріупольський морський торговельний порт				
20	Криголам	Капітан Белоусов	ЛК1	6 × 1472
21	Буксир	Капітан Гисич	ЛП5	2 × 849
22	Буксир	Аламак	ЛП4	2 × 590
23	Буксир	Миколай Іванченко	ЛП5	2 × 441
24	Буксир	Микита Беспалий	ЛП5	2 × 441
25	Буксир	Олекс.–др Яковенко	ЛП2	2 × 300

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5
26	Буксир	Капітан Меркулов	Ісе4	2 × 2010
Миколаївський морський торговельний порт				
27	Буксир	Українець	УЛ	2 × 927
28	Буксир	Докер	ЛУ5	2 × 150
29	Буксир	Зюйд	УЛ	2 × 440
Одеський морський торговельний порт				
30	Буксир	Кентавр	ЛП2	2 × 300
31	Буксир	Сфінкс	ЛП2	2 × 300
32	Буксир	Бугаз	ЛП5	2 × 442
33	Буксир	Бузький	ЛП5	2 × 442
34	Буксир	Труд	ЛП5	2 × 442
35	Буксир	Прогрес	ЛП5	2 × 442
36	Буксир	Новатор	ЛП2	2 × 926
37	Буксир	Ударник	ЛП2	2 × 850
38	Буксир	Стивідор	ЛП2	2 × 850
39	Буксир	Гранит	ЛП4	2 × 1890
40	Буксир	Доковець	ЛП5	2 × 442
Октябрьський (Ольвія) спеціалізований морський порт				
41	Буксир	Вітязь	Л1	2 × 442
42	Буксир	Руслан	УЛ	2 × 440
Севастопольський морський торговельний порт				
43	Буксир-кантовщик	Маяк	Л1	2 × 441
44	Буксир	Камишовець	ЛУ1	2 × 331
45	Буксир	Ритм	ЛУ5	2 × 926
Усть-Дунайський морський торговельний порт				
46	Буксир	Вітязь	ЛП5	2 × 926
47	Буксир	Геркулес	ЛП4	2 × 590
Феодосійський морський торговельний порт				
48	Буксир	Ентузіаст	ЛУ4	2 × 590
49	Буксир	Бриз-Південь	ЛП2	2 × 1877
50	Буксир	Атлант	ЛУ2	2 × 328
Херсонський морський торговельний порт				
51	Буксир	Дунай	(Льод 20)	2 × 286
52	Буксир	Бакай	ЛУ3	2 × 1380
53	Буксир-кантовщик	Комков	Л3	2 × 442
Південний морський торговельний порт				
54	Буксир-кантовщик	Могучий	ЛП4	2 × 1850
55	Буксир-кантовщик	Базальт	ЛП4	2 × 1850
56	Буксир-кантовщик	Геннадій Савельєв	Ісе4	2 × 1566
57	Буксир-кантовщик	Євген Яковцев	Ісе4	2 × 1566
58	Буксир-кантовщик	Тигрис	ЛП5	2 × 930
59	Буксир-кантовщик	Норд	ЛП4	2 × 590
Ялтинський морський торговельний порт				
60	Буксир	Кримчанин	ЛУ5 ІІІ	2 × 440

1.5 Порівняльна оцінка енергоозброєності морських суден різного цільового призначення для обґрунтування потужності СЕУ створюваного багатоцільового судна

Визначення конструктивної енерго-експлуатаційної ефективності (ЕЕЕ) проєктованих суден є однією з основних задач під час створення нових або нестандартних суден. Тому необхідна порівняльна кількісна оцінка необхідного рівня енергетичного озброєння. Оцінку виконаємо на основі порівняння різних типів суден: балкерів, танкерів, універсальних, контейнеровозів, пасажирських, криголамів [5, 11, 13, 17].

У якості інтегральної оцінки енергоозброєності суден приймаємо відношення потужності суднової енергетичної установки (СЕУ) до дедвейту:

$$I_e = N/DW, \text{ кВт/т.}$$

Результати аналізу різних типів суден (по вісім у вибірці), здатних функціонувати в акваторіях України, наведені (в табл. 1.8–1.14).

Таблиця 1.8. Характеристики балкерів

Параметр	AGIOS	CEDAR	CHINA STEEL	SAGE SA	KOHYON SAN	ІП. BC14	ІП. BC42	ІП. BC48
Дедвейт, т	45108	43585	160100	105708	157322	23278	22359	17795
Потужність СЕУ, кВт	8738	8900	16481	15300	14710	8243	4320	2970
Енергозабезпечення, кВт/т	0,19	0,2	0,1	0,14	0,09	0,35	0,19	0,17

Таблиця 1.9. Характеристики танкерів

Параметр	BELISA- IRE	BERTOCA	BRITISH D	BALESIA	ISOLA BLV	EURO SUN	FS VANESSA	HARAP
Дедвейт, т	12680	100257	35970	4500	25000	39960	15500	28400
Потужність СЕУ, кВт	3840	14712	8164	3060	9900	8800	6300	32825
Енергозабезпечення, кВт/т	0,3	0,15	0,23	0,68	0,39	0,22	0,41	1,16

Таблиця 1.10. Характеристики універсальних суден

Параметр	DEWI	ARKLOW	SCOT MARINER	ІП. RCD10	ІП. DCV10	ІП. DCV15	ІП. DCV16	ІП. DCV27
Дедвейт, т	8900	4500	3300	3360	3373	6398	8470	5070
Потужність СЕУ, кВт	3840	1800	1950	2040	1740	3360	6600	1765
Енергозабезпечення, кВт/т	0,43	0,4	0,59	0,61	0,52	0,53	0,78	0,35

Таблиця 1.11. Характеристики контейнеровозів

Параметр	APL VENEZUELA	CMA CGM BALZAK	CSC GENOVA	CIMBRIA	CONTSHIP UORA	EURO SQUALL	HONG KONG EXPRESS	TMM COLIMA
Дедвейт, т	32209	58910	27747	29415	50361	7991	82800	40146
Потужність СЕУ, кВт	26270	70401	21735	25931	52869	7200	70582	28832
Енергозабезпечення, кВт/т	0,82	1,2	0,78	0,88	1,05	0,9	0,85	0,72

Таблиця 1.12. Характеристики пасажирських суден

Параметр	CORAL PRINCESS	FINNMAR- KEN	LA SUPERIA	THE WORLD	TROLL- JORD	SILVER WHISPER	VIKING EUROPE	ROMANTIKA
Дедвейт, т	8015	904	9750	5058	1180	3000	325	4500
Потужність СЕУ, кВт	25000	4600	67200	11040	8280	15600	1566	26240
Енергозабезпечення, кВт/т	3,12	5,09	6,89	2,18	7,02	5,2	4,82	5,83

Таблиця 1.13. Характеристики криголамів

Параметр	MSV BOTNICA	TAYMYR	KRASIN	BOTNICA	ODEN	50 ЛЕТ ПОБЕДЫ	Владимир Игнатьев	Санкт- Петербург
Дедвейт, т	2850	3550	7554	2890	4906	3505	2113	6430
Потужність СЕУ, кВт	15000	24000	30465	15096	18000	55200	23200	21000
Енергозабезпечення, кВт/т	5,26	6,76	4,03	5,22	3,67	15,75	10,98	3,27

Таблиця 1.14. Середні значення енергозабезпечення суден

Тип судна	Середні значення енергозабезпечення I_e , кВт/т
Балкер	0,18
Універсальне	0,52
Танкер	0,44
Контейнеровоз	0,9
Пасажирське	5,02
Криголам	6,87

З аналізу (табл. 1.14) стає зрозумілим, що енергоозброєність суден криголамного класу допоміжного флоту повинна бути достатньо високою [5, 11, 13, 17] і для сучасного концепту судна необхідне виконання умови $I_e > 7$.

1.6 Аналіз характеристик і особливостей конструкції відібраних суден-прототипів створюваного багатоцільового судна та попереднє визначення необхідних характеристик й особливостей його конструкції

Під час аналітичного огляду [5, 9, 10, 13, 14, 16, 43-50] властивостей, конструкцій і технологічних можливостей існуючих спеціалізованих, універсальних і військових суден і кораблів, характеристики та параметри яких можуть бути узяті у якості прототипу для створення нового конструкторсько-технологічного рішення для БСДФ, розглянуто понад 100 конструкцій різних суден. Основні з відібраних рішень, прийнятих для порівняння і подальшого аналізу суден-прототипів, наведені у Додатку А, де указані короткі характеристики й особливості відібраних суден-прототипів створюваного БСДФ.

Спираючись на аналіз відомих, а також розглянутих суден-прототипів БСДФ, конструкцій і параметрів спеціалізованих і універсальних суден, багатоцільове судно, що створюється [5, 9, 10, 13, 14, 16], повинне мати подвійне призначення, бути криголамного класу. БСДФ повинно мати [51, 52] відносно високу льодопрохідність і здатність долати у певних ситуаціях суцільну кригу (до 1,0 м з заданою швидкістю), протистояти льодовому стиску; криголамні обводи й особливу міцність корпусу; високу непотоплюваність і потужну енергетичну (силову) установку з резервом потужності для можливого

встановлення активного озброєння; мати морехідні якості для плавання у кризі й на чистій воді [53-57]; створювати широкий, чистий, вільний від крупнобитого льоду канал для проходу за собою суден [57]; гарну маневреність і керованість, у тому числі й у кризі.

Особлива вимога до конструкції БСДФ льодового типу надається формі та міцності корпусу [43-45, 48, 49]. Судно повинне проектуватися з урахуванням непотоплюваності під час заповнення будь-яких двох суміжних відсіків, мати подвійні борти, кренові та диферентні баластні танки [48-52].

Для управління БСДФ вимагається мати широкий круговий огляд. У внутрішніх приміщеннях необхідні максимально-можливі комфортні умови роботи і проживання під час плавання у кризі, з урахуванням перебування евакуйованих людей у період аварійно-рятувальних і спеціальних операцій (десантування, екіпажі катерів, гелікоптери, спецконтингент).

Найбільш високі вимоги надаються міцності, надійності та зручності заміни гребних гвинтів. Створюване БСДФ криголамного класу має відрізнятися гостротою носа, широким розвалом з розвиненим баком, великою потужністю дизель-електричної енергетичної установки з резервом енергії, знімними лопатками гвинтів, які в разі поломки або втрати від удару об кригу могли б бути замінені екіпажем [52].

Згідно з угодою № 9590/27–7/08/473 від 14.03.2008 року між Маріупольським морським торговим портом (ММТП) і Українським науково-дослідним проектно-конструкторським інститутом морського флоту (УкрН-ДІМФ) розроблений "Проект концепції Державної цільової програми будівництва нового криголама для забезпечення безпеки судноплавства у період зимової навігації на Азовському морі" (пояснювальна записка і лист для ММТП № 15/6 від 26.06.2008). За попередньою домовленістю, у неявному виді, передбачалося створення БСДФ льодового типу подвійного призначення. "Програма стабілізації та розвитку морського та річкового транспорту України до 2005 року", затверджена Міністром транспорту України від 06.11.2000 року, передбачала придбання криголама для ММТП, аван-проект якого був роз-

роблений ЦКБ "Айсберг" (Санкт-Петербург) у 1990 р. Однак фінансування будівництва таких суден Україною не проводилося. Основне призначення: обслуговування суден на підходах до ММТП, забезпечення льодових проводок на Азовському морі й Керч-Єнікальському каналі; виконання криголамних операцій у портах і припортових каналах, у неарктичних морях, які замерзають, при товщині криги до 1,5 м, просування безперервним ходом у суцільному льодовому полі товщиною до 1,0 м; виконання морських буксирувань суден і плавучих споруд; надання допомоги потерпілим у морі суднам і спорудам – зняття з мілини; відкачка води, гасіння пожежі, буксирування аварійних суден.

У результаті проведеного аналізу можна сформулювати основні, найзагальніші вимоги до БСДФ: тип – морське, сталеве, самохідне судно криголамних утворення з розвиненим баком і розташованим у середній частині машинним відділенням; попередньо визначений клас – КМ Ice 1 A2, льодового типу; район плавання – внутрішні води; експлуатація при температурах повітря t_g від -40 до $+35$ ° С, заборотної води $t_{з.в.}$ від -2 до $+35$ ° С. Основні необхідні ТТХ: довжина 65 ... 80 м, ширина 19 ... 22 м, висота борту 7 ... 10 м, максимальна осадка 6,5 м, потужність дизель-електричної установки, з урахуванням резерву, до 6,0 МВт [5, 9, 13, 14, 16].

Одним з можливих варіантів вирішення проблеми забезпечення безпеки судноплавства на Азовському і Чорному морях у період зимової навігації, а також для виконання спеціальних операцій у територіальних водах України, є створення БСДФ криголаманого класу на підґрунті конверсії українського криголама "Капітан Білоусов". Вартість придбання нового судна криголаманого типу на 2008 рік (1 долар США = 5,02 грн) була визначена УкрНІМФ у розмірі 337,5 млн грн, а реновація криголама "Капітан Білоусов" повинна проходити на ТОВ "СРЗ Маріуполь" з заміною головних двигунів дизелями *Caterpillar* 3516 з редукторами фірми *DAMEN SHIPYARDS GORINCHEM*. Проект оцінено у 65 млн грн. Передбачалося, що "Капітан Білоусов" на глибокій чистій воді зможе розвивати швидкість у 16 вузлів (замість 5 вузлів).

Згідно "Проекту ...", використання нового судна дасть можливість збільшити вантажообіг ММТП у зимовий період на 2,9 млн т з прибутком в 24,7 млн грн на рік, а Бердянського МТП у 2,7 млн грн на рік. Але слід зазначити, що максимальна осадка судна у 6,5 м не дозволить йому працювати за бровкою каналів та виконувати специфічні завдання у річках.

Висновки до першого розділу

1. На підставі виконаного аналізу характеристик, параметрів і конструкцій суден портового флоту МТП України, що забезпечують, судноплавство у зимову навігацію, визначено, що наявні судна зможуть забезпечити лише тільки операції введення/виводу з акваторій портів різних плавзасобів. Забезпечити гідне лінійне судноплавство у зимову навігацію у Чорному й Азовському морях наявні судна не можуть. Для вказаних цілей необхідні спеціалізовані судна-криголами.

3. З аналізу льодового стану, політичної ситуації, економічного стану й низки інших причин, встановлено, що, ареною сучасних боїв стало узбережжя, що ролі різних класів бойових кораблів різко змінилися, що часто універсальність корабля, здатність його вирішувати різноманітні й непередбачувані завдання, має головне значення.

4. Аналіз конструкцій цивільних суден низки морських держав виявив у них надлишкові ходові якості і надлишки потужності СЕУ, що підтверджуються заздалегідь закладеними військовими преференціями у цивільні проекти суден.

5. Встановлені основні вимоги до основних ТТХ БСДФ льодового типу, виконувані функції, діапазон припустимих параметрів, характеристик і розмірень.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ СУДНА З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ. ВИБІР ТЕМИ ТА СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ

2.1 Обґрунтування теми дослідження та концепції створення судна

Сформульований раніше запит практики (введення, розд. 1), що визначив гостру потребу України у БСДФ ЛК, дозволив висунути цілу низку вимог до його ТТХ, параметрів і особливостей конструкції. Основним є те, що ці вимоги і ТТХ повинні задовольняти не тільки поточні, а й довгострокові запити, як цивільного, так і військового флотів України, враховуючи основну частину життєвого циклу (ЖЦ) судна. Тому, для аргументованого обґрунтування і відбору концепції створення БСДФ, обґрунтування і вибору тематики дисертаційної роботи, необхідно врахувати наступне (див. п.п. 2.1.1 – 2.1.5).

2.1.1. Цивільне судноплавство не є матеріальним виробництвом, але бере участь у його ресурсному забезпеченні [19, 20]. Крім того:

- синтезоване судно повинно задовольняти не тільки вимоги його ефективною технічної, а й комерційної експлуатації за передбачених розширених (спеціальних) його технологічних властивостей та можливостей;

- плавання у прибережній частині Чорноморсько-Азовського басейну України вкрай небезпечно через мілководдя і всісезоння, широкі зміни кліматичних умов і наявності великої кількості природних вітро-хвильових явищ, включно з льодоутворенням [57];

- плавання по спокійній воді влітку не викликає ускладнень, проте основним обмеженням для самостійного проходження судна є його осадка (до 5 м, інакше необхідне лоцманське проведення) [53-57];

- плавання суден у осінньо-весняний період року ускладнене штормами й незахищеністю берегової лінії Чорного й Азовського морів від вітрів (*SW*, *S* і *SE* напрямків), які створюють істотні наганяючі-хвильові процеси,

відганяючи й викидаючи судна на Арабатську стрілку, яка тимчасово частково перебуває під контролем Російської Федерації [57];

– зимова навігація у Азовському морю є особливо небезпечною для мореплавання. Навігація може бути відсутньою або тривати короткий час, знижувати вантажопотоки до їх припинення, обмежувати можливості виконання низки спеціальних завдань;

– усі види льодового плавання (самостійне, проведення, буксирування та інші) у Азовському морі несуть реальну загрозу не тільки для економіки Донецького басейну та конструктивної безпеки суден, що транспортують народногосподарські та спеціальні вантажі, але і для національної безпеки у існуючих політичних умовах (АТО, анексія Криму);

– нестача, фізичний і моральний знос криголамного флоту паралізує роботу морської галузі, різко гальмуючи промислове виробництво прибережних районів України;

– завдання підвищення ефективності зимової навігації (Маріуполь, Бердянськ, тимчасово окуповані прибережні території і порти) мають не тільки економічний, транспортний і науковий інтерес, а й довгостроковий державний, соціально-політичний.

Зрозуміло, що успіх зимової льодової навігації, успіх проведення спецоперацій залежить і від стану льоду, і від здатності судна руйнувати крижаний покрив, автономно долаючи значні відстані.

Також необхідно врахувати характеристики й особливості низки МТП (наприклад, табл. 2.1) України.

Льодопрхідність судна залежить від його конструктивних особливостей, потужності СЕУ, типу й розташування рушіїв, а за групового плавання – від складу суден у каравані [58-60]. За цих умов, під час проведення різних спеціальних операцій, слід розрізняти одиночне плавання в льодах і проходження у льодових караванах [58, 59].

**Таблиця 2.1. Характеристики деяких морських торгових портів
України**

Параметр	Маріупольський МТП	Бердянський МТП	Керченський МТП
Прохідна осадка підхідного каналу, м	8,2	7,9	8,3
Глибина акваторії, м	9,75	8,4	8,3
Максимальна глибина біля причалу, м	9,75	8,4	8,1
Мінімальна глибина біля причалу, м	4,4	5,4	6,5
Льодовий режим	Навігація в порту триває протягом року. Середня тривалість навігації в МТП з льодовим проходженням – 35 діб. Взимку переважають вітри східного напрямку.	Навігація у порту триває протягом року. Підхідний канал 20 км, ширина 90 м, прохідна осадка 7,9 м. Переважають вітри північно-східного напрямку. Тумани до 35 днів на рік.	Порт відкритий для заходу суден протягом року, за наявності льоду у Керченській протоці можливе переміщення важкої криги на каналах через постійну зміну течії і напрямку вітру.

Таким чином, можна стверджувати, що оскільки середня й максимальна тривалість льодового періоду (на прикладі маршруту Керч-Маріуполь-Бердянськ 76 і 145 діб, відповідно) значна, тому необхідно забезпечити: а) працездатність МТП у повному обсязі; б) можливості проведення спеціальних операцій у льодовий період [57].

2.1.2. Стандарти *ISO/IEC 15288: 2008 Systems and software engineering – Life cycle processes* і Р 50–605–80–93 вказують, що "життєвий цикл складної технічної системи (СТС, [65]) описується не часовим періодом її існування, а процесами послідовної зміни цього стану, зумовленими різновидом впливу, який здійснюється" [61-65]. Зрозуміло, що проектування (синтез конструкції) такого складного й дорогого технічного засобу, як БСДФ льодового класу, слід здійснювати таким чином, щоб до моменту здачі судна у експлуатацію воно могло відповідати сучасним, на момент здачі, вимогам. Під час дослідження встановлено, що сучасна системна інженерія виділяє найбільш ефективні (але й найбільш складні) моделі ЖЦ СТС на основі: а) моделі управ-

ління матеріально-технічним забезпеченням Міністерства Оборони США (МО США), *DoD 5000.2*; б) моделі стандарту *ISO/IEC 15288*; в) моделі Національного товариства професійних інженерів (*NSPE*). Аналіз показує, що за смисловим навантаженням і змістом ці моделі досить близькі.

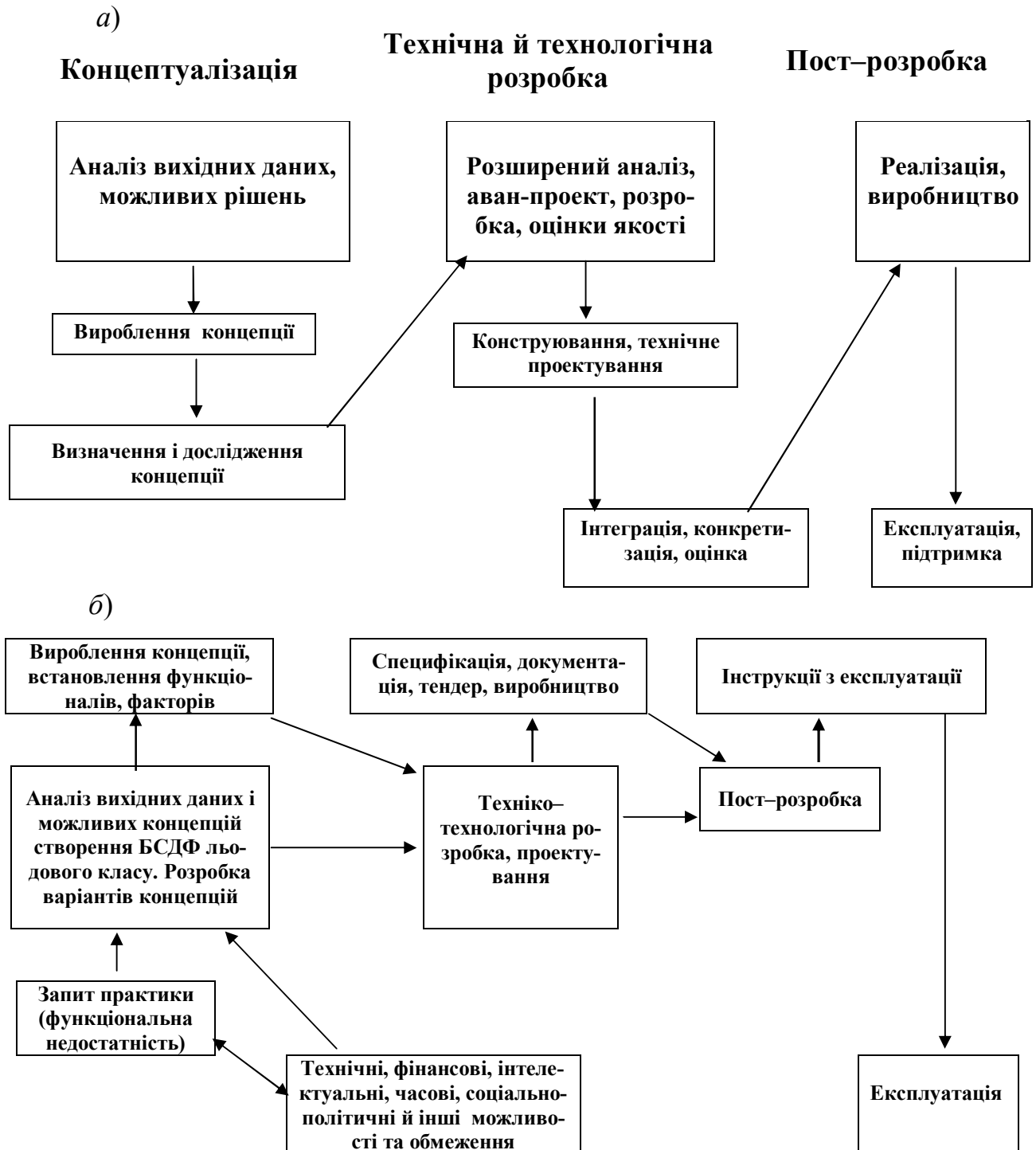


Рис. 2.1. Головні стадії ЖЦ БСДФ (а) і їхній взаємозв'язок (б)

Типова модель ЖЦ СТС МО США спрямована на управління ризиками в галузі застосування передових технологій і зведення до мінімуму дорогих технічних і/або управлінських помилок. Для цього МО США створило спеціальну інструкцію, що містить усі необхідні принципи для розробки СТС подвійного призначення, у тому числі – для флоту. Ці ж принципи увійшли й до спеціального переліку директив МО США – *DoD 5000*. За ідеологією МО США ЖЦ СТС і система управління матеріально-технічним забезпеченням (МТЗ) флоту складається з: 1) аналізу рішень і створення концепції; 2) розробки технології; 3) інженерно-конструкторської і виробничої розробки; 4) виробництва й розгортання; 5) функціонування (експлуатації) та підтримки.

У ЖЦ СТС виділимо головні стадії (див. рис. 2.1): *а)* розробки концепції; *б)* техніко-технологічної розробки; *в)* пост-розробки. Стадії вказують на переходи в нові стани ЖЦ і показують зміни в типі й обсязі всіх дій, що залучені в системну інженерію.

Стадія розробки концепції створення БСДФ. Метою розробки концепції є якісне оцінювання нових можливостей і властивостей у галузі цільового застосування БСДФ, виробленні попередніх системних вимог і можливих проектних рішень, стратегічної лінії створення судна. Концептуальний проєкт БСДФ починається з моменту усвідомлення необхідності створення такого судна або модифікації (конверсії, реновації) вже наявного. Стадія містить початок досліджень і аналіз наявних фактів, апріорної інформації, періодів ЖЦ (часу проєктування, закупівель устаткування, створення, планування і т. д.), оцінювання економічних, технічних, стратегічних і ринкових основ майбутніх дій, здійснення активного діалогу між стейкхолдерами й розробником (проєктувальниками) судна. Саме тут необхідна оптимізація за критеріями мінімальних витрат матеріально-технічних і часових ресурсів. Стадія містить такі основні етапи:

– проведення досліджень з метою встановлення того, що є мінімально необхідним для функціонування БСДФ, встановлення технічних, техніко-

експлуатаційних, економічних та інших впливових факторів і характеристик, оцінки доцільності створення судна;

- дослідження потенційно можливих концепцій створення БСДФ, формулювання та валідація набору факторів, ТТХ і вимог до функціонування судна й концепцій у цілому;

- відбір найбільш ефективної концепції, визначення її функціональних характеристик, розробка детального плану подальших стадій проектування, постачання, виробництва, оперативного управління, розгортання, експлуатації судна;

- розробка нової технології для обраної концепції створення судна з валідацією її здатності задовольняти задані потреби.

Стадія техніко-технологічної розробки БСДФ відповідає за процес проектування для реалізації заданих функцій судна, сформульованих у відібраній концепції системи, у варіантах фізичного втілення, які можуть підтримуватися й успішно експлуатуватися. Стадія полягає в технічній розробці прототипу судна, що відповідає вимогам багатофункціональності, продуктивності, надійності, ремонтпридатності, безпеки й екологічності.

Стадія пост-розробки БСДФ полягає в зовнішній діяльності (за межами періоду розробки), але все ще вимагає суттєвої підтримки з боку проектувальників. Крім того, досягнення в галузі технологій (до моменту здачі судна) вимагатимуть внутрішнього вдосконалення (модернізації) систем технічної експлуатації, ремонту й обслуговування. Стадія пост-розробки БСДФ починається після проведених операцій тестування (випробувань вузлів, агрегатів, можливо – пробних рейсів), оцінки результатів, запуску у виробництво, подальше оперативне управління, використання, експлуатації. Зрозуміло, що до того часу, поки основна технологія не буде завершена, необхідна впливова підтримка з боку проектувальників.

2.1.3. Швидкість руху одиночного судна обмежується в льодах наступними факторами [58-60]:

- хідкістю, яка формулюється як здатність просуватися в льодах з деякою "оптимально-досяжною" швидкістю, яка залежить від розмірення, форми

обводів корпусу, потужності СЕУ, типу пропульсивного комплексу та гвинто-стернової групи, наявності систем і технічних засобів самоочищення від льоду;

– міцністю, яка формулюється як здатність розвивати "допустиму" безпечну для корпусу швидкість, що залежить від міцності матеріалу й конструкції (особливо – носової частини) корпусу, форми корпусу й розмірів судна;

– швидкість судна в льодах, яка формулюється як швидкість, одночасно задовольняє вимогам "оптимально-досяжної" і "припустимої" швидкостей, що є граничною для одиночного плавання та вноситься у його льодовий паспорт.

У рідких льодах максимальна швидкість судна обмежена досяжною швидкістю, оскільки судно може обходити кригу, і корпус його не стикається з льодом. Під час руху судна у малоскупчених льодах йому буде потрібна підвищена потужність для руйнування або подолання взаємних ударів з кригою, рухаючись з швидкістю не вище допустимої. У сильно скупчених льодах льодовий опір невеликий, і судно, що працює на повній потужності й уникає взаємних ударів з кригою, може пересуватися з "досяжною" швидкістю. Таким чином, самостійний рух судна у найбільш тонких і товстих льодах обмежений "досяжною" швидкістю, а у льодах середньої товщини – "допустимою".

Під час буксирування криголамом суден у важких льодових умовах, швидкісний режим визначається льодопрохідністю криголама, характером пошкоджень і станом судна, що буксирується, додатковими обмеженнями [58-60]. Але показником льодопрохідності судна є швидкість його руху в конкретних льодових умовах. Для роботи БСДФ на льодових трасах, за аналогією з плаванням по чистій воді, виділимо низку швидкостей.

Паспортна льодова швидкість (V_m) – швидкість, що встановлена під час випробування нового судна на заданому режимі роботи СЕУ в типових льодових умовах на ділянках, протяжністю від 1–2 довжин корпусу або до 1,0–1,5 миль (до типових льодових умов належить рівний суцільний лід-припай і дрібнобитий лід різної товщини).

Технічна льодова швидкість (V_{nm}) – нормальна робоча швидкість, на якій судно або караван суден здатні подолати однорідні льоди на ділянках

значної протяжності (не менше 1,5–2,0 миль). Однорідними льодами вважаються такі, мінливість характеристик стану яких знаходиться в межах точності льодових спостережень.

Експлуатаційна чиста льодова швидкість ($V_{лч}$) – середня швидкість судна (каравану) на заданій ділянці траси, що проходить у різних за характером льодах. Ця швидкість визначається як частка від ділення протяжності ділянки траси на витрачений час у дорозі, з якого виключаються всі затримки, що не пов'язані з подоланням криги.

Експлуатаційна валова льодова швидкість ($V_{лв}$) – середня швидкість судна (каравану) на заданій трасі з різнорідними за характером льодами, отримана як частка від ділення протяжності траси на весь витрачений час, що містить можливі затримки в дорозі.

Прохідність льодових трас оцінюється за допомогою коефіцієнта складності плавання (K_7), що обчислюється, як відношення витрат часу, необхідного типовому судну для подолання льодової траси, до витрат часу, необхідного на проходження цієї ж траси під час відсутності льоду, тобто за тарифною відстанню. Стандартними (традиційними) варіантами траси плавання є виявлені, на підставі багаторічної експлуатації, найбільш часто застосовані маршрути, узагальнені для кожного з типів розподілу льоду. Останнім часом відбулися тимчасові зміни стандартних маршрутів суден у Азовському й Чорному морях, у районі Кримського півострова. Проте, стандартних варіантів може бути декілька. Так, найлегший варіант плавання для суден з малою осадкою зазвичай змінюється не тільки з року в рік, а й протягом конкретної навігації. Шлях, під час вибору найлегшого варіанта, прокладається по зонам найбільш тонких і найменш скупчених льодів, хоча це нерідко призводить до подовження шляху і до використання ділянок поза стандартних трас.

У якості типового судна-прототипу під час оцінювання коефіцієнту складності K_7 на льодових трасах неарктичних морів, що замерзають, експертами береться найпотужніший місцевий криголам, який забезпечує прове-

дення суден по льодовій трасі протягом усього холодного періоду року. Коефіцієнти складності плавання з кожного варіанту шляху плавання обчислюються подекадно – від початку стійкого льодоутворення восени до повного очищення траси від льоду навесні.

Аналіз наведеної інформації дозволив не тільки простежити хронологію зміни коефіцієнту складності K_T плавання для кожного року й отримати їх середні (багаторічні) типові значення, а й визначити за ними терміни можливого початку й закінчення льодового плавання (див. розділ 1), що, у свою чергу, дозволило відібрати декілька суден-прототипів.

2.1.4. Типовим криголамом для Азовського моря є єдиний криголам України "Капітан Белоусов" (1953 року випуску), здатний здійснювати проведення суден протягом усього зимового періоду по морським каналам і у відкритому морі (рис. 2.2). Криголам добре зарекомендував себе під час експлуатації в умовах зимової навігації, успішно працював в умовах обмеженого простору фарватерів, покритих набивним льодом і шугою, у рівному суцільному льодовому покритті товщиною до 0,8 м. До недоліків криголама слід віднести високу вартість експлуатації, зумовлену застарілою СЕУ, чисельністю команди, частим виходом з ладу носових гвинтів під час роботи у важких льодах товщиною більше 1,0 м. Оскільки криголам береться у якості одного з основних прототипів синтезованого БСДФ ЛК, то наведемо його основні техніко-експлуатаційні характеристики.

Криголам "Капітан Белоусов" – чотиригвинтове судно (два гвинти в носі та два в кормі) з двома безперервними палубами і подовженим баком. Корпус розділений десятьма водостійкими поперечними перегородками на одинадцять відсіків. На бортах до житлової палуби простягаються поздовжні перегородки, що утворюють вісім бортових цистерн. Непотоплюваність судна забезпечується під час затоплення двох будь-яких відсіків. Передбачено дві кренові цистерни об'ємом по 158 м^3 і дві диферентні ($2 \times 150 \text{ м}^3$).

На криголамі два трюми: у носі (134 м^3) і у кормі (82 м^3), а також спеціальні приміщення для зберігання провізії та припасів. Запаси судна склада-

ються з 1020 т палива, 80 т мастила, 75 т води для охолодження двигунів, 163 т прісної води, 70 т провізії, 23 т витратних матеріалів. Основні технічні характеристики криголама наведені у табл. 2.2. Корпус зварений із суднобудівної сіменсмартенівської сталі. Перегородки в надбудовах клепані. Система набору поперечна, шпация в середній частині 800 мм, у носовій і кормовій частинах – 700 мм. Товщина зовнішньої обшивки у середній частині 15,5 ... 17 мм, в окінцівках 20 ... 25 мм, льодовий пояс бортів по всій довжині 30 мм. У середній частині судна встановлено три стрингера, з них два простягаються до носа і корми.

Таблиця 2.2. Основні технічні характеристики криголама "Капітан Бєлоусов"

Характеристика	Значення	Характеристика	Значення
Довжина найбільша, м	83,2	Водотоннажність по КВЛ, т	4500
Довжина по КВЛ, м	77,5	Дедвейт, т	1520
Ширина найбільша, м	19,4	Коефіцієнт загальної повноти	0,482
Ширина по КВЛ, м	18,7	Потужність на гребних валах, кВт	7728
Висота борту до верхньої палуби, м	9,50	Швидкість на чистій воді, вузл	16,5
Висота борту до головної палуби, м	7,15	Автономність плавання, доб	28
Осадка по КВЛ, м	6,2	Дальність плавання, миль	8760
Осадка найбільша, м	7,0	Екіпаж, осіб	85

Форштевень нижче верхньої палуби з литої сталі *V*-образного перетину, у верхній частині – з товстого сталевго листа. Ахтерштевень з литої сталі. Стерно лите, сталеве, з кованим 400 мм балером. Буксирний виріз у кормі (ухил 15°) має глибину 1,0 м, дубовий, з двома привальними брусами.

Два станових якоря Холла (по 2,6 т), стоп-анкер (800 кг), верп, чотири льодових якоря (по 100 кг). Двохбарабанна буксирна лебідка (тягові зусилля 30 т·с и 60 т·с) дозволяє буксирувати судна тросом довжиною до 200 м. Стерновий привід електрогідравлічний. З'єднання стерна й балера захищено від ударів льоду. Диферентна система обслуговується електронасосом продуктивністю 1000 м³/ч, кренова система – реверсивним насосом. За час кренування (90 с) насос перекачує з борта на борт 160 т води. Криголам забезпечений чотирма рятувальними шлюпками (60 осіб кожна).

СЕУ криголама містить шість дизель-генераторів (ДГ) по 1196 кВт. Генератори чотирьох гребних електродвигунів по 2560 кВт кожний. Генератори гнучко перемикаються до різних електродвигунів з розподіленням потужності (2/3 подається на кормові електродвигуни, 1/3 – на носові й навпаки). Суднова електростанція містить чотири ДГ потужністю по 200 кВт кожен, один – резервний потужністю 72 кВт і один – аварійний, потужністю 15 кВт. Гребні гвинти чотирилопатні сталеві. Носові – діаметром 3,5 м, кормові – 4,2 м.

Після аналізу конструктивних виконань різних універсальних і сучасних суден (див. розд. 1 та Додаток А), у якості другого судна-аналога (прототипу) приймається універсальне криголамне судно забезпечення морських платформ "*Arcticaboarg*", основні характеристики якого наведені у табл. 2.3, а загальне розташування основних елементів показано на рис. 2.2.

Обрані, як прототипи, конструкції суден "Капітан Белоусов" і "*Arcticaboarg*", дозволили звузити діапазон можливих технічних, конструктивних і технологічних рішень для різних можливих проектів і реалізацій БСДФ льодового класу. Приймаємо, що базовими критеріями оцінок термінів початку й закінчення різних видів льодового плавання і проведення суден можуть служити значення K_m , що розраховані для криголама "Капітан Белоусов".

На рис. 2.2 показано: а) вид збоку; б) капітанська палуба; в) навігаційний місток; г) бакова палуба; д) верхня палуба; е) головна палуба; ж) внутрішнє дно. Позначення: 1, 2 – відсік і ахтерпік; 3 – дизель-генератори; 4 – гребні електродвигуни; 5 – трюм; 6 – катер; 7 – радіорубка; 8, 9, 10 – каюти директора, капітана, комскладу; 11 – лоцманська; 12, 13 – штурманська й ходова рубки; 14 – акумуляторна; 15 – рятувальна шлюпка; 16, 17 – котельня і машинна шахти; 18, 19 – ізолятор, лазарет і амбулаторія; 20, 21 – буфет і кают-компанія; 22 – канцелярія; 23 – плотницька; 24 – агрегатна; 25 – каюти команди; 26 – малярська; 27 – рефрижераторна; 28 – провізійна; 29 – ліхтарні; 30 – чергова рубка; 31 – стернова машина; 32 – кренові цистерни; 33 – ЦПУ; 34, 35 – їдальня і клуб команди; 36 – шкіперська; 37 – майстерня; 38 – комора; 39 – камбуз; 40 – пекарня; 41 – буксирна лебідка; 42 – пральня; 43 – бортові цистерни; 44 – канатний ящик.

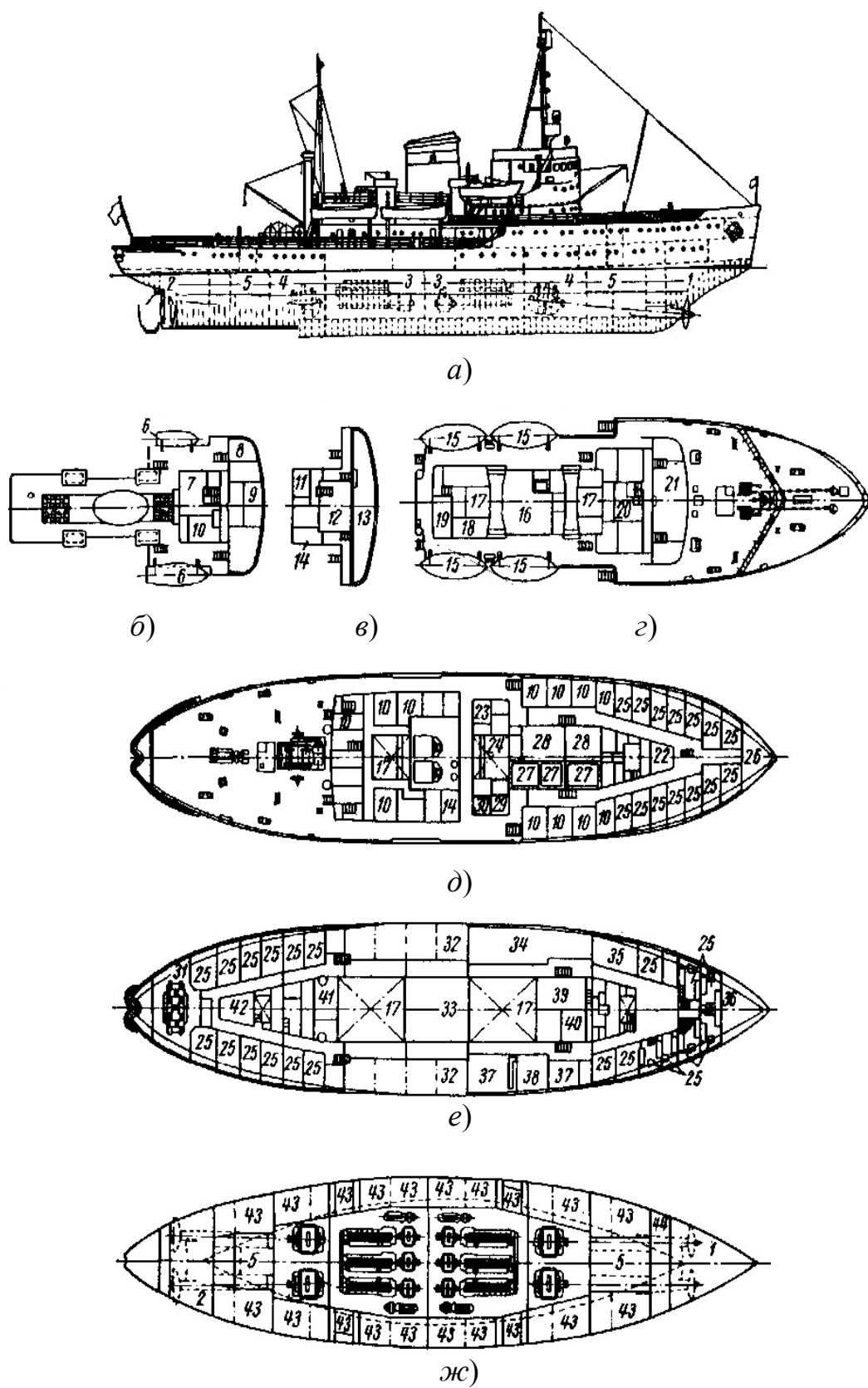


Рис. 2.2. Розташування елементів криголама "Капітан Белоусов"

**Таблиця 2.3. Основні технічні характеристики
універсального судна "Arcticaboarg"**

Характеристика	Значення
Довжина між перпендикулярами, L_{mn} , м	60,60
Ширина, B , м.	16,40
Висота, D , м.	4,40
Осадка, d , м.	2,90
Вагова водотоннажність, Δ , т	2015
Об'ємна водотоннажність, V , м ³	1966
Сумарна потужність СЕУ N , кВт	3900
Експлуатаційна швидкість судна v , вузл	13,0
Кількість установок "Азіпод", шт	2
Кількість членів екіпажу, осіб	15

З проведеного статистичного аналізу (див. розділ 1) встановлено, що за технічних льодових швидкостей близько 2-х вузлів судна у льодах рухаються безперервним ходом і без заклинювання [5, 9, 11, 13, 57]. Тому технічну льодову швидкість (1,5 ... 2,0 вузла), приймаємо як мінімальну навігаційно-обґрунтовану швидкість для розрахунків одиночного плавання БСДФ ЛК.

Паспортна потужність СЕУ криголама "Капітан Белоусов" (7728 кВт) і швидкість його на чистій воді ($v_{чв} = 16,5$ вузл) дозволяють уточнити значення K_m з розрахункової експлуатаційної чистої льодової швидкості у певних льодових умовах:

$$v_{лзч} = v_{чв}/K_m.$$

Для транспортних суден мінімальні значення технічних льодових швидкостей обґрунтовуються з економічного ефекту, який отримується за рахунок своєчасної поставки вантажу (під час масових перевезень вантажів швидкості руху суден у льодах складають не менше 4 ... 5 вузлів). Така швидкість дає можливість створити певний резерв часу для усунення можливих заклинювань суден.

Саме ці обмеження й допущення були прийняті за основу під час оцінювання критеріїв і термінів початку/закінчення різних видів проведення суден у льодах (див. розділ 1).

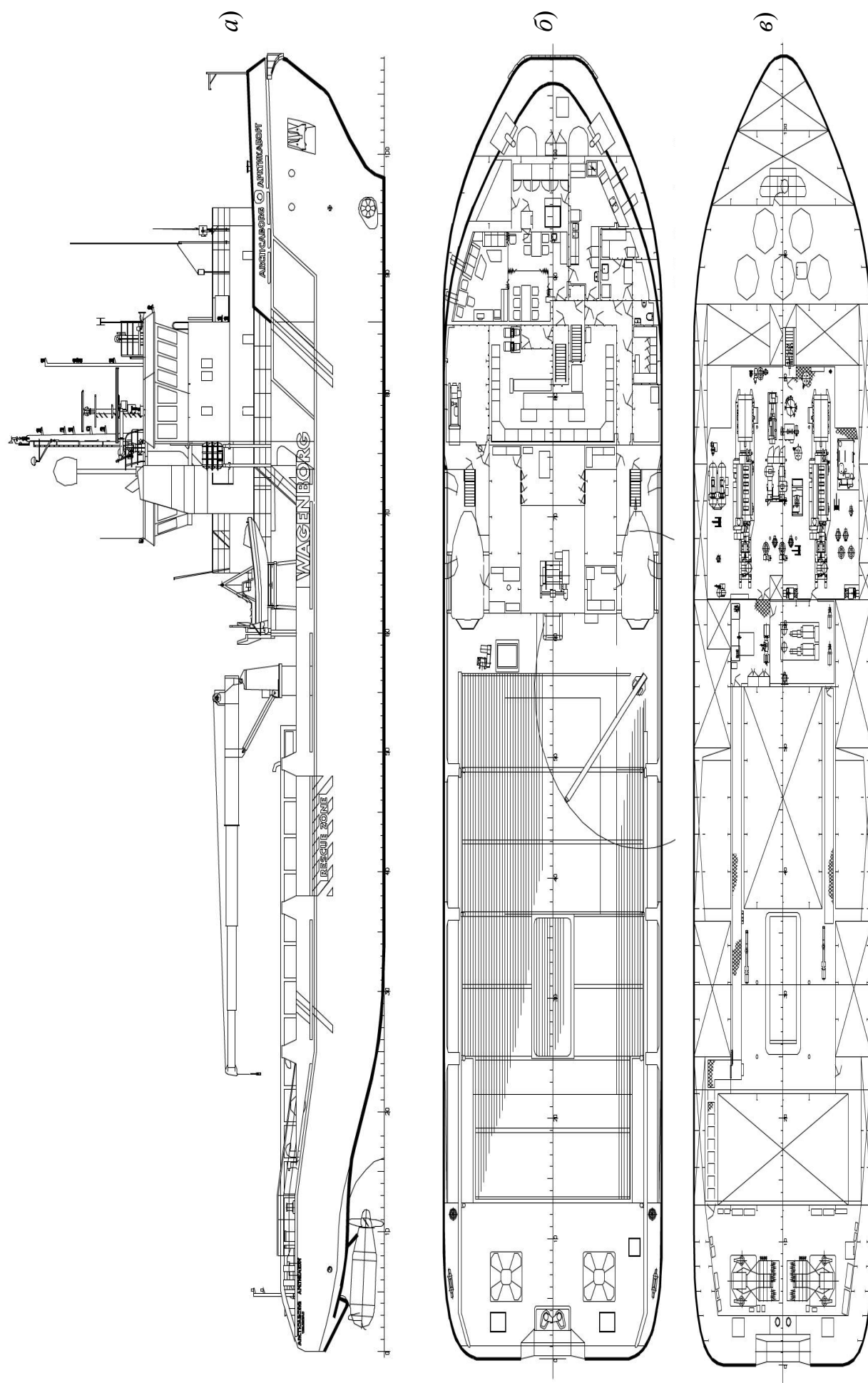


Рис. 2.3. Розташування елементів криголамного судна "Arcticaboarg": а) вид збоку; б) головна палуба; в) внутрішнє дно

З огляду на метод аналогій, критеріями термінів початку і закінчення різних видів льодового плавання на українських ділянках трас служать значення K_m , обчислені для типового криголама "Капітан Белоусов": а) під час самостійного плавання $K_m \in [1,1...1,5]$; б) під час проведення одиночного судна $K_m \in [1,7...3,8]$; в) під час одиночного плавання у дрейфуючій кризі $K_m \in [4,2...4,5]$ і у припаї $K_m \in [7,0...8,0]$.

2.1.5. Проведений у роботі (перший розділ) аналіз різних конструкцій сучасних існуючих і перспективних зразків універсальних і багатоцільових цивільних і військових суден, аналіз конструкції універсального криголамно-го судна "Arcticaboarg" і криголама "Капітан Белоусов", дозволили сформулювати й висунути у якості вимог низку функцій і завдань (задач), які повинні виконуватися новим судном, що синтезується.

Ці основні функції і завдання для БСДФ льодового класу наступні.

1. **Функції криголама:** проведення суден і караванів, розгін шульги (льодовий клас, тип "річка-море", можливість змінювати осадку).

2. **Функції пожежного та аварійно-рятувального судна:** мотопомпи, піноутворювачі, аварійні ємкості та ліс, пожежні рукави, брандспойти. Буксирування. Доставка аквалангів, балонів, глибоководного і водолазного обладнання (дзвін, водолазно-рятувальний апарат), повітряна підтримка рятувальних та спецоперацій (вертолітний майданчик).

3. **Функції ремонту й відновлення:** ремонтні бригади, майстерні (у тому числі озброєння), стенди для опресовування форсунок і діагностики ДГ, паливо-регулюючої апаратури, обладнання для проведення екстрених корпусних робіт.

4. **Плавбаза постачання шкіперсько-технічного обладнання і майна:** канати, троси, ЗІП на дизелі, насоси, агрегати.

5. **Задачі участі в міжнародних навчаннях:** функції медичного судна (малого шпиталю), судна-постачальника (паливно-мастильні матеріали), невеликий екстрений ремонт у морі.

6. Функції (бойові завдання) малого десантного судна: спуск моторизованих плавзасобів, висадка десанту, вертолітний майданчик, перебазування легких артилерійських катерів.

7. Функції (бойові завдання) судна-кілектора: бони, мінні загороження (з попередньою швидкою установкою кормової знімної рейкової мінної палуби на вварених у верхню палубу стаканах, шпильках).

8. Функції (бойові завдання) малого артилерійського судна: супровід і артилерійська, зенітно-кулеметна підтримка десанту легким активним озброєнням – вушка на баку й на бортах для установки знімних триног для станкових великокаліберних, наприклад, 12,7 мм, кулеметів від бронетранспортерів типу БТР-4, БТР-7, БТР-70М, "Отаман"; системи керованих ракетних комплексів на основі машин наведення, контейнерних пускових ракетних установок (передбачення точок швидкого підключення артобладнання до електроенергії), стабілізація корпусу.

Таким чином, для забезпечення нормальної роботи портів України протягом року, виконання функцій спеціального призначення виникає необхідність створення БСДФ ЛК, здатного виконувати різноманітні завдання о будь-якій порі року, може використовуватися як буксир, рятувальник, транспортувальник, постачальник, пожежне, санітарне, ремонтне судно. Судно повинне мати особливі обводи корпусу і міцність, високу непотоплюваність, потужну СЕУ, має володіти необхідними морехідними якостями для плавання в льодах і на чистій воді, залишати за собою чистий канал, вільний від крупнобитого льоду для проходу за собою суден, мати гарну маневреність і керованість у льодах.

У зв'язку з наявними гострим запитом практики, для застосування в територіальних водах України, продовження перспективних досліджень з вдосконалення, проектування, супроводу, створення і подальшої ефективної технічної експлуатації багатоцільових суден, актуальним є завдання синтезу конструкції та подальшої побудови і супроводу високоефективного багатоцільового судна льодового класу на основі використання принципів сучасного

конструювання, нових засобів суднової техніки й морських технологій. Додатковою метою дослідження є подання розробленої методики синтезу, а також основних результатів проектування багатоцільового судна льодового класу – судна, що не має аналогів в Україні, вкрай затребуваного ВМФ України і її цивільним флотом. Для реалізації додаткової мети об'єктом дослідження визначені процеси синтезу й високоефективної експлуатації судна, де предметом дослідження є багатоцільове судно льодового класу.

Виділені завдання і функції, що ставляться до БСДФ льодового класу, а також запит практики: а) обґрунтовують вибір дуже актуальної для цивільного й військового флотів України теми дослідження; б) дозволили виділити концепцію створення судна, сформулювати основну мету, об'єкт і предмет дослідження, що викладені у "Вступі".

2.2 Методики та концепції проектного синтезу багатоцільового судна льодового класу

Концептуальними рішеннями проектування й синтезу конструкцій багатофункціональних і універсальних суден займається низка відомих морських інженерів і фахівців – Єгоров Г. В, Ільницький І. А., Тонюк В. І., Автутов Н. В., Огай С. О., *Rizzuto E., Downes J., Radon M.* і багато інших. У їхніх роботах показано, що завдання проектного синтезу такого складного технічного пристрою як судно, ґрунтується на апріорній, апробованій інформації та на методах аналогій. Зазвичай, у якості аналогів-прототипів, застосовуються найкращі відомі зразки технічних і технологічних рішень (безумовно, з урахуванням обмежень – фінансових, часових, кадрових, технологічних, виробничих, проектних та інших).

Технологія будь-якого наукового дослідження відображає матеріалістичну основу еволюційного пізнання світу – від спостереження за природними явищами і процесами, послідовного та глибокого вивчення проблеми до виявлення нових, неочевидних фактів дійсності, поставлення нових задач, виявлення нових властивостей, аргументів, доказів, способів і прийомів підт-

вердження отриманих наукових результатів, утвердження нових теоретичних положень і концепцій.

Для людино-машинної динамічної системи, до якої належить сучасне судно, основою гарантованої безпеки управління є культура безпечного судноводіння, що функціонує на системних принципах: інформативності, визначеності й реалізованості.

Для льодових проведень характерним є командний стиль операторської діяльності екіпажів суден каравану. Тому, з урахуванням правил Регістру, під час гармонізації процесу льодового проведення необхідно використання сінергетичного підходу до створення принципу й алгоритмів ефективного й безпечного управління. Системність управління також вимагає використання етапів під час аналізу – декомпозиції процедури (технології) дослідження на низку допоміжних завдань.

Під час плавання на каналах і фарватерах, русі у каравані за БСДФ на прямолінійних і криволінійних ділянках у різні періоди року, необхідне забезпечення безпечного проходження судна, заходу й виходу у порти. Ці завдання пов'язані з розмірними БСДФ, залежними не тільки від габаритів каналів, але й від погодних умов, якостей управління й керованості, видів можливих маневрів у каналі, фарватері, акваторії порту.

Тому одним із завдань дослідження є оцінювання залежності максимальних розмірів БСДФ від розмірів каналу, від погодних умов, маневрів, режимів ходу, керованості. Це завдання вирішується шляхом аналізу існуючих методів вибору архітектури й розмірів БСДФ для проходження у каналі, використання відомих експериментальних результатів і розрахункових методів, законів механіки, теорії корабля, електроенергетики й автоматичного управління. Науковим результатом, також, є концепція визначення безпечних максимальних розмірів БСДФ, як об'єкта управління для планування рейсу й виконання завдань спеціального призначення.

Ще одна наукова задача – завдання оцінювання характеру льодових навантажень на окремих ділянках водного шляху, що діють на БСДФ під час

прокладки льодового каналу для каравану. Рішення здійснюється методами статистичного аналізу й обробки відомих експериментальних даних. Науковим результатом, також, є встановлення виду та характеру зовнішніх впливів від льодового поля на БСДФ і судна каравану.

Зрозуміло, що описані проблеми (у тому числі і збереження провізної здатності або ефективності перевезення) вимагають якісного оцінювання, яке визначається безпекою мореплавання, і нерозривно пов'язане: а) з роботою, виконуваною судном у процесі перевезення; б) мінімально-неминучою роботою з доставки вантажу [19, 20]:

$$\eta_{en} = m_c \cdot v_c / N_{cэ} \quad (2.1)$$

де v_c – середня швидкість судна; m_c – вага судна, т; $N_{cэ}$ – середня ефективна потужність судна. Оскільки необхідна потужність СЕУ, що йде на здійснення роботи з подолання опору руху R_c , дорівнює $N_c = R_c \cdot v_c$ [19, 20, 39], то вираз (2.1) спрощується:

$$\eta_{en} = m_c / R_c . \quad (2.2)$$

Відома ціла низка методів розрахунку й оцінок опору руху корабля (Холтропа-Меннена, В. М. Штумпфа, Ю. А. Будницького, за "Атласом діаграм для розрахунку буксирувальної потужності транспортних суден" й інші).

Похибки оцінок з будь-якого з названих методів можуть бути встановлені тільки порівнянням результатів з даними експлуатації та експериментів. Наприклад, повний опір на тихій воді для теплоходу "Ізмаїл", визначений різними методами [67-69] ілюструється рис. 2.4.

Від швидкості судна залежить ефективна потужність N_e і витрата палива. Досить точну оцінку повного опору руху судна на тихій воді можна розрахувати, врахувавши низку його складових:

$$R_0 = R_{кор} + R_{пу} + R_{в} + R_{вт} , \quad (2.3)$$

де позначено корпусний опір $R_{кор}$ у вигляді суми складових – $R_{кор} = R_f + R_{\phi} + R_w + R_{вч}$ (опору тертя R_f , форми R_{ϕ} , хвильового R_w і виступаючих частин $R_{вч}$); $R_{пу}$ – опір вирізів підстернового пристрою (враховується при необхідності); $R_{в}$ – опір додаткових вирізів; $R_{вт}$ – вітровий опір.

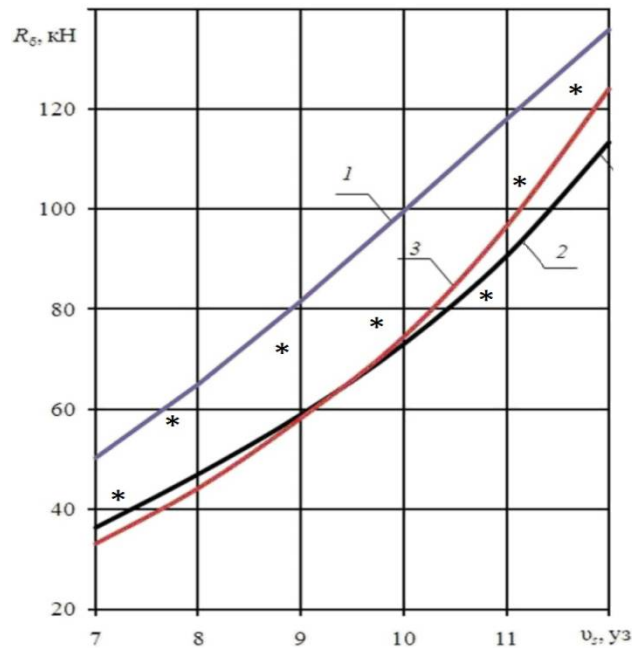


Рис. 2.4. Повний опір судна ($V = 5601,36 \text{ м}^3$; $L = 82,3 \text{ м}$; $B = 15,5 \text{ м}$; $d = 5,67 \text{ м}$; $\delta = 0,771$) розрахований: 1 – методом Холтропа-Меннена; 2 – за "Атласом діаграм для розрахунку буксирувальної потужності транспортних суден"; 3 – методом Ю. А. Будницького; * – експериментальні дані [67]

З урахуванням змочування поверхні Ω , швидкості v_0 й коефіцієнта опору тертя корпусу ζ_0 , можна записати:

$$R_0 = \zeta_0 \frac{\rho}{2} \Omega v_0^2 + R_{\text{пу}} + R_{\text{в}} + R_{\text{вт}}. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт опору тертя судна ζ_0 оцінюється сумою окремих коефіцієнтів опору повного опору руху:

$$\zeta_0 = \zeta_f + \zeta_{\phi} + \zeta_w + \zeta_{\text{вч}}, \quad (2.5)$$

Опір тертя визначимо за виразом

$$R_f = \zeta_f \frac{\rho}{2} \Omega v_0^2, \quad (2.6)$$

де $\zeta_f = \zeta_{f0} \cdot k_k + \Delta\zeta_f$ – загальний коефіцієнт опору тертя судна; ζ_{f0} – коефіцієнт опору тертю еквівалентної гладкої пластини; k_k – коефіцієнт сумарного впливу від кривизни поверхні судна.

Коефіцієнт сумарного впливу кривизни поверхні судна визначається за емпіричною залежністю:

$$k_k = 1 + 0,01 \left(\frac{11,25 - \frac{L}{B}}{5} + 2,5 \right) \times \left(1,3 - \frac{B}{10T} \right) (0,35 + \varphi), \quad (2.7)$$

де $\Delta\zeta_f = \zeta_{волн} + \sum_{i=1}^n \zeta_{\delta i} + \sum_{j=1}^m \zeta_{углj}$ – додання на шорсткість корпусу, яке містить $\zeta_{волн}$ – коефіцієнт хвилястості (додаткового опору від неоднорідності обшивки); $\zeta_{\delta i}$, $\zeta_{углj}$ – коефіцієнти опорів виступів, горбків, впадин і поглиблень (для нового судна – близькі до нуля).

У цілому, хвилястість і неоднорідність обшивки корпусу судна залежить від конструкції та технології складання корпусу:

$$\zeta_{волн} = 0,2 \left(\frac{2a}{\lambda} \right)^2 \frac{S_{волн}}{S}, \quad (2.8)$$

де $2a$ – висота хвилястості обшивки судна; λ – довжина хвиль; $S_{волн}/S$ – площа змоченої хвилястої поверхні, що виражена у відносних одиницях.

Коефіцієнт опору тертя еквівалентної гладкої пластини оцінюється за формулою Прандтля-Шлихтинга (турбулентний режим):

$$\zeta_{f0} = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}, \quad (2.9)$$

де Re – число Рейнольдса.

Загальний емпіричний коефіцієнт опору тертя судна (з урахуванням шорсткостей від фарбування):

$$\zeta_f = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}} \left[1 + 0,208 \left(\lg \frac{v_0 k}{v} - 1,96 \right)^{0,7} \right], \quad (2.10)$$

де k – коефіцієнт оцінки розмірів горбків шорсткості корпусу.

Коефіцієнт ζ_Φ опору форми судна визначений за формулою Папмеля:

$$\zeta_\Phi = 0,09 \frac{F_\otimes}{\Omega} \sqrt{\frac{\sqrt{F_\otimes}}{2L_k}}, \quad (2.11)$$

де $F_\otimes$ – площа зануреної частини мідель-шпангоута; L_k – довжина кормового загострення.

У вираз для оцінки хвильового опору [67, 70-72] входить інтеграл Мітчелла:

$$R_w = \frac{4\rho g v}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (I_1^2 + I_2^2) \frac{d\theta}{\cos^3 \theta}, \quad (2.12)$$

для якого немає аналітичного рішення. Тому наближено вважаємо, що

$$R_w = \zeta_w \frac{\rho}{2} \Omega v_0^2, \quad (2.13)$$

де коефіцієнт хвильового опору визначається як

$$\zeta_w = \zeta_{w0}(\delta) k_{L/B} k_{B/d}. \quad (2.14)$$

Оцінку складових $\zeta_{w0}(\delta)$, $k_{L/B}$, $k_{B/d}$ проводимо для різних значень числа Фруда $Fr = v_0 / \sqrt{Lg}$ (у функції δ і співвідношень L/B і B/d).

Опір виступаючих частин:

$$R_{вч} = \zeta_{вч} \frac{\rho}{2} \Omega v_0^2, \quad (2.15)$$

де $\zeta_{вч} = 0,25 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнт опору виступаючих частин.

Додатковий опір вирізів [59, 60, 69]:

$$R_v = \zeta_v \frac{\rho}{2} l b v_0^2 \text{ і } R_{пу} = \zeta_{пу} \frac{\rho}{2} l b v_0^2, \quad (2.16)$$

де l , b , ζ_v – довжина й ширина вирізу, а також коефіцієнт опору вирізу, відповідно. На початковому етапі синтезу конструкції БСДФ прийнято $\zeta_v = 0,0282$; $\zeta_{пу} = 0 \dots 0,066$ – коефіцієнт опору вирізу підстерна (якщо воно не передбачається для установки, то $\zeta_{пу} = 0$).

Вітровий опір судна:

$$\tilde{R}_{вт} = C_{вт} \frac{\rho_{вт}}{2} F_{п} (v_0^2 + v_{вт}^2 + v_0 v_{вт} \cos \varphi_v), \quad (2.17)$$

де $C_{вт} = C_0 \bar{C}_{вт}(\varphi_v)$ – коефіцієнт вітрильності (повітряного опору) судна; $C_0 = 0,4 \dots 1,3$ – коефіцієнт опору при зустрічному вітрі; φ_v – курсовий кут; $\bar{C}_{вт}(\varphi_v)$ – функція кута φ_v [59, 69]; $\rho_{вт}$ – щільність повітря; $F_{п}$ – площа поперечної проекції надводної частини судна; $v_{вт}$ – швидкість вітру.

Викладена методика й послідовність використання наведених виразів дозволили на етапі аван-проектного синтезу оцінити повний опір руху БСДФ ЛК.

Експлуатація БСДФ пов'язана з рухом на ділянках обмеженого за глибиною фарватеру. У мілководді й вузкостях складніше утримується курс і значно погіршиться маневреність, знизиться чутливість до перекладки стерна, збільшаться діаметр циркуляції, гальмівний шлях і час гальмування. Саме ці чинники є обмежувальними під час встановлення розмірних БСДФ, оскільки характеристики маневреності тим гірше, чим менше відношення H/T глибини фарватеру H до осадки T судна.

У мілководді погіршення характеристик проявляється при глибинах, що визначаються формулою Г. Е. Павленка:

$$H \leq 4T + \frac{3v^2}{g}, \quad (2.18)$$

Відношення глибини фарватеру H до осадки T судна, де вплив мілководдя на величину опору руху судна істотний, визначається емпіричною залежністю:

$$\frac{H}{T} = 4,96 + 52,68(1 - C_w)^2, \quad (2.19)$$

де C_w – коефіцієнт повноти площі ватерлінії.

Оцінити значення, за яких помітно вплив на ходові характеристики БСДФ під час руху в обмеженому фарватері, слід з огляду на два чинники.

1. Фактор впливу обмеженої ширини:

$$F_b = \frac{7,04B}{\delta^{0,85}}, \quad (2.20)$$

де B – ширина судна; δ – коефіцієнт загальної повноти судна.

2. Фактор впливу обмеженої глибини:

$$F_d = \frac{4,44T}{\delta^{1,3}}. \quad (2.21)$$

Завищені чисельні значення факторів F_b і F_d для різних типів суден відомі [59, 60], однак, на етапах аван-проектного синтезу конструкції БСДФ

слід їх прийняти як значення відповідні початковим значенням глибини й ширини каналу. Це дозволяє попередньо [73, 74] врахувати вплив мілководдя й вузькості [53-56] під час оцінюванні характеристик хідкості, а потім, ітераційно, уточнити. Обмежена глибина фарватеру H впливає на всі складові опору води руху судна, проте ступінь їхнього вимірювання в умовах мілководдя в порівнянні з рухом в умовах необмеженої глибини виявляється різною.

Відомо, що вплив мілководдя [54, 55] позначається на значенні хвильового опору за режимів у діапазоні $0,65 \leq Fr_H \leq 0,95$. У цих режимах хвильовий опір зростає (порівняно з рухом на глибокій воді з тією ж швидкістю), оскільки присутні додаткові маси води. Саме тому на мілководді з'являється динамічна просадка судна, найчастіше – на корму.

Для оцінки просадки застосована формула Рьоміша:

$$\Delta T = 0,55 C_v C_\delta (H/T - 0,4)^{-0,2} (H - T), \quad (2.22)$$

де $C_v = B \left(\frac{v}{v'_{кр}} \right)^2 \left[\left(\frac{v}{v'_{кр}} - 0,5 \right)^4 + 0,0625 \right]$ – коефіцієнт, що залежить від швидкості;

$$v'_{кр} = 1,28 H^{0,625} \left(\frac{L}{TB} \right)^{0,125} \text{ – критична швидкість на мілководді;}$$

$$C_\delta \text{ – коефіцієнт форми корпусу (для корми } C_{\delta к} = 1, \text{ для носу } C_{\delta н} = \frac{90 \delta^2 B^2}{L^2}).$$

Мінімальний запас глибини під кілем ΔH враховує:

- коливання рівня води ΔH_1 ;
- мінімальний, що забезпечує керованість, навігаційний запас глибини ΔH_2 ;
- запас глибини на крен судна ΔH_3 ,
- запас глибини на занурення окінцівки ΔH_4 ,
- швидкісний запас глибини ΔH_5 :

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5. \quad (2.23)$$

Ці складові ΔH визначаються за допомогою методів [53-56, 67].

Використовуючи метод Шліхтинга-Лендвебера, оцінюємо повний опір R на мілководді:

$$R = R_{\infty} - R_V(v_{\infty}) + R_V(v_1), \quad (2.24)$$

де $(R_{\infty} - R_V(v_{\infty}))$ – залишковий опір на глибокій воді за швидкості $v = v_{\infty}$; $R_V(v_1)$ – в'язкісний опір за швидкості $v = v_1$.

Необхідне під час руху в мілководді глибиною H за повного опору R емпіричне відношення швидкостей v_1/v_H дорівнює:

$$v_H/v_1 = f(\sqrt{A_x}/R_H), \quad (2.25)$$

де A_x – максимальна площа поперечного перерізу судна; $R_H = \frac{A_w}{W_c + W_s}$ – гідравлічний радіус; W_c і W_s – змочені поверхні каналу й судна.

Метод Шліхтинга-Лендвебера надійний для до критичних швидкостей, а встановлення швидкості v_H визначає потрібну потужність СЕУ з похибкою $\pm 15\%$. Природна втрата швидкості судна на річковій ділянці обмеженого фарватеру визначається за допомогою формули Лакенбі:

$$\frac{\Delta v}{v} = 0,1242 \left(\frac{A_m}{H^2} - 0,05 \right) + 1 - \sqrt{\tanh\left(\frac{gH}{v^2}\right)}, \quad (2.26)$$

де Δv – втрата швидкості під час руху на ділянці обмеженої глибини; v – швидкість судна на необмеженому фарватері; A_m – площа зануреної частини мідель-шпангоута.

За несприятливих погодних умов втрату швидкості Δv оцінюють за формулою Г. Аертсена:

$$100 \frac{\Delta v}{v_0} = \frac{m}{L} + n, \quad (2.27)$$

де m і n – емпіричні коефіцієнти, що залежать від курсового кута зустрічі хвиль і сили хвилювання.

Емпірична залежність (курсний кут 180°) зустрічі хвиль, рекомендується Регістром Ллойда:

$$\frac{\Delta v}{v_0} = 50 \left(\frac{h_{1/3}}{L} \right)^2 \left[Fr^{-1} - 3 \left(\frac{h_{1/3}}{L} \right)^{1/4} \right], \quad (2.28)$$

де $h_{1/3}$ – висота значних хвиль.

Втрата швидкості недостовірно описується аналітично й залежить від безлічі факторів (відношення ширини до довжини судна, коефіцієнта загальної повноти, поздовжнього радіуса інерції маси судна, від типу СЕУ, запасу енергії, в тому числі й динамічного). Проте, для визначеного району плавання, оцінити втрату швидкості судна можна використовуючи статистичні вітро-хвильові (довідкові) дані.

Потрібно зазначити, що динаміку судна оцінюють, що є загальноприйнятим, відносно нерухомої $O - XYZ$ і рухомої (з центром у центрі ваги судна) $G - x\tilde{y}\tilde{z}$ Декартової систем координат (рис. 2.5), разом з цим в умовах тихої води центри обох систем збігаються. Вважається, що судно рухається зі швидкістю v назустріч регулярної хвилі довжиною λ_w і висотою h_w .

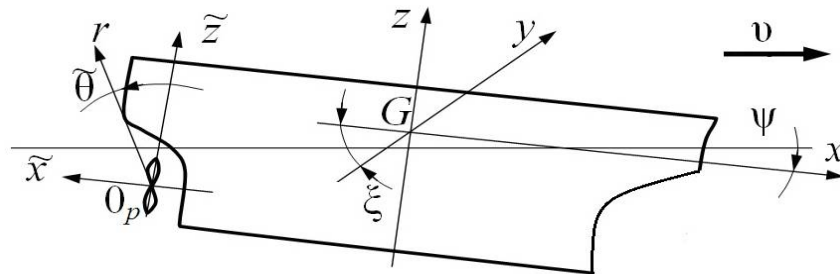


Рис. 2.5. Система координат, що прив'язана до центру ваги судна

Однак завдання оцінювання динаміки БСДФ виходять за межі цього розділу дисертаційного дослідження.

2.3 Рішення загальної задачі проектного синтезу багатоцільового судна допоміжного флоту льодового класу

У окремих частинах Чорного й Азовського морів біля узбережжя України льодовий стан триває 3...6 місяців, що змушує здійснювати ризиковані проведення суден. Тому рішення задачі льодової керованості суден каравану,

що передбачає забезпечення протягом року стабільного морського перевезення вантажів, здійснюється шляхом гармонізації пропускної здатності тоннажу на морських каналах і фарватерах шляхом ритмічного й безпечного управління флотом в зимовий період року. Попереднє експертне оцінювання впливових факторів (новизна, оцінювання шляхів підвищення пропускної спроможності морських каналів і фарватерів, оцінювання конструкції та застосування БСДФ льодового класу) надані у табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Експертне оцінювання впливових факторів

Пункти	Аспекти	Фактори				
		Актуальність	Наукова новизна	Економічність	Профіль паспорту спеціальності 05.22.20	Реалізованість
1	Концепція конструкції	+	+	+/-	+	+/-
2	Універсальність, багатофункціональність	+	+	+/-	+	+
3	Логістика, ефективність роботи флоту, фінансування, зовнішні фактори	+	+/-	+	+	+/-
4	Льодова прохідність, керованість	+	+	+/-	+	+

Управління караванами суден у льодових умовах базується на "досвіді морської практики", а тому процедура льодового проведення суден на морських шляхах і на сьогодні не регламентована, безпека судноплавства негарантована, а льодове плавання – ризиковане.

Зрозуміло, що чим раніше й надійніше можна передбачити поведінку судна у льодових умовах, тим безпечніше і ефективніше проведення каравану. Цим також зумовлена актуальність і перспективність напрямку дослідження.

У процесі вирішення названих завдань використовуються методи теорії льодового корабля [59, 75-78], маневрування суден в умовах обмеженого простору й під час надмірного зближення [77], оригінальних статистичних даних з МТП Чорного й Азовського морів, враховуються методи безпечної проводки суден каравану, які визначають його структуру, режими руху, умови безпечного плавання за БСДФ і за аварійного буксирування.

Основним науково-практичним результатом дослідження є розробка концепції побудови та створення загальної архітектури БСДФ ЛК.

У якості судна-прототипу (аналога) був вимушено прийнятий криголам "Капітан Белоусов". На додаток до нього відібрано ще одне, більш нове, судно-прототип (універсальне судно льодового класу "*Arcticaboarg*"), для якого відомі не тільки ТТХ, а й основні прийняті конструктивно-технологічні рішення, які, з попереднього аналізу, можуть бути застосовані й під час синтезу конструкції нового судна – БСДФ. На перший погляд, задача проектування є "інженерною", що не має відношення до розвитку науки.

Однак потрібно врахувати наступне. У [79-83] справедливо стверджується, що на даний час задовільних оптимізаційних рішень для вирішення задач хідкості й морехідності немає суден ледокольного типу немає. Немає надійних гідродинамічних рішень для повірочних розрахунків за заданою формою корпусу для плавання під час хвилювання і на спокійній воді. Оцінюючи судно як єдину, синтезовану, складну системну конструкцію, можна підкреслити, що на даний час відсутні математично доведені формалізації та критерії (функціонали) для поставлення оптимізаційної задачі, наприклад, про найкращу можливу форму корпусу судна, про загальну архітектуру судна.

Відомо, що проектування – наука про створення складних технічних конструкцій (складних технічних систем – СТС) завжди використовує приватні (інженерні) рішення. Саме це вказує на відсутність методології знаходження "ідеального" проектного рішення. Але це і є присутність у проектуванні творчої та авторської оригінальної думки. "Проектування кораблів часто вважають мистецтвом ... значення його як мистецтва недооцінюється лише тими конструкторами, уява і творча думка яких обмежені ..." [49, 84]. Таким чином, усі основні якості судна залежать від проектувальника – його досвіду, практики, мистецтва застосування інженерних знань, формальної логіки, творчого підходу та спеціальних знань.

Задача синтезу БСДФ багато у чому суперечлива, у тому числі через те, що до судна ставляться вимоги, які частково або повністю виключають одне одного, що вимагає пошуку компромісних, несуперечних, проектних рішень.

Несуперечливе проектування (Храмушин В. Н., Огай С. А.) розділене на етапи: а) комплексного вивчення проблеми; б) компромісного узгодження вимог до судна як до складної, сінергетичної, системи. Такі етапи створюють зустрічно-паралельний шлях досліджень: а) від встановлення загальних вимог до БСДФ, до приватних інженерно-конструкторським рішенням і, б) від наявних технологічно-доступних рішень до максимально найкращого, компромісного (за цільовим призначенням) проекту БСДФ у цілому (проектування "знизу-вгору").

Проектний синтез загальної архітектури БСДФ методом "знизу-вгору" може бути застосований і під час незначних змін ТТХ і морехідних властивостей відомих, апробованих конструкцій суден, що, за суттю, означає модернізацію або конверсію (реновацію). Цілий комплекс проектних робіт обмежується пошуком економічно обґрунтованих, технологічних, варіантів перебудови судна, знаходженням компромісних варіантів установки нових елементів, судових систем і устаткування, експериментальним визначенням властивостей судна. Наведені вимоги до БСДФ настільки високі, що абсолютно зрозуміло – проектний синтез нового судна вкрай складний, БСДФ складна інженерно-технічна конструкція. Саме тому етап "знизу-вгору" має місце на початковому етапі проектного синтезу, де слід врахувати швидкоплинне вдосконалення кораблебудівельних технологій, можливих для установки нових, сучасних, СЕУ, механізмів, навігаційного обладнання й інших елементів.

Під час пошукового й повірочного етапах несуперечливого проектування БСДФ виробляється послідовність і узгодження технічних рішень, їхній зв'язок з експлуатаційними вимогами.

Слід розділити й комплекс вимог до БСДФ на незалежні напрямки досліджень, що дозволяє здійснити послідовний пошук і узгодження несуперечливих проектних рішень.

Напрямок "згори-донизу" відповідає переходу від теорії до практики, а "ліворуч-праворуч" – від аналізу відомих рішень до конкретних (від загального до конкретного). Тому принципово нове, нетрадиційне БСДФ може бути синтезовано тільки виходячи з принципу проектування "згори-донизу".

Тут із загальних вимог, проектних побажань замовника, здійснюється пошук конкретного архітектурного, техніко-конструкційного рішення.

Несуперечливе проектування й проектний синтез БСДФ ЛК		
Вимоги й обмеження Універсальність, хідкість, льодовий клас, стабілізація корпусу, безпека мореплавання, ма- ла осадка. Обмеження: фінансові, політичні, виробничі, патентні, технологічні, інформа- ційні, кадрові, часові		
Відбір суден-прототипів, аналогів, досвід судново- діння, досвід проведення морських спецоперацій	Синтез форми корпусу, САПР, опти- мізація окремих рішень. Евристика та практика. Пошукові дослідження. Попереднє оцінювання	Аналіз якості й відбір варі- антів (проектних організа- цій/тендерної пропозиції, проекту, постачальників, виробників). Випробову- вання, експерименти, фізи- чне моделювання
Аналіз відомих рішень і відбір прототипів, анало- гів. Інтелектуальна підт- римка прийняття рішень. Досвід управління судном і проведення морських спецоперацій	Евристична й чисельна оптимізація та синтез конструкції. Моделювання	Аналіз якості запропонова- них проектних рішень. Експертні методи. Кваліметрія
Досвід проектування, морської і спец. практики (експлуатація, управлін- ня, командування, поста- чання, логістики, підтри- мки і т.д.). Врахування можливостей і обмеження	Оцінювання основних властивостей, сумарної ваги постачання, запасів палива й мастила, дедвейту, місткос- ті. Оцінювання потужності СЕУ, остійності, морехідних якостей, льо- допрохідності	Відбір постачальників, про- ектувальників (тендерні процедури)
Концептуальні технологі- чні, техніко- експлуатаційні й констру- ктивні рішення. Розробка загальної концепції. По- будова загальної архітек- тури й відбір основних елементів судна та його корпусу	Оцінювання/уточнення основних ТТХ, параметрів, елементів (корпус, форма, СЕУ, обладнання, системи управління, навігації, захисту и т.д.)	Супровід: проектування, закупівель, виробництва, випробувань. Планування експерименту й обробка експериментальних даних. Комплексний аналіз якос- тей судна, нових проектних рішень, спеціальних влас- тивостей і функцій

↓ Від теорії до практики – Від загального до часткового →

Рис. 2.6. Загальна задача (завдання) проектного синтезу БСДФ ЛК

Водночас доводиться погоджувати гострі технологічні й потенційно-
можливі експлуатаційні протиріччя, зберігши всі традиції морського досвіду
судноводіння і не надмірно ускладнюючи кораблебудівні технології. З аналі-
зу властивостей і морехідних якостей розглянутих раніше суден прототипів
зроблено висновок про системність у проектуванні суден. Цей підхід утворе-
ний сінергетизмом передпроектного аналізу й подальшого проектного синте-

зу нових інженерно-конструкторських і техніко-технологічних рішень, виробленням експлуатаційних вимог до БСДФ як до усіпогодного корабля.

Задача проектного синтезу БСДФ льодового класу формалізована у вигляді тривимірного простору завдань, які повинні вирішуватися новим судном. Вісі простору обрано такі:

а) "час". Керування БСДФ має бути ефективним у складних і різноманітних кліматичних умовах плавання. Завдання керування, як науки, повинне виконуватися технічними засобами, однозначними навігаційними правилами ефективного управління судном і правилами безпечного судноводіння;

б) "простір". Це виконання завдань, військових і/або комерційних операцій, які БСДФ має виконати у будь-якому навігаційному стані, за часткових пошкодженнях корпусу, аварійної поломки суднового устаткування, втрат екіпажу;

в) "синтезу конструкції". Це реалізовані технічні завдання в конструкції і технічному оснащенні БСДФ, технологіях, умовах технічної та комерційної експлуатації, навігаційному технічному та програмному забезпеченні, можливості модернізації, реновації, конверсії, оновлення, модифікації, ремонту й інших реалізованих задач.

Найважливішою вимогою боєздатності БСДФ, що за необхідності несе активне (у тому числі – приховане) озброєння, є стабілізація корпусу під час плавання в умовах інтенсивного морського хвилювання. У [5, 9, 10, 13, 16, 48] таке завдання вирішується поетапно, а по завершенню проектного етапу виникає концептуальна модель побудови нового судна. Так, БСДФ ЛК можна охарактеризувати як нетрадиційне у цілому, і у основних архітектурних рішеннях.

Тому використано комплексний аналіз попередньо прийнятих технічних і проектних рішень. На етапах аван-проекткування такий аналіз можливий тільки з залученням методів кваліметрії й експертного оцінювання, що дозволяє з експлуатаційних позицій дати практично достовірну оцінку всьому судну, як до складної технічної системи (СТС) [85].

Таблиця 2.5. Причинно-цільова матриця проектного синтезу БСДФ ЛК

ЗАГАЛЬНІ						
		ДЛЯ КОГО? (СПОЖИВАЧ)	ЩО? (ПРОДУКЦІЯ, ТОВАР)	ЯКЕ? (ЯКІСТЬ, ТТХ)	СКІЛЬКИ? (ОБ'ЄМ, КІЛЬКІСТЬ)	КОЛИ? (СТРОКИ)
		1	2	3	4	5
ЧАСТКОВІ	ДЛЯ КОГО? (СПОЖИВАЧ)	1. МЕТА	2.1. Ціна – якість – сервісне обслуговування, ТО	3.1. Індивідуалізація, тюнінг, конверсія, реновація	4.1. Одинична постача/серія	5.1. Системи логістики й розподілу ресурсів (“точно й у строк”)
	ЩО? (ПРОДУКЦІЯ, ТОВАР)	1.1. Відповідність запиту практики, потребам флотів, політич. обставинам	2. МІСІЯ	3.2. Затребувана якість, системи якості (ISO 9000)	4.2. Програма виробництва, продуктивність	5.2. Строки постачі
	ЯКЕ? (ЯКІСТЬ, ТТХ)	1.2. Споживачі, маркетинг	2.2. Рівень конкурентоспроможності, ринкова позиція	3. СТРАТЕГІЯ	4.3. Асортимент обладнання, оснащення, озброєння	5.3. Можливості модернізації / реновації / конверсії / змін, глибина можливих перетворень
	СКІЛЬКИ? (ОБ'ЄМ, КІЛЬКІСТЬ)	1.3. Об'єми фінансування, платоспроможного попиту	2.3. Об'єми проекту, виробництва	3.3. Споживацька складність / кооперація / постачі	4. ТАКТИКА	5.4. Розміри партій під час постачі
	КОЛИ? (СТРОКИ)	1.4. Строки виробництва, споживання, життєвий цикл	2.4. Строки: проектування / здачі / виходу на ринок	3.4. Інноваційне випередження конкурентів	4.4. Логістика проектування, виробництва, розподілу ресурсів	5. ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ

За результатами експертного аналізу аргументується висновок про оптимальності (за заданими критеріями) проекту БСДФ, універсальності, експлуатаційної та економічної ефективності, можливості виконання спеціальних, в тому числі й бойових, завдань.

Експерти повинні здійснити інтелектуальну підтримку прийняттю рішень (ППР) з низки наступних позицій.

1. Оцінити прийняті рішення про форму корпусу, особливості розташування суднових механізмів, приміщень, спеціального обладнання, попередньо оцінивши особливості хідкості, остійності, непотоплюваності, штормової морехідності, льодових властивостей, безпеки мореплавання; оцінити конс-

труктивні особливості корпусу, тип головних двигунів, керованість і населеність у різних умовах експлуатації, в тому числі в штормових і під час виконання спеціальних завдань.

2. Оцінити розподіл навантаження і співвідношення ваги уздовж корпусу за рівнями палуб, можливостей диферентування; оцінити співвідношення між судновими запасами, корисним навантаженням і дедвейтом; оцінити варіанти баластування за різних експлуатаційних навантажень; кількісно оцінити хідкість і остійність у штормових умовах, прийняті технології та методи боротьби за живучість під час ушкодження корпусу судна, відмови обладнання.

3. Оцінити достовірність розрахунків остійності, плавучості й непотоплюваності, в тому числі в аварійних ситуаціях і під час затоплення відсіків. Дати висновок про можливі уточнення/зміни форми корпусу та всієї загальноносуднової архітектури.

Практично на всіх етапах життєвого циклу БСДФ, у тому числі на етапах синтезу конструкції, створення, технічної експлуатації доводиться аналізувати велику кількість взаємних зв'язків параметрів, елементів, характеристик і явищ. Апробованим методом дослідження БСДФ як СТС є структурний аналіз систем (САС), що базується на теорії відношень. Основною особливістю застосування є те, що, використовуючи мінімум первинних даних, САС дає, як мінімум, якісно достовірні результати, дозволяє порівнювати між собою різні варіанти проектів вже на ранніх стадіях їхнього створення і розробки (аван-проекти). Саме це дозволяє усувати принципові помилки проектування, створення, технічної експлуатації, утилізації, тобто всього ЖЦ, оскільки на стадії, наприклад, експлуатації вкрай дорого обходиться усунення припущених під час проектування помилок. САС дозволяє, крім низки специфічних можливостей подання та опису встановлювати значимість окремих елементів і параметрів СТС, зв'язків між ними, дозволяє оцінювати якість системи, формулювати рекомендації з її цілеспрямованого покращення.

Важливою частиною САС є, що застосоване у дисертації, визначення значущості елементів і параметрів СТС, що використовує наявні сукупності відношень. Саме з цією метою використовується кількісний показник значу-

щості – ранг (бал). Ранг є відносною характеристикою, оскільки залежить від застосованого методу ранжирування. Установлення рангу для параметра, елементів, характеристик СТС дозволяє усунути суб'єктивну якісну оцінку значущості (ваги) і перевести її у кількісну, що однозначно трактується. Ранги параметрів, елементів і характеристик СТС дозволяють оцінити внесок, зроблений до загального інтегрального показника СТС окремих параметрів, елементів, ступінь їх функціонального завантаження, вичленити найбільш слабкі місця. Таким чином, з'являється можливість розробки "оптимальної" концепції (стратегії, програми) технічної реалізації СТС з урахуванням значущості її параметрів і елементів. Така концепція створює передумови для істотної економії ресурсів – виявлені проблеми вирішуються до початку виробництва БСДФ. Завдання проектного синтезу різко ускладнюються під час забезпечення льодового плавання й обліку особливостей застосування судна у військових цілях.

Структура та зміст загальної задачі проектування судна [50, 51, 59, 60, 68, 69, 73, 76] залежить від цільового призначення судна, його технологічних можливостей, техніко-економічного обґрунтування й виділених ресурсів, стадій проектування, а також від повноти первинних даних. Для ефективного рішення загальної задачі проектного синтезу судна необхідно встановити визначені залежності між: а) водотоннажністю; б) потужністю СЕУ; в) місткістю; г) головними розміреннями та їх співвідношеннями; д) безрозмірними проектувальними коефіцієнтами, що характеризують форму обводів корпусу. Також необхідно визначити граничні значення незалежних змінних, виявити взаємозв'язок основних елементів судна з прийнятими критеріями оптимізації. Проектування та математичне моделювання судна будують на підґрунті аналітичного апарату [50, 59, 60, 68, 69, 73, 76], що додатково включає апроксимаційні функції, за допомогою яких визначають різного виду коефіцієнти й параметри (утилізації, опору води, пропульсивного комплексу і т. д., характеристики площ, обсягів, потужностей, проводять експертні оцінки [6, 23, 25, 26].

Аналітичні залежності для визначення низки показників для різноманітних суден на окремих стадіях аван-проектування різні. Іноді аналітичні за-

лежності для суден є універсальними, але чисельне значення коефіцієнтів пропорційності різне, що часто характерно і для залежностей, виведених для однотипних суден різних модифікацій. Такі коефіцієнти носять нормативний характер і підлягають систематичному уточненню, у зв'язку з чим, суворий математичний опис процесу проектування судна неможливий і в кожному конкретному випадку потрібне уточнення. Іншими словами, відомий "принцип подібності" у цих ситуаціях непридатний.

Для БСДФ критерій оптимізації надається в функції багатокomпонентних параметрів, тобто складанню математичної моделі має передувати відбір (вибір) параметрів і ТТХ. Їх перелік $P_{ij}(X)$ встановлюється у кожному конкретному випадку. Змінні x_i компонента X відбирають з числа питомих параметрів і ТТХ таким, щоб: а) була збережена залежність змінних; б) їхня кількість була мінімальною.

Смисловий зміст компонента X можна розкрити на прикладі проектування багатоцільового вантажного судна. Під час вирішення загальної задачі проектування такого судна 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 α, β, δ .

Під час вирішення завдання проектного синтезу варіюємо значеннями вантажопідйомності (дедвейту), швидкості й місткості W_c , домагаючись необхідного результату з урахуванням забезпечення необхідної міцності корпусу і навігаційних якостей. За повного використання габаритів суднового ходу вантажопідйомність визначиться з урахуванням його характеристик. Необхідно, також, встановити зв'язок незалежних змінних з вихідними даними (з урахуванням обмежень і меж їх зміни), з головними розміреннями і безрозмірними характеристиками форми корпусу, розкрити взаємозв'язки між основними параметрами та властивостями судна, а також між параметрами та прийнятими критеріями оптимізації.

Діапазон зміни водотоннажності призначається на підставі досвіду проектування в межах кратності можливої зміни вантажопідйомності та прийнятих ТТХ. За обмежених габаритів суднового ходу верхню граничну зміни

водотоннажності необхідно визначати з граничних розмірів судна, максимально можливого для даного типу судна коефіцієнта повноти й мінімального коефіцієнта утилізації водотоннажності. Зазначимо, що помилковість призначеного діапазону зміни відразу виявиться на початку розрахунку, оскільки виявиться стійка велика різниця між вантажопідйомністю, вантажомісткістю й основними розрахунковими характеристиками. Ця помилка усувається шляхом ітераційного корегування прийнятих початкових значень.

Граничні значення відносної швидкості й коефіцієнту загальної повноти надають за допомогою систематизованих даних серійних модельних випробувань суден.

Під час призначення граничної зміни відношення B/T враховується досвід проектування в частині забезпечення остійності й хитавиці судна.

Під час вибору діапазонів зміни відношення L/H доцільно користуватися правилами класифікаційних товариств, що формулюють, з урахуванням цього співвідношення, вимоги до конструкції та міцності суден.

До загальної задачі проектного синтезу БСДФ входять: а) розробка техніко-експлуатаційних вимог до проекту (концепція, аван-проект) судна; б) побудова теоретичного креслення корпусу; в) синтез характеристик плавучості й початкової остійності судна; г) оцінка характеристик його хідкості; д) попередня оцінка отриманих проектних рішень.

Зрозуміло, що в межах одного дослідження всі поставлені завдання не те що вирішити, але й відобразити вкрай складно. Однак коротко пояснити основні принципи й послідовність запропонованої методики синтезу конструкції БСДФ можна.

Під час розробки концепції БСДФ використано принципи й методи експертного оцінювання [6, 23, 25], яким 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.

З огляду на важливість всесезонного використання шляхів Азовського і Чорного морів, нестабільність погодних умов, що різко погіршують льодоп-

рохідність у зимовий період, однією з головних вимог до БСДФ стала його здатність до подолання суцільних льодових перемичок до 1,0 м.

Для цього застосовано спеціальну технологію подолання "важких" льодів [86-94], що заснована на створенні особливої геометрії корпусу судна, сформованої у вигляді складної поверхні двоякої кривизни, орієнтованої щодо просторових координат. Теоретичне креслення БСДФ (рис. 2.7) синтезовано методами моделювання ліній перетину поверхні корпусу площинами, паралельними головним площинам судна за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення НУ "ОМА".

Введемо 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.

На основі оптимізації головних компонентів синтезовані основні розміри БСДФ за: довжиною між перпендикулярами $L = 67,7$ м; шириною $B = 18,2$ м; висотою борту $H = 6,4$ м; конструктивною осадкою $T = 3,5$ м. За масштабом Бонжана визначені: вагова водотоннажність $D = 2935$ т; об'ємна водотоннажність $V = 2864$ м³; координати центру величини $C \{X_c = 0,53$ м; $Z_c = 1,912$ м}; площа ватерлінії $S = 1057$ м²; абсциса центру ваги площі ватерлінії $X_g = -1,9$ м; поперечний і поздовжній моменти інерції площі ватерлінії $I_x = 24086$ и $I_{yf} = 332582$ м⁴. Метацентричні радіуси – поперечний $r = 8,41$ м і поздовжній $R = 115,2$ м; апліката поперечного метacentра $Z_{me} = 10,3$ м; змочена поверхня $S = 1241$ м².

Один фрагмент теоретичного креслення корпусу, загальний вигляд синтезованої конструкції судна і деякі його елементи наведені на рис. 2.7 – 2.11.

Одночасно з синтезом геометрії корпусу, плавучості й початкової остійності БСДФ здійснено порівняльний аналіз (табл. 2.6) функціоналів F_i форм корпусів найближчих за функціональними можливостями суден-аналогів: криголама "Капітан Белоусов" ($L = 77,5$ м; $B = 18,7$ м; $H = 9,5$ м; $T = 6,2$ м; $D = 4500$ т; $V = 4390$ м³) і офшорного універсального судна постачання

льодового класу "*Arctica-boarg*" ($L = 60,6$ м; $B = 16,4$ м; $H = 4,4$ м; $T = 2,9$ м; $D = 2015$ т; $V = 1966$ м³).

Коефіцієнти повноти перетинів і загального обсягу проекту БСДФ, в порівнянні з загальноприйнятими для криголамів, дещо відрізняються і складають: загальної повноти $\delta = 0,664$ (0,45 ... 0,59); повноти ватерлінії $\alpha = 0,858$ (0,69 ... 0,75) і повноти мідель-шпангоуту $\beta = 0,903$ (0,73 ... 0,88).

Максимальні значення величини остійності форми (пантокрени) під час посадки БСДФ без крену диферент досягає 6,3 м за статичним креном 60°.

Перевищення значень $F_2 = L/H$ і $F_4 = H/T$ у БСДФ, під час порівняння з нормативними, пов'язане з апріорі заданими малими значеннями висоти борту і осадки – для забезпечення підвищеної прохідності.

Визначення мінімально-неминучої буксирувальної потужності проекту судна на тихій воді здійснено з використанням класичної методики Ю. А. Будницького. Розрахункова мінімально-необхідна потужність СЕУ БСДФ на глибокій і тихій воді, за швидкості 16 вузл і з урахуванням експлуатаційного фактора $k = 1,2$, становить 2122 кВт під час оцінювання буксирувального опору у 258 кН.

Льодовий опір БСДФ у крупнобитих льодах:

$$R_l = (C_k + 4,134 V_l^{1,3}) h^{1,2}, \quad (2.29)$$

де $C_k = 55$ – довідковий коефіцієнт; швидкість в льодах $V_l = 8,0$ вузлів; товщина суцільного льоду $h = 1,5$ м; льодовий опір $R_{l(1,5)} \approx 190$ кН.

У звичайних експлуатаційних умовах, за $V_l = 8,0$ вузлів і $h = 0,5$ м, льодовий опір становить $R_{l(0,5)} \approx 51$ кН.

Льодовий опір БСДФ у суцільних льодах:

$$R'_l = 5,79 \{1 + 0,4 B h^{1,33} [(L/B)^{1,5} - 1]\}. \quad (2.30)$$

З (2.30) отримаємо: $R'_{l(1,5)} \approx 448,0$ кН і $R'_{l(0,5)} \approx 108,0$ кН.

Сумарне розрахункове значення опору льоду і води руху БСДФ розраховане за швидкості $V_l = 8$ вузлів судна у льодах.

У суцільних льодах: $R_{c(0,5)} = R_{\delta(8)} + R_{l(0,5)} = 51,0 + 49,0 = 100$ кН і $R_{c(1,5)} = R_{\delta(8)} + R_{l(1,5)} = 51,0 + 190,0 = 241$ кН.

У крупнобитих льодах: $R_{c(0,5)} = R_{\delta(8)} + R_{л(0,5)} = 51,0 + 108,0 = 159 \text{ кН}$ і $R_{c(1,5)} = R_{\delta(8)} + R_{л(1,5)} = 51,0 + 448,0 = 499,0 \text{ кН}$.

Наприклад, розрахункові значення потужності однієї гвинто-стернової поворотної колонки визначаються, за їх загальною кількістю на БСДФ $z = 2$, значення ККД гребного гвинта колонки $\eta = 0,70$ і ККД передачі $\eta = 0,94$. Для різних сумарних значень ΣR опору льоду й води руху БСДФ за швидкості $V_{л} = 8$ вузлів у льодах, потужність однієї колонки визначається за формулою:

$$N_{\kappa(i)} = \frac{\Sigma R \cdot V_{л}}{0,514 \cdot z \cdot \eta \cdot \eta_n}, \text{ кВт.} \quad (2.31)$$

Оцінка значень потужності: у суцільних льодах $N_{\kappa(0,5)} = 1183 \text{ кВт}$ і $N_{\kappa(1,5)} = 2850 \text{ кВт}$, у крупнобитих льодах $N_{\kappa(0,5)} = 1881 \text{ кВт}$ і $N_{\kappa(1,5)} = 5902 \text{ кВт}$.

Таблиця 2.6. Значення функціоналів F_i (співвідношень головних розмірень корпусів) суден-аналогів і середніх значень

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	3,7	10,6	2,8	1,8
Середнє значення розглянутих суден-аналогів	3,5...4,8	6,6...9,2	2,4...3,2	1,3...1,5

З попереднього аналізу тендерних пропозицій постачання матеріалів і устаткування, встановлено, що фінська компанія *ABB* для проектного судна зможе встановити високоефективні гідропропульсивні рушійні системи на основі пристроїв "Азіпод" серій *CO 980* (1300 ... 2300 кВт) або *CO 1250* (2200 ... 4200 кВт), які на даний час рекомендовані до установки на криголамні судна.

Наприклад, на проектоване БСДФ льодового класу пропонується встановлення систем "Азіпод" серії *CO 1250* для забезпечення руху за швидкості 8,0 вузлів у суцільних льодах товщиною до 1,5 м, оскільки умова $N_e = 4200 \text{ кВт} > N_{\kappa(1,5)} = 2850 \text{ кВт}$ виконується.

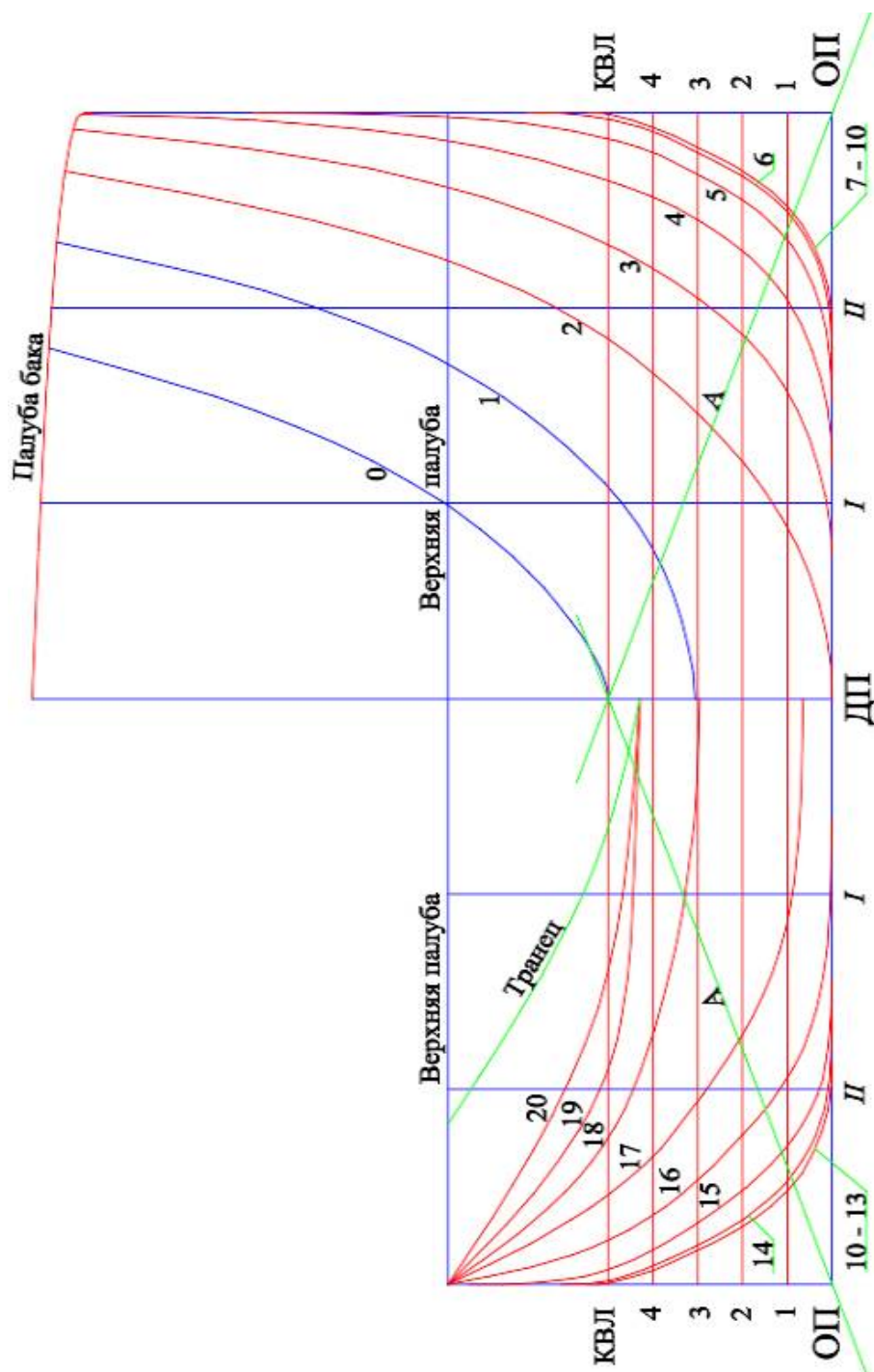


Рис. 2.7. Фрагмент теоретичного креслення корпусу БСДФ ЛК (вид збоку)

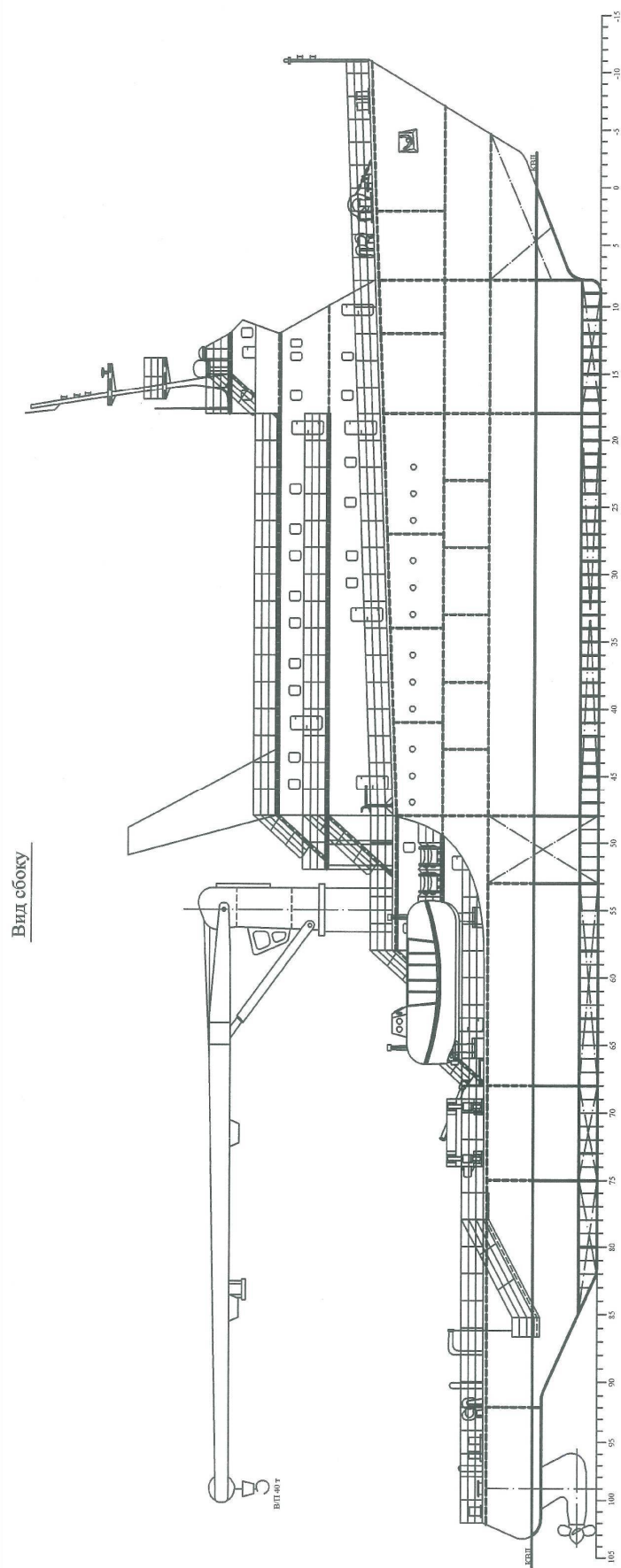


Рис. 2.8. Загальний вид збоку синтезованого БСДФ ЛК

Вид сверху

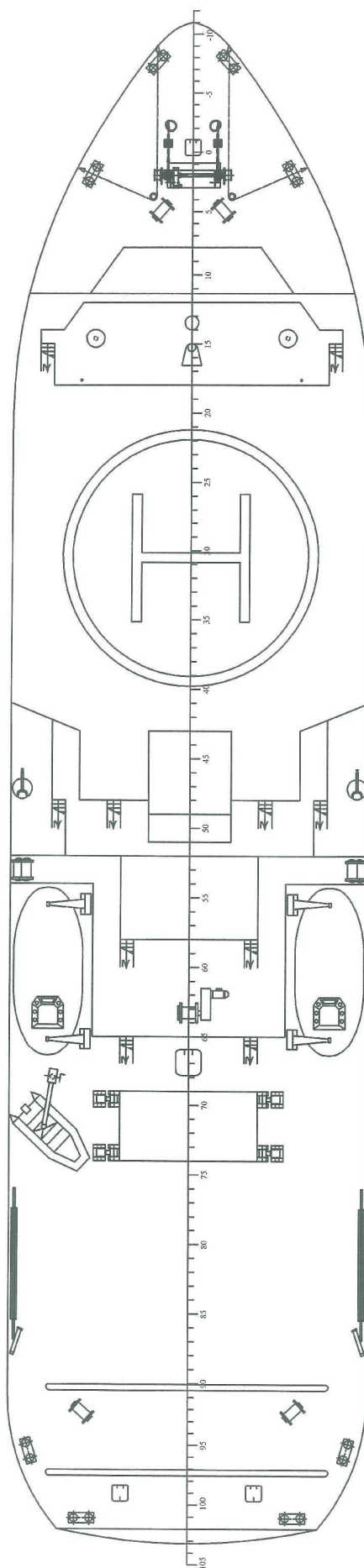


Рис. 2.9. Загальний вид згори синтезованого БСДФ ЛК

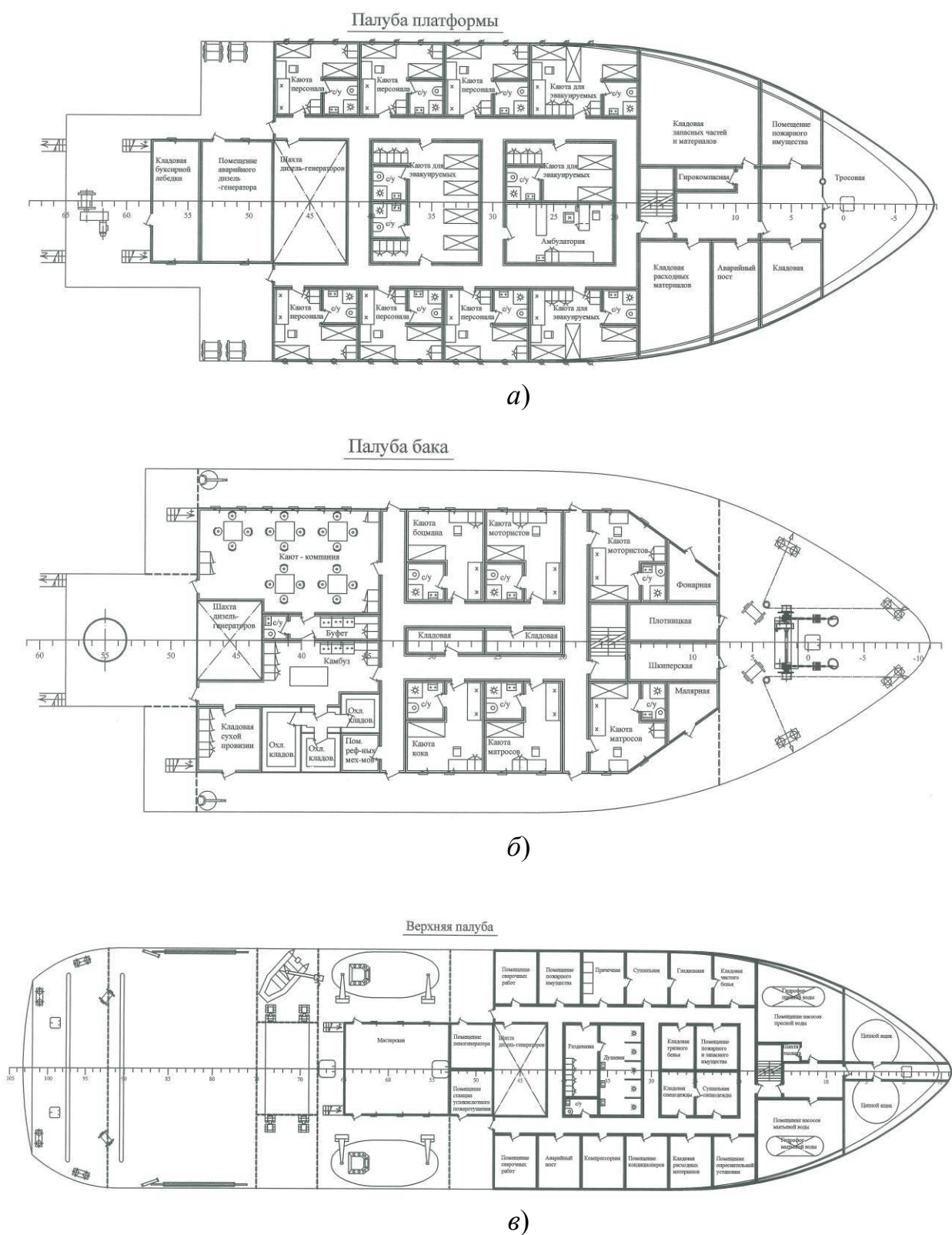
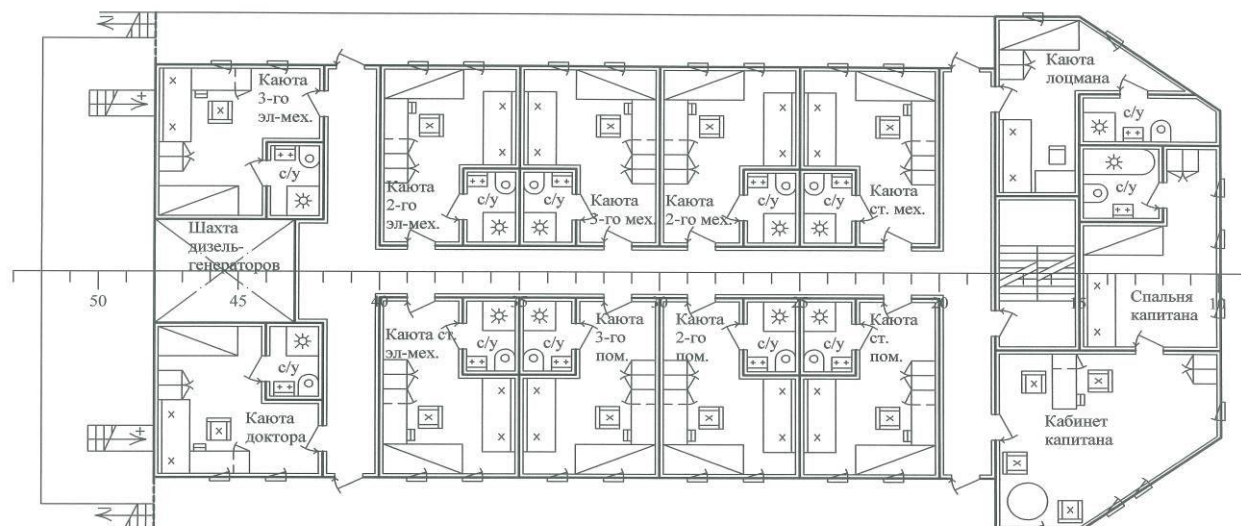
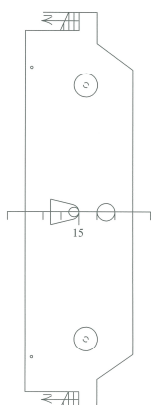


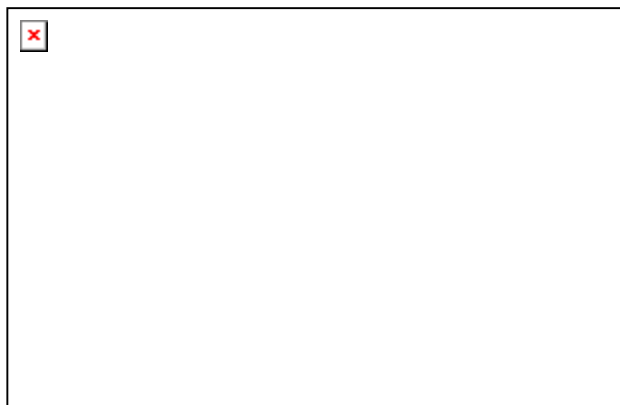
Рис. 2.10. Палубы синтезованого судна (цивільний варіант судна)



а)

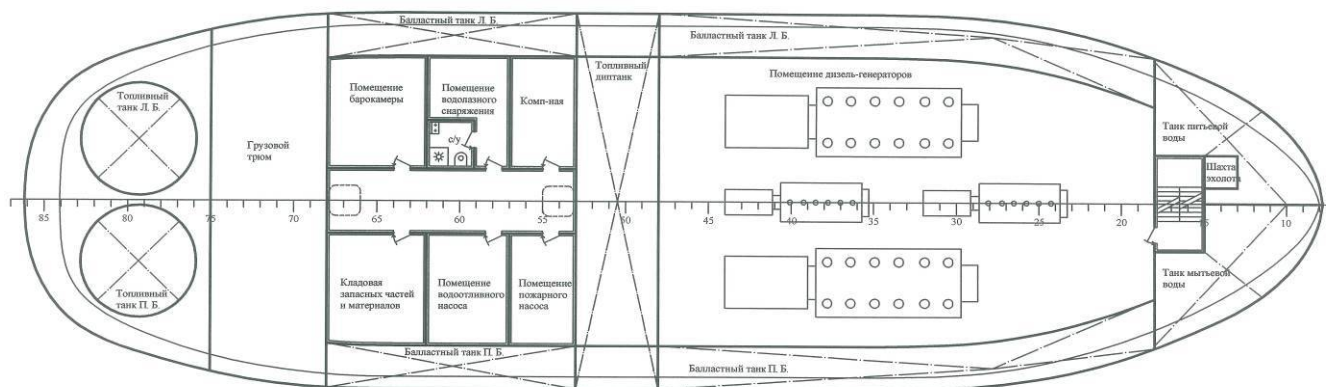


б)



в)

Настил двойного дна



а)

Рис. 2.11. Каюти (а), елементи (б, в) і настил подвійного дна синтезованого БСДФ ЛК (цивільний варіант судна)

Висновки до другого розділу

1. Аналіз існуючого стану флотів України (військово-морського й цивільного), аналіз складу та стратегічних напрямків розвитку флотів провідних морських держав, загальносвітові тенденції застосування багатоцільових і універсальних суден показав необхідність синтезу конструкції і створення багатоцільового судна льодового класу, здатного забезпечувати комплексне рішення різноманітних і актуальних завдань флотів України. Можна стверджувати, що реалізація проекту БСДФ в Україні цілком може стати реальністю, у тому числі й на основі конверсії або реновації, оскільки є необхідний науково-технічний потенціал і виробничі потужності (Одеса, Миколаїв, Херсон, Чорноморськ, Харків, Київ).

2. На підґрунті визначених необхідних техніко-експлуатаційних і тактико-технічних характеристик запропоновано концептуальний проект судна. Представлена методика проектування БСДФ льодового класу й наведені всі її основні етапи. З використанням оптимізації головних компонент розраховані основні розмірення судна, синтезовані креслення корпусу, палуб, приміщень й інших конструктивних елементів БСДФ. Синтезовані характеристики плавучості й початкової остійності судна, попередньо обрано СЕУ, оцінені характеристики хідкості та проведено порівняння з відомими суднами-аналогами.

3. З метою уточнення очікуваних тактико-технічних характеристик судна, подальші дослідження та верифікація, як запропонованій методиці синтезу, так і всієї концепції побудови БСДФ льодового класу, необхідно проводити у комплексі з математичним моделюванням, здійснити системне оцінювання необхідних для детального проектування побудови, технічної експлуатації, обслуговування, ремонту судна, ресурсів.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ОСНОВНИХ СИНТЕЗОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОЦІЛЬОВОГО СУДНА

3.1 Тактико-технічні вимоги до багатоцільового судна допоміжного флоту льодового класу

БСДФ льодового класу є складною інженерно-технічною системою [25, 85 і до нього ставлять досить суперечливі вимоги:

- судно має триматися на поверхні води, як в штатному, так і в пошкодженому стані при певному просіданні з усіма вантажами, що знаходяться на ньому, але незважаючи на це, під дією зовнішніх сил зберігати стійку рівновагу, як у прямому, так і в нахиленому стані (*ISC-2008*);
- триматися на воді під час затоплення через пробоїну частини об'єму корпусу (*SOLAS 74*);
- мати плавну й повільну хитавицю, мати гарну поворотність під час дії стернового органу, переміщуватися на поверхні води в будь-якому напрямку із заданою швидкістю в умовах спокійної води і хвилювання, зберігати максимально можливу прямолінійність руху, забезпечувати найменше відхилення від курсу під час незмінного стану стерна.

Низка спеціальних морехідних якостей БСДФ забезпечує безпечне плавання у складних експлуатаційних умовах. Цим вимогам повинні відповідати такі виділені, з безлічі якостей, спеціальні якості БСДФ ЛК: плавучість, остійність, непотоплюваність, плавність хитавиці, хідкість, поворотність, стійкість на курсі. Зазначимо, що частина морехідних якостей стосується лише плавучості судна, а частина – особливостей його пересування по воді:

- плавучість, остійність, непотоплюваність і плавність хитавиці дозволяють судну триматися на поверхні води незалежно від процесу його пересування, забезпечувати позиціонування під час виконання спецзадач;
- хідкість, керованість і стійкість на курсі зумовлюються самим процесом переміщення.

Вкрай важливим для БСДФ ЛК класу є оцінювання впливу обмеженості глибини фарватеру на такі спеціальні морехідні якості БСДФ, як хідкість і

остійність. Саме хідкість і остійність загалом визначають можливості БСДФ виконувати свої функціональні, у тому числі й спеціальні, завдання.

Для практичної експлуатації БСДФ ЛК вкрай важливою є оцінка льодопрохідності судна, тобто здатності безпечно просуватися в різних льодових умовах. Під час проектування слід врахувати, що під час сертифікації судна буде необхідний відповідний льодовий паспорт. Тому слід врахувати, що для льодового паспорта БСДФ необхідно мати низку експлуатаційних і розрахункових параметрів і характеристик: тип і льодовий клас; головні елементи; коефіцієнти й кути обводів корпусу; характеристики набору й обшивки, включно з технологією набору корпусу, матеріалом і будівельною міцністю набору й обшивки, характером розподілу навантажень на останні по довжині корпусу; відомості про пропульсивні комплекси, включно з періодами пуску, зупинки й реверсу СЕУ; характеристики додаткових систем, обладнання та засобів, що призначені для захисту пропульсивного комплексу від льоду.

Наприклад, для використання БСДФ ЛК протягом року у неарктичних морях (північна частина Чорного й Азовського морів вище 44° північної широти) класифікаційним товариством – Регістром судноплавства України (РСУ) судну присвоюється льодовий клас. Льодовий клас встановлюється на підґрунті певної процедури дослідної експлуатації. Така процедура присвоєння здійснюється натурними випробуваннями за спеціальною програмою у експериментальних рейсах. Метою льодових випробувань є оцінювання правильності проектування, конструювання та виготовлення судна з льодопрохідності, включно з хідкістю, міцністю і маневреністю, уточненням всіх ТТХ.

Зрозуміло, що більшість перерахованих вище параметрів і характеристик судна, загалом, є розрахунково-проектного типу. Однак для нового проєктованого БСДФ льодового класу відсутні апробовані методики випробувань, які враховують конструктивні особливості, призначення, і специфічні умови експлуатації. Тому необхідна розробка, як мінімум, однієї методики проведення льодових випробувань БСДФ. До завдання дослідження входить розробка такої оцінки льодопрохідності БСДФ – методика запропонована й розроблена здобувачем (§ 3.6). До її основи покладена гіпотеза про існування

такого режиму руху БСДФ ЛК класу, під час якого здійснення роботи з подолання льодового опору не призводить до деформації конструкції судна й різким ударами криги по корпусу [5, 13, 16, 17, 28, 29, 46]. Таким чином, вкрай необхідне проведення ретельного аналізу [46, 47, 52, 68, 69, 76, 78, 81, 87, 88] всіх передбачуваних морехідних якостей і льодових властивостей створюваного БСДФ ЛК, що проведено у наступних параграфах 3-го розділу дисертації.

3.2 Оцінка сумарної ваги постачання, запасів палива та мастил, дедвейту й місткості

Оціночний розрахунок ваги постачання виконаний на основі очевидного виразу: $\sum P_{сн} = P_{э} + P_{эв} + P_{np} + \sum P_{в} + P_{pm} = 5,9 + 2,4 + 3,4 + 250 + 10 = 272$ т, де складові виразу визначені наступним чином.

Вага екіпажу й персоналу з багажем: $P_{э} = n_{э} \cdot q_{э} = 45 \cdot 0,13 = 5,9$ т, де $n_{э} = 45$ осіб – кількість членів екіпажу та персоналу; $q_{э} = 0,13$ т – середня вага одного члена екіпажу з багажем.

Вага евакуйованих: $P_{эв} = n_{э} \cdot q_{э} = 24 \cdot 0,10 = 2,4$ т, де $n_{э} = 24$ осіб – кількість евакуйованих; $q_{э} = 0,10$ т – середня вага одного евакуйованого.

Вага провізії на рейс: $P_{np} = n_{э} \cdot q_{np} \cdot t_{np} = 69 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 14 = 3,4$ т, де $n_{э} = 69$ осіб – кількість членів екіпажу, персоналу та евакуйованих; $q_{np} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ т/добу – запас провізії на одного члена екіпажу, включно з тарою і недоторканим запасом; $t_{np} = 14$ діб – тривалість рейсу.

Вага прісної води: $P_{в} = n_{э} \cdot q_{в} \cdot t_{np} = 69 \cdot 0,15 \cdot 14 = 145$ т, де $n_{э} = 69$ осіб – кількість членів екіпажу, персоналу та евакуйованих; $q_{np} = 0,15$ т/добу – питома витрата питної води й води для миття на одного члена екіпажу. Сумарна вага води $\sum P_{в} = 250$ т. Вага витратних рідких засобів і матеріалів визначена за даними розглянутого судна-прототипу: $P_{pm} = 10$ т.

Оцінка запасів палива й мастил виконана на основі виразу:

$$P_{п} = \left((1 + \xi) \cdot q_{п} \cdot \frac{N_{е} \cdot R}{v_{э} \cdot 10^3} \right) + P_{в} = \left((1 + 0,25) \cdot 0,176 \cdot \frac{6000 \cdot 3000}{18,0 \cdot 10^3} \right) + 20 = 240 \text{ т,}$$

де $\xi = 0,25$ – коефіцієнт обліку витрати палива на стоянці; $q_{п} = 0,176$ кг/кВт·ч – питома витрата палива і мастила; $\sum N_{е} = 6000$ кВт – сумарна потужність

СЕУ; $R = 3000$ миль – розрахункова дальність плавання; $v_e = 18,0$ вузл – експлуатаційна швидкість судна; $P_g = 20$ т – вага води для котла й охолоджувального контуру СЕУ.

На основі синтезованих креслень (див. розділ 2) визначені дедвейт і місткість приміщень корпусного простору. Дедвейт судна: $DW = \Delta - D_{пор} = 2935 - 1640 = 1295$ т, де $\Delta = 2935$ т – оціночна вагова водотоннажність судна; $D_{пор} = 1640$ т – водотоннажність судна порожнем. У табл. 3.1 приведена оцінка місткості багатоцільового судна.

Таблица 3.1. Місткість судна

П/п	Найменування приміщення	Теоретична місткість, $W_i, \text{м}^3$
1	2	3
1	Форпик	160
2	Танк питної води ЛБ	120
3	Танк води для миття ПБ	130
4	Надстройка баку	2990
5	Приміщення ДГ і ВМ	1380
6	Баластні танки подвійного дна у приміщенні ДГ і ВМ	280
7	Баластні танки подвійного борта № 1 ЛБ у приміщенні ДГ і ВМ	210
8	Баластні танки подвійного борта № 2 ПБ у приміщенні ДГ і ВМ	210
9	Паливний диптанк	230
10	Накопичувальна цистерна	50
11	Приміщення водолазного спорядження, водовідливних і пожежних засобів	690
12	Баластний танк подвійного дна № 1 ЛБ	75
13	Баластний танк подвійного дна № 2 ПБ	75
14	Баластний танк подвійного борта № 3 ЛБ	105
15	Баластний танк подвійного борта № 4 ПБ	105
16	Вантажний трюм	390
17	Баластний танк подвійного дна № 3 ЛБ	30
18	Баластний танк подвійного дна № 4 ПБ	30
19	Додатковий паливний танк ЛБ	200
20	Додатковий паливний танк ЛБ	200
21	Баластний танк подвійного дна № 5 ЛБ	35
22	Баластний танк подвійного дна № 6 ПБ	35
23	Приміщення поворотних колонок	220
24	Сумарна місткість	7950

3.3 Оцінка потужності суднової енергетичної установки створюваного багатоцільового судна

Оцінимо буксирувальний опір і потужність альтернативними методами (Холтропа і Будницького) і зведемо результати у таблиці 3.2 – 3.5.

Наступні вихідні дані для оцінок визначені з синтезованих креслень і варіативних характеристик судна.

1. Довжина судна по конструктивній ватерлінії, $L_{квл} = 70,50$ м.
2. Довжина судна між перпендикулярами, $L = 67,70$ м.
3. Об'ємна водотоннажність, $W = 2863$ м³.
4. Вагова водотоннажність, $\Delta = 2935$ т.
5. Осадка судна носом, $d_n = 3,50$ м.
6. Середня осадка судна (на міделі), $d_m = 3,50$ м.
7. Осадка судна кормою, $d_k = 3,50$ м.
8. Коефіцієнт загальної повноти, $\delta = 0,664$.
9. Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута, $\beta = 0,903$.
10. Коефіцієнт повноти конструктивної ватерлінії, $\alpha = 0,858$.
11. Площа змоченої поверхні судна, $S = 1240$ м².
12. Площа виступаючих частин, $F_g = 5$ м².
13. Інтервал швидкостей судна, $V = 2...20$ вузл.

Таблиця 3.2. Оцінка буксирувального опору (Метод Холтропа)

П/п	Швидкість судна, V , вузл.	Сумарний буксирувальний опір, R , кН	Опір тертя, R_f , кН	Хвильовий опір, R_w , кН	Опір форми, R_{add} , кН
1	2,00	4,76	2,11	0,00	2,65
2	4,00	17,39	7,64	0,00	9,75
3	6,00	37,18	16,24	0,01	20,94
4	8,00	64,11	27,75	0,31	36,05
5	10,00	100,69	42,09	3,64	54,79
6	12,00	156,52	59,16	19,73	77,64
7	14,00	245,78	78,91	62,89	103,97
8	16,00	428,73	101,30	193,50	133,93
9	18,00	603,29	126,28	309,53	167,48
10	20,00	826,88	153,82	468,50	204,56

**Таблиця 3.3. Оцінка буксирувального опору і потужності
(Метод Холтропа)**

Коефіцієнт надбавки на облік експлуатаційних факторів ($k = 1,20$)				
П/п	Швидкість судна, V , вузл	Сумарний буксирувальний опір, R , кН	Виправлений буксирувальний опір $R'_\theta = R \cdot k$, кН	Буксирувальна потужність, $N_\theta = 0,514 \cdot V \cdot R'_\theta$, кВт
1	2,00	4,76	5,71	5,88
2	4,00	17,39	20,87	42,91
3	6,00	37,18	44,62	137,60
4	8,00	64,11	76,93	316,30
5	10,00	100,69	120,83	621,00
6	12,00	156,52	187,82	1158,47
7	14,00	245,78	294,90	2122,10
8	16,00	428,73	514,48	4231,08
9	18,00	603,29	723,94	6697,89
10	20,00	826,88	992,26	10200,43

Під час оцінювання методом Будницького варіювалися коефіцієнти k_δ – залежності повноти водотоннажності і k_l – залежності відносної довжини.

Оцінимо льодовий опір судна у крупнобитій кризі:

$$R_{\text{л}} = (C_{\text{к}} + g \cdot v_{\text{л}}^{1,3}) \cdot h^{1,2} = (55 + 9,81 \cdot 4,12^{1,3}) \cdot 0,5^{1,2} = 51 \text{ кН},$$

де $C_{\text{к}} = 55$ – коефіцієнт крупності льоду; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; $v_{\text{л}} = 4,12 \text{ м/с}$ – швидкість руху в кризі; $h = 0,5 \text{ м}$ – товщина суцільного льоду.

Таблиця 3.4. Оцінка буксирувальної потужності (метод Будницького)

П/п	Швидкість судна, V , вузл.	Число Фруда, Fr	Потужність (базовий варіант) N_0 , кВт	Відносна довжина судна, $0,8l \cdot Fr$	k_δ	k_l	Буксирувальна потужність, N_θ , кВт	Показник ступеня, n
1	2,00	0,040	46	0,039	0,999	0,877	40	0,501
2	4,00	0,080	69	0,078	1,020	0,877	61	1,016
3	6,00	0,120	105	0,116	1,061	0,877	98	1,616
4	8,00	0,160	165	0,155	1,124	0,899	167	2,442
5	10,00	0,199	266	0,194	1,184	0,944	297	3,135
6	12,00	0,239	441	0,233	1,204	1,008	535	2,791
7	14,00	0,279	700	0,272	1,236	1,086	939	4,885
8	16,00	0,319	1111	0,310	1,411	1,128	1768	4,715
9	18,00	0,359	1792	0,349	1,520	1,128	3071	4,661
10	20,00	0,399	2870	0,388	1,560	1,128	5049	4,480

**Таблиця 3.5. Оцінка буксирувальної потужності й опору
(метод Будницького)**

Коефіцієнт надбавки на облік експлуатаційних факторів, $k = 1,20$				
П/п	Швидкість судна, V , вузл.	Буксирувальна потужність, N_{δ} , кВт	Виправлена буксирувальна потужність, $N'_{\delta} = N_{\delta} \cdot k$, кВт	Буксирувальний опір, $R_{\delta} = \frac{N'_{\delta}}{0,514 \cdot V_s}$, кН
1	2,00	23	27,4	26,7
2	4,00	61	73,2	35,6
3	6,00	98	117,6	38,1
4	8,00	167	200,4	48,7
5	10,00	297	356,4	69,3
6	12,00	535	642,0	104,1
7	14,00	939	1126,8	156,6
8	16,00	1768	2121,6	257,9
9	18,00	3071	3685,2	398,3
10	20,00	5049	6058,8	589,4

Оцінимо льодовий опір судна у суцільній кризі:

$$R'_{\text{л}} = 5,79 \cdot \left(1 + 0,4 \cdot \left(\left(\frac{L}{B} \right)^{1,5} - 1 \right) \cdot h^{1,33} \cdot B \right) = 5,79 \cdot \left(1 + 0,4 \cdot \left(\left(\frac{67,70}{18,20} \right)^{1,5} - 1 \right) \cdot 0,5^{1,33} \cdot 18,20 \right) = 109 \text{ кН},$$

де $L = 67,70$ м – довжина судна між перпендикулярами; $B = 18,20$ м – ширина судна на міделі.

Для оцінки виконання БСДФ функцій криголама у якості розрахункового режиму плавання оцінимо можливість його роботи у суцільних (крупнобитих) льодах товщиною до $h = 0,5$ м і швидкістю 8,0 вузл.

Оцінимо сумарний буксирувальний опір при швидкості руху судна 8,0 вузлів альтернативними методами.

За методом Холтропа:

$$\Sigma R = R_{\text{л}} + R'_{\delta}{}^* = 51 + 76,93 = 127,93 \text{ кН}; \quad \Sigma R_1 = R'_{\text{л}} + R'_{\delta}{}^* = 109 + 76,93 = 185,93 \text{ кН}.$$

За методом Будницького:

$$\Sigma R_2 = R_{\text{л}} + R_{\delta}{}^* = 51 + 48,7 = 99,7 \text{ кН}; \quad \Sigma R_3 = R'_{\text{л}} + R_{\delta}{}^* = 109 + 48,7 = 157,7 \text{ кН}.$$

Оціночна потужність однієї поворотної колонки за ККД гребного гвинта колонки $\eta = 0,70$, числі колонок $z = 2$, ККД передачі $\eta = 0,94$ (при можли-

вості встановлення на судно двох поворотних колонок "Azipod" сумарною потужністю $N_e = 2 \times 2300 = 4600$ кВт):

$$N_k = \frac{\Sigma R \cdot V_s}{0,514 \cdot z \cdot \eta \cdot \eta_n} = \frac{127,93 \cdot 8,00}{0,514 \cdot 2 \cdot 0,70 \cdot 0,94} = 1513 \text{ кВт};$$

$$N_{k1} = \frac{\Sigma R \cdot V_s}{0,514 \cdot z \cdot \eta \cdot \eta_n} = \frac{185,93 \cdot 8,00}{0,514 \cdot 2 \cdot 0,70 \cdot 0,94} = 2199 \text{ кВт (максимальне значення);}$$

$$N_{k2} = \frac{\Sigma R \cdot V_s}{0,514 \cdot z \cdot \eta \cdot \eta_n} = \frac{99,7 \cdot 8,00}{0,514 \cdot 2 \cdot 0,70 \cdot 0,94} = 1179 \text{ кВт};$$

$$N_{k3} = \frac{\Sigma R \cdot V_s}{0,514 \cdot z \cdot \eta \cdot \eta_n} = \frac{157,7 \cdot 8,00}{0,514 \cdot 2 \cdot 0,70 \cdot 0,90} = 1865 \text{ кВт.}$$

Умова $N_e = 2300$ кВт $> N_{k1} = 2199$ кВт виконується, отже поворотні колонки забезпечать рух судна зі швидкістю 8,0 вузлів у суцільних льодах товщиною до 0,5 м.

3.4 Оцінка остійності багатоцільового судна допоміжного флоту льодового класу

Остійність БСДФ ЛК – одна з основних характеристик його морехідних якостей, що визначає здатність судна протистояти зовнішнім силам, що викликають його крен або диферент, здатність судна повертатися у стані рівноваги після закінчення зовнішнього збурюючого впливу. Стосовно до БСДФ використовуємо уточнюючі характеристики остійності судна, де запасом остійності визначаємо ступінь захищеності судна від перевертання. Вважаємо, що зовнішній збурюючий вплив, може бути зумовлений ударом хвилі, поривом вітру, зміною курсу і т. д.

Гідростатичні таблиці, масштаб Бонжана й інтерполяційні криві остійності форми, плечі остійності форми (пантокарени) для проектного БСДФ розраховані за допомогою авторських програм, створених на основі договору між НУ "ОМА" і ОНМУ від 12.11.2014.

Оцінювання остійності здійснено для восьми рекомендованих типових варіантів (режимів роботи) з баластом:

- 1) навантаження судна порожнем з 10% запасів;

- 2) навантаження судна порожнем з 100% запасів;
- 3) навантаження судна під час перевезення додаткового палива без вантажу в трюмі з 10% запасів;
- 4) навантаження судна під час перевезення додаткового палива без вантажу в трюмі з 100% запасів;
- 5) навантаження судна під час перевезення додаткового палива з вантажем в трюмі з 10% запасів;
- 6) навантаження судна під час перевезення додаткового палива з вантажем в трюмі з 100% запасів;
- 7) навантаження судна під час перевезення вантажу в трюмі без додаткового палива з 10% запасів;
- 8) навантаження судна під час перевезення вантажу в трюмі без додаткового палива зі 100% запасів.

Для зазначених варіантів навантаження в таблицях 3.6 – 3.13 наведені результати оцінок:

- а) координат центра ваги судна;
- б) характеристик посадки;
- в) початкової остійності.

Для відібраних типових варіантів навантаження БСДФ виконане оцінювання плечей статичної та динамічної остійності (див. таблиці 3.14 – 3.17).

Таблиця 3.14. Навантаження БСДФ порожнем зі 10 % запасів

Вагова водотоннажність, Δ , т						1465
Апліката центру важкості судна, Z_g , м						5,540
Апліката умовного центру мас, Z_m , м						0,000
Виправлення аплікати центру ваги судна, $Z_g' = Z_g - Z_m$, м						5,540
$\delta\theta = 0,174$						
Кут крену, θ°	Плеche форми, l_ϕ , м	$\sin\theta$, рад.	$Z_g' \cdot \sin\theta$	Плеche статичної остійності $l = l_\phi - Z_g' \cdot \sin\theta$, м	Інтегральна сума $\sigma(l)$	Плеche динамічної остійності $d = \frac{\delta\theta}{2} \cdot \sigma(l)$, м
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	2,181	0,174	0,964	1,217	1,217	0,106
20	3,764	0,342	1,895	1,869	4,303	0,374
30	4,652	0,500	2,770	1,920	8,093	0,704
40	5,225	0,643	3,562	1,663	11,676	1,016
50	5,463	0,766	4,244	1,219	14,558	1,267
60	5,586	0,866	4,798	0,788	16,565	1,441
70	5,474	0,940	5,208	0,266	17,620	1,533
80	5,200	0,985	5,457	-0,257	17,630	1,534
90	4,742	1,000	5,540	-0,798	16,575	1,442

Таблиця 3.15. Навантаження БСДФ порожнем зі 100 % запасів

Вагова водотоннажність, Δ , т						1924
Апліката центру важкості судна, Z_g , м						5,580
Апліката умовного центру мас, Z_m , м						0,000
Виправлення аплікати центру ваги судна, $Z_g' = Z_g - Z_m$, м						5,580
$\delta\theta = 0,174$						
Кут крену, θ°	Плеche форми, l_ϕ , м	$\sin\theta$, рад.	$Z_g' \cdot \sin\theta$	Плеche статичної остійності $l = l_\phi - Z_g' \cdot \sin\theta$, м	Інтегральна сума $\sigma(l)$	Плеche динамічної остійності $d = \frac{\delta\theta}{2} \cdot \sigma(l)$, м
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	1,813	0,174	0,971	0,842	0,842	0,073
20	3,367	0,342	1,908	1,459	3,143	0,273
30	4,368	0,500	2,790	1,578	6,179	0,538
40	5,037	0,643	3,588	1,500	9,257	0,805
50	5,515	0,766	4,274	1,241	11,998	1,044
60	5,586	0,866	4,832	0,754	13,993	1,217
70	5,475	0,940	5,245	0,230	14,976	1,303
80	5,201	0,985	5,496	-0,295	14,911	1,297
90	4,722	1,000	5,580	-0,858	13,757	1,197

**Таблиця 3.16. Навантаження БСДФ під час перевезення
гомогенного вантажу у трюмі зі 10% запасів, спецобладнання
розташоване по-похідному**

Вагова водотоннажність, Δ , т						2645
Апліката центру важкості судна, Z_g , м						5,520
Апліката умовного центру мас, Z_m , м						0,000
Виправлення аплікати центру ваги судна, $Z_g' = Z_g - Z_m$, м						5,520
$\delta\theta = 0,174$						
Кут крену, θ°	Плече форми, l_ϕ , м	$\sin\theta$, рад	$Z_g' \cdot \sin\theta$	Плече статичної остійності $l = l_\phi - Z_g' \cdot \sin\theta$, м	Інтегральна сума $\sigma(l)$	Плече динамічної остійності $d = \frac{\delta\theta}{2} \cdot \sigma(l)$, м
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	1,610	0,174	0,960	0,650	0,650	0,057
20	2,935	0,342	1,888	1,100	2,399	0,209
30	4,221	0,500	2,760	1,461	4,960	0,432
40	4,867	0,643	3,549	1,400	7,821	0,680
50	5,301	0,766	4,228	1,073	10,294	0,896
60	5,477	0,866	4,780	0,697	12,063	1,049
70	5,419	0,940	5,189	0,230	12,990	1,130
80	5,145	0,985	5,437	-0,292	12,928	1,125
90	4,688	1,000	5,520	-0,832	11,804	1,027

**Таблиця 3.17. Навантаження БСДФ під час перевезення
гомогенного вантажу в трюмі зі 100 % запасів, спецобладнання ро-
зташоване по-похідному**

Вагова водотоннажність, Δ , т						3204
Апліката центру важкості судна, Z_g , м						5,510
Апліката умовного центру мас, Z_m , м						0,000
Виправлення аплікати центру важкості судна, $Z_g' = Z_g - Z_m$, м						5,510
$\delta\theta = 0,174$						
Кут крену, θ°	Плече форми, l_ϕ , м	$\sin\theta$, рад.	$Z_g' \cdot \sin\theta$	Плече статичної остійності $l = l_\phi - Z_g' \cdot \sin\theta$, м	Інтегральна сума $\sigma(l)$	Плече динамічної остійності $d = \frac{\delta\theta}{2} \cdot \sigma(l)$, м
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	1,425	0,174	0,959	0,466	0,466	0,041
20	2,711	0,342	1,884	0,827	1,759	0,153
30	3,885	0,500	2,755	1,130	3,716	0,323
40	4,664	0,643	3,543	1,121	5,967	0,519
50	5,126	0,766	4,221	0,905	7,993	0,695
60	5,338	0,866	4,772	0,566	9,465	0,823
70	5,312	0,940	5,179	0,133	10,164	0,884
80	5,072	0,985	5,427	-0,355	9,941	0,865
90	4,658	1,000	5,510	-0,852	8,734	0,760

Для відібраних варіантів завантаження БСДФ у таблицях 3.18 і 3.19 приведено розрахункове оцінювання остійності судна за критерієм погоди, а також побудовані діаграми статичної остійності $l(\theta)$ (рис. 3.1, рис. 3.2, плече остійності l , м і кут нахилу θ , град) БСДФ.

Аналіз результатів проведений відповідно до Резолюції ІМО А.749 (18) "Кодекс вимог до остійності непошкодженого судна". З аналізу таблиць і малюнків (таб. 3.14–3.17, рис. 3.1, рис. 3.2) видно, що для синтезованої конструкції БСДФ остійність достатня для виконання всіх заздалегідь визначених функцій.

Таблиця 3.18. Оцінка остійності БСДФ за критерієм погоди

Варіант Наванта- ження судна	Δ , т	P_v , Па	A_v , м ²	Z_y , м	θ_0 , град	θ_r , град	$l_{w2} = \frac{P_v \cdot A_v \cdot z_y}{1000 \cdot \Delta \cdot g}$, м	$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1}$, м	a , м·рад	b , м· рад	$k = b/a \geq 1$
Порожнем зі 10 % за- пасів	1465	504	448	3,21	4,2	21,2	0,504	0,756	0,163	0,329	2,01
Порожнем зі 100 % запасів	1924	504	423	3,05	3,7	20,0	0,345	0,517	0,185	0,507	2,74
Гомоген- ний вантаж у трюмі зі 10 % запа- сів, спецоб- лад-нання розташо- ване по- похідному	2645	504	358	2,85	1,3	20,0	0,198	0,297	0,132	0,501	3,70
Гомогенний вантаж у трюмі зі 100 % запа- сів, спецоб- лад-нання розташо- ване по- похідному	3204	504	315	2,65	2,6	20,6	0,134	0,201	0,158	0,649	4,11

Таблиця 3.19. Характеристики діаграм статичної остійності БСДФ

Варіант навантаження судна	Δ , т	θ_m , град	θ_z , град	$S_{\theta=0^\circ-30^\circ}$, м·рад	$S_{\theta=30^\circ-40^\circ}$, м·рад	$S_{a\theta=40^\circ}$, м·рад	h_o , м	k
Порожнем зі 10 % запасів	1465	25°	76°	0,379	0,168	0,547	4,125	2,01
Порожнем зі 100 % запасів	1924	30°	76°	0,532	0,161	0,693	2,380	2,74
Під час перевезення гомогенного вантажу у трюмі зі 10 % запасів, спецобладнання розташоване по похідному	2645	33°	78°	0,477	0,153	0,630	1,287	3,70
Під час перевезення гомогенного вантажу у трюмі зі 100 % запасів, спецобладнання розташоване по похідному	3204	37°	72°	0,724	0,183	0,908	0,805	4,11
Допустимі мінімальні значення	—	25°	50°	> 0,055	> 0,03	> 0,09	> 0,15	> 1

Позначення, прийняті у таблицях 3.18 і 3.19 наступні: Δ – вагова водотоннажність, т; p_v – тиск вітру, Па; A_v – площа вітрильності, м²; Z_y – плече вітрильності, м; θ_0 – статичний кут крену від дії вітру, град; θ_r – сумарний кут крену від дії хвилювання і вітру, град; l_{w1} – плече крену, м; l_{w2} – плече крену, м; a – площа моменту крену, м·рад; ϵ – площа моменту перевертання, м·рад; θ_m – максимальний кут діаграми статичної остійності до кута крену, град; θ_z – кут заходу діаграми статичної остійності, град; $S_{\theta=30^\circ}$ – площа під позитивною частиною діаграми статичної остійності до кута крену 30°, м·рад; $S_{\theta=30^\circ-40^\circ}$ – площа під позитивною частиною діаграми статичної остійності між кутами крену 30° – 40°, м·рад; $S_{a\theta=40^\circ}$ – площа під позитивною частиною діаг-

рами статичної остійності з кутом крену 40° , м·рад; h_o – поперечна метацентрична висота, м; k – критерій погоди.

Критерій погоди для всіх варіантів навантажень судна встановлено відповідно до вимог Правил судноплавства і "Кодексу вимог до остійності непошкодженого судна", під час використання діаграм статичної остійності для визначення моменту перевертання, більше 1,0.

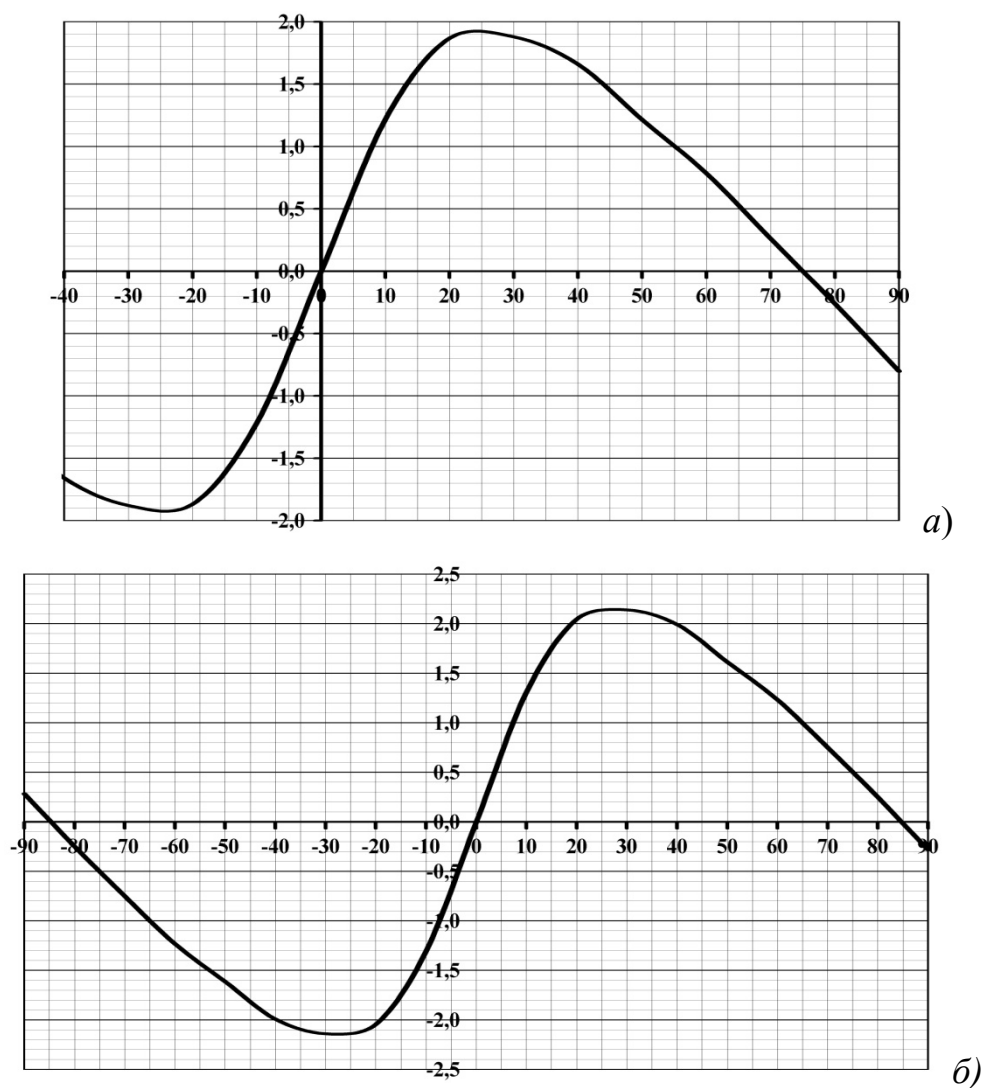


Рис. 3.1. Діаграми статичної остійності $l(\theta)$ під час різних навантажень БСДФ: а) порожнем, зі 100 % запасів; б) під час перевезення гомогенного вантажу, зі 100 % запасів

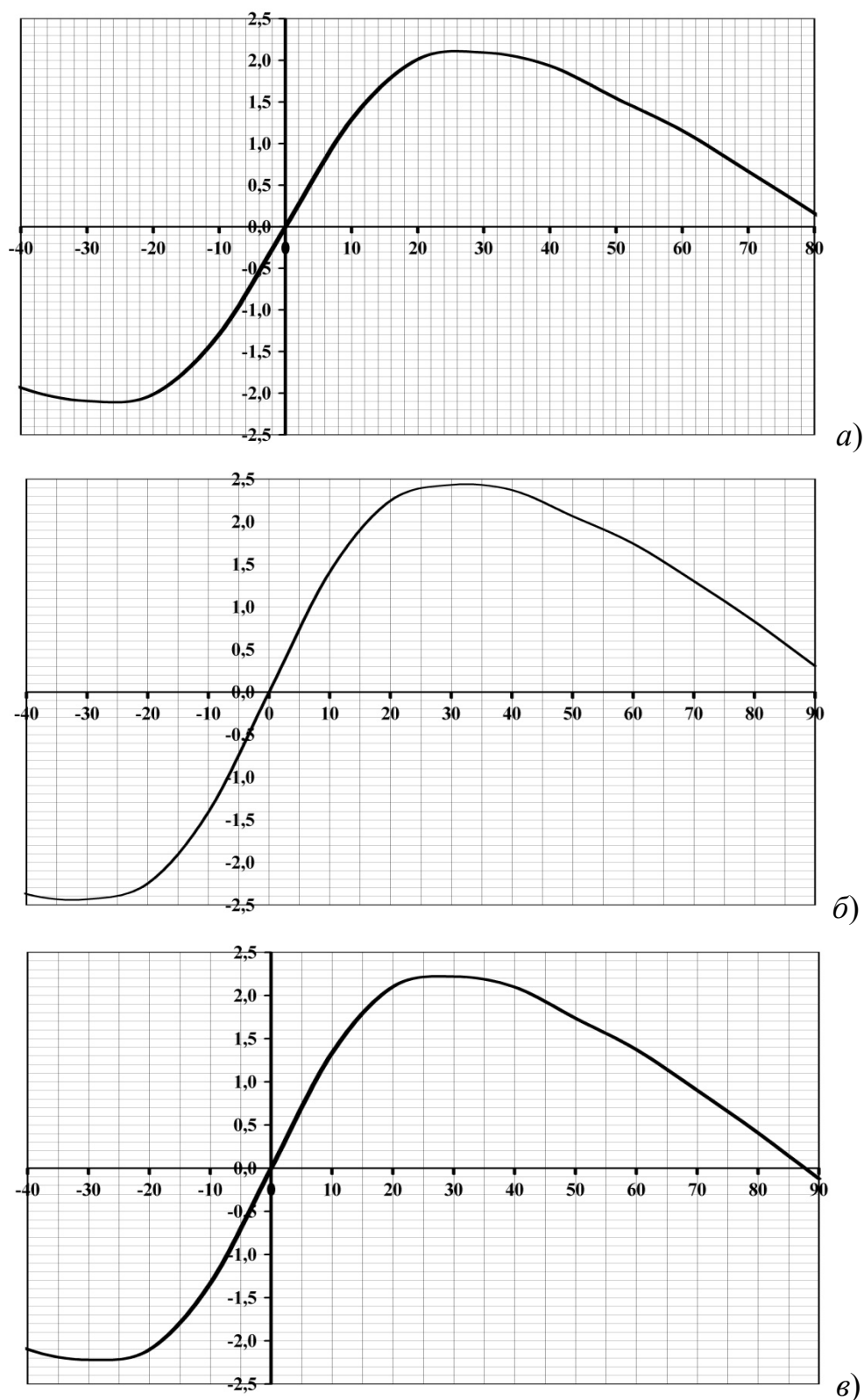


Рис. 3.2. Діаграми статичної остійності $l(\theta)$ під час різних навантажень БСДФ: а) під час перевезення гомогенного вантажу, з 10 % запасів; б) під час перевезення контейнерів, з 10 % запасів; в) під час перевезення контейнерів, зі 100 % запасів

3.5 Оцінка впливу глибини фарватеру на морехідні якості багатопільового судна

Під час руху й маневруванні БСДФ по акваторії обмеженої глибини характер обтікання його корпусу помітно змінюється. За цих умов змінюється картина хвиль, створюваних судном, кут фронту хвиль, які розходяться, зростає і під час швидкості, названою критичною швидкістю, попереду судна утворюється одиночна хвиля. Під час швидкості судна, яка перевищує критичну, утворюються тільки хвилі, що розходяться [68, 69, 76, 78, 81, 87, 88]. Все це призводить до зростання опору води до руху судна, і як наслідок, впливає на таку морехідну якість судна як його хідкість.

Критичну швидкість БСДФ визначимо за формулою:

$$v_k = \frac{\sqrt{g \cdot H}}{0,514}, \text{ вузл}, \quad (3.1)$$

де, g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; H – глибина акваторії, м .

Під час руху й маневрування БСДФ рівень води поблизу його корпусу знижується, швидкість обтікання збільшується, що призводить до просадки корми судна, і щоб уникнути торкання дна фарватеру, доводиться знижувати швидкість руху. Інтенсивне хвилювання і збільшення швидкостей руйнівно діють на ложе фарватеру, тому швидкість руху суден на підхідних фарватерах (каналах) необхідно обмежувати.

Просідання корми БСДФ під час руху на мілководді слід визначати за діаграмою Ю. Л. Воробйова (рис. 3.3).

Запас глибини фарватеру:

$$\Delta H = H - T, \text{ м}. \quad (3.2)$$

де, H – глибина фарватеру, м ; T – осадка судна без ходу, м ;

Число Фруда за довжиною судна:

$$\text{Fr} = \frac{0,514 \cdot v}{\sqrt{g \cdot L}}, \quad (3.3)$$

де, v – швидкість судна, вузл; L – довжина судна між перпендикулярами, м .

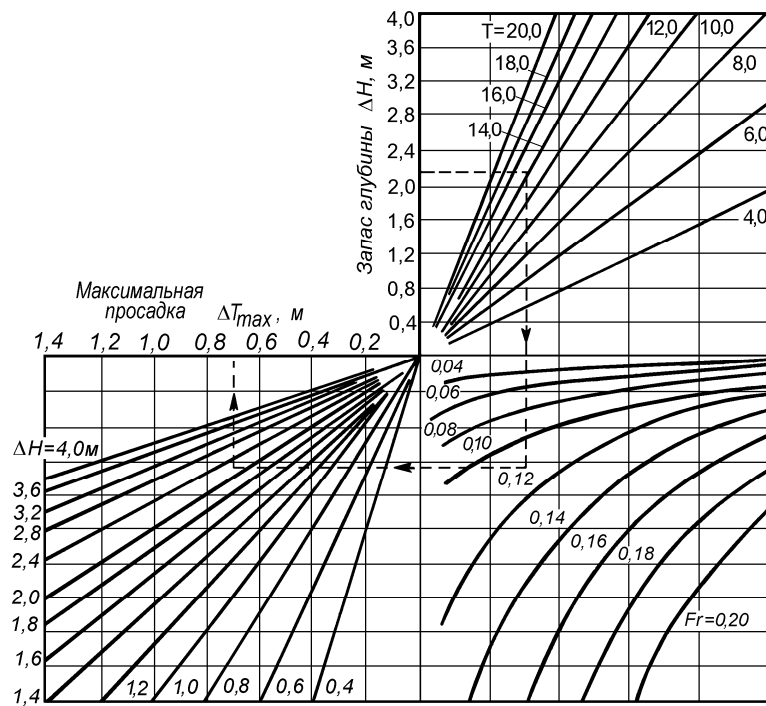


Рис. 3.3. Діаграма Ю. Л. Воробйова для визначення найбільшої просадки корми на мілководді

Якщо БСДФ маневрує на фарватері обмеженої глибини з перекладкою стерна на заданий кут, то на нього діють такі сили (див. рис. 3.4):

- сила на відхиленому кермі P_p , яку можна представити складовими P_{py} і P_{px} ;
- відцентрова (центробіжна) сила P_{ω} зі складовими $P_{\omega y}$ і $P_{\omega x}$;
- сила, що діє на занурену частину корпусу R зі складовими R_y і R_x .

Точка прикладання сили в початковій стадії маневрування прикладена в носовій частині БСДФ, але у міру зростання кута дрейфу і внаслідок нерівномірності розподілу кута дрейфу за довжиною судна в полюсі повороту (ПП), зміщується в корму за центр тяжіння (ЦТ) судна.

Крім того, під час маневрування з'являється додаткова бічна сила на гребному гвинті, що утворюється внаслідок його роботи в косому потоці через обертання судна, а також через закручування струменя, що відкидається гвинтом.

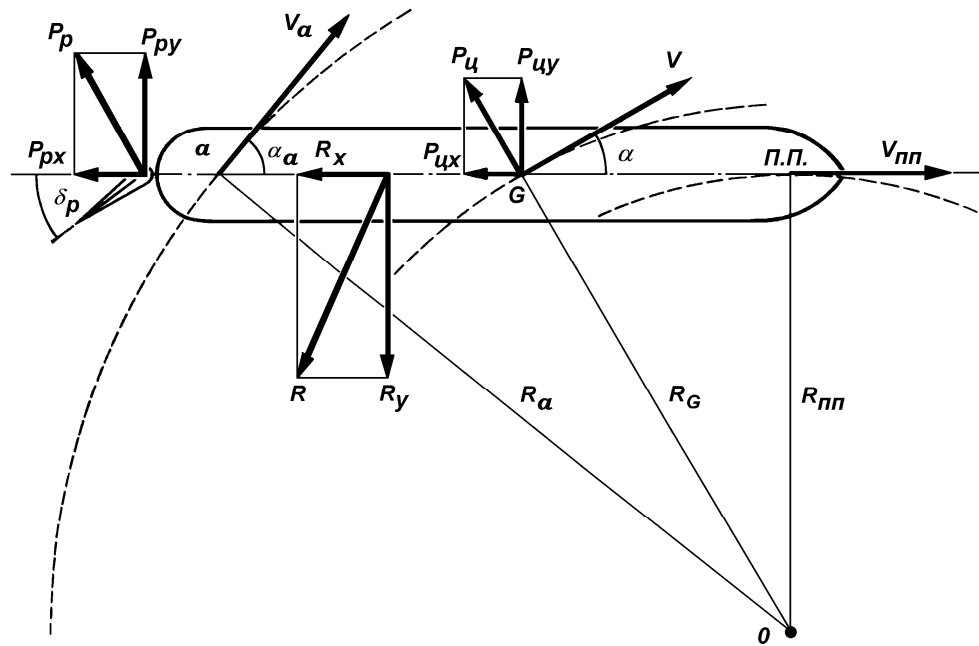


Рис. 3.4. Сили, що діють на БСДФ під час маневрування на передньому ході

Ці чинники здатні призвести до накренення БСДФ під час маневрування. Кут крену під час маневрування визначається формулою:

$$\theta = \frac{0,053 \cdot v^2}{L \cdot h} \cdot \left(z_g - \frac{T}{2} \right), \text{ рад.} \quad (3.4)$$

де L – довжина судна між перпендикулярами, м; h – поперечна метацентрична висота, м; z_g – апліката центру ваги судна, м; T – осадка, м.

Накренення судна і просадка його корми під час руху і маневрування на фарватері обмеженої глибини може призвести до торкання корпусу судна до дна фарватеру, що безпосередньо вплине на другу морехідну якість судна – остійність. Оцінимо критичну швидкість, просадки корми одного з проектних варіантів БСДФ і крену під час його маневрування на фарватері обмеженої глибини.

Вважаємо, що судно обладнане гвинто-кермовими поворотними колонками такої потужності, що здатне рухатися з максимальною швидкістю 20,0 вузлів і судну необхідно маневрувати на фарватері глибиною $H = 6,0$ м.

Визначаємо технічні характеристики: довжина між перпендикулярами $L = 67,70$ м, ширина борта на міделі $B = 18,20$ м, осадка $T = 4,00$ м, вагова во-

дотоннажність $\Delta = 3490$ т, апліката центру ваги $z_g = 6,02$ м, поперечна метacentрична висота $h = 4,60$ м.

Тоді критична швидкість для БСДФ складе:

$$v_k = \frac{\sqrt{g \cdot H}}{0,514} = \frac{\sqrt{9,81 \cdot 6,00}}{0,514} = 14,93 \text{ вузл.}$$

Просадка корми під час руху судна зі швидкістю $v_s = 10$ вузлів, за діаграмою Ю. Л. Воробйова складе $\Delta T_{max} = 0,85$ м, а кут нахилу під час маневрування буде:

$$\theta = \frac{0,053 \cdot v^2}{L \cdot h} \cdot \left(z_g - \frac{T}{2} \right) = \frac{3,037 \cdot 10,00^2}{67,70 \cdot 4,60} \cdot \left(6,02 - \frac{4,00}{2} \right) = 3,9 \text{ град.}$$

Розрахунки за запропонованою методикою оцінювання показують, що БСДФ не зможе рухатися зі швидкістю $v_s = 20,0$ вузлів, оскільки ця швидкість перевищує критичну і це вплине на його хідкість. Два інших несприятливих фактора, що впливають на його остійність, не призведуть до зміни цієї морехідної якості, оскільки судно має запас глибини під кілем і не торкнеться під час маневрування дна акваторії.

Оскільки запропонована методика універсальна, апробована й досить проста, то може застосовуватися для різного типу та призначення суден. Наведемо приклад визначення критичної швидкості та просадки корми судна типу "балкер", крену під час його маневрування на фарватері обмеженої глибини.

Вважаємо, що судно обладнане таким гвинто-кермовим гідропротувальним комплексом, що зможе рухатися зі швидкістю $v_s = 17,30$ вузла. Судно маневрує на фарватері глибиною $H = 13,50$ м. Технічні характеристики судна: довжина між перпендикулярами $L = 192,40$ м, ширина борту на міделі $B = 32,00$ м, осадка $T = 13,00$ м, вагова водотоннажність $\Delta = 60950$ т, апліката центру ваги $z_g = 10,16$ м, поперечна метacentрична висота $h = 1,85$ м.

Оцінена критична швидкість:

$$v_k = \frac{\sqrt{g \cdot H}}{0,514} = \frac{\sqrt{9,81 \cdot 13,50}}{0,514} = 22,39 \text{ вузл.}$$

Оцінка просадки корми під час руху судна зі швидкістю $v_s = 12$ вузлів складає $\Delta T_{max} = 0,50$ м, а кут крену під час маневрування:

$$\theta = \frac{0,053 \cdot v^2}{L \cdot h} \cdot \left(z_g - \frac{T}{2} \right) = \frac{3,037 \cdot 12,00^2}{192,40 \cdot 1,85} \cdot \left(10,16 - \frac{13,00}{2} \right) = 4,5 \text{ град.}$$

Таким чином, можна стверджувати, що судно зможе рухатися зі швидкістю 17,30 вузлів, оскільки швидкість не перевищує критичну, що не вплине на його хідкість. Два інші несприятливі фактори, що впливають на остійність, призведуть до зміни цієї морехідної якості – судно має дуже малий запас глибини під кілем, торкається під час маневрування дна акваторії кормовою окінцівкою та вилицею.

3.6 Оцінка льодопрохідності багатопільового судна у неарктичних морях і методика її розрахунку

Під льодопрохідністю мають на увазі безпечно можливу швидкість, яку судно здатне розвивати в заданих льодових умовах за максимальної потужності енергетичної установки без пошкодження і заклинювання корпусу, гребних гвинтів і т. п. З іншого боку, під час руху судна в суцільній рівній кризі критерієм льодопрохідності може бути не безпечна швидкість, а гранична товщина льоду, яку воно здатне долати безперервним ходом з мінімально стійкою швидкістю до 2 вузл. У битій кризі критерієм льодопрохідності є безпечна швидкість, обмежена вимогами льодової міцності.

Під час здачі після будівництва або реновації судна в експлуатацію, складно оцінити його льодові якості, які заявлені у проектній документації на будівництво й виконавчої відомості з виготовлення корпусу. Приймальний акт судна містить: результати перевірок, приймань і випробувань обладнання та систем; номери проекту і споруди; призначення і наглядове класифікаційне товариство; дати закладки, спуску, швартових і ходових випробувань; журнали посвідчень з будівництва, швартових та ходових випробувань; програми швартових, ходових, морехідних і швидкісних випробувань; погоду (стан моря і швидкість вітру); основні елементи судна; результати оцінювання екс-

плуатаційних якостей елементів, механізмів, пристроїв, систем і обладнання, зручність їх обслуговування, загальну характеристику компонування; постачання, документацію і висновки комісії.

Під час призначення швидкості плавання суден у льодах використовується льодовий паспорт судна, у якому містяться діаграми льодової хідкості, льодової міцності та маневреності у кризі. Діаграми льодового паспорта судна використовуються для встановлення: безпечної швидкості руху під час автономного плавання у розріджених та суцільних льодах, у каравані; безпечної дистанції між криголамом і транспортним(ми) судном/суднами у каравані.

Зазвичай через неможливість проведення льодових випробувань під час здачі судна в експлуатацію через погодні умови, під час підготовки його до зимової навігації виникає необхідність у встановленні льодового паспорта судна і/або його корегування, наприклад, після реновації судна.

Для безпечної роботи таких суден у зимову навігацію, перед її початком, необхідна натурна перевірка показників льодових якостей специфікаційним вимогам, відповідно до яких встановлена гранична льодопрхідність судна в суцільних і розріджених льодах визначеної товщини під час повної осадки й безпечної швидкості руху (до 3-х вузлів), за міцності льоду на вигин не менше 500 кПа.

У запропонованій методиці враховано і прийнято наступне [1, 13, 28, 48, 51-56]:

- до льодового належить плавання у суцільній, крупнобитій (і/або уламках полів) і дрібнобитій кризі;
- рух судна безперервним ходом з усталеною швидкістю можливий, якщо величина сумарної тяги T гребних гвинтів/а достатня для здолання повного льодового опору R_L , тобто $T \geq R_L$;
- при $T < R_L$ подолання суцільним льодом здійснюється набігами;
- під час руху в суцільному льоді руйнування крижаного покриття здійснюється носовою частиною корпусу зі швидкістю ходу $v_c = (1 \dots 5)$ вузлів, що лінійно залежить від товщини льоду;

– під час руху у крупнобитих льодах і уламках полів їх слід обходити, а не таранити, оскільки характер взаємодії корпусу з льодом нестаціонарний і найбільш небезпечний від ударів великих уламків криги;

– під час плавання у дрібнобитій кризі найбільш характерним процесом є розсунення уламків криги носовим кінцем без їх ломки, тому опір льоду рухові проявляється як у втраті енергії пропульсивного комплексу судна на удари об уламки криги, їх розсунення і притоплювання, так і у подоланні сил тертя;

– в умовах дослідного басейну (або при *DMI*-моделюванні) моделюється рух судна тільки у суцільному льоді, моделювання руху судна у битій кризі через складнощі процесу не рекомендується;

– льодові навантаження, що діють на зовнішню обшивку й набір корпусу в носовій і кормовій частинах і змінному поясі конструктивної ватерлінії (КВЛ) висотою до 1,0 м, прийняті як удари об лід, як статичний тиск під час зім'яття криги, під час реверсу й роботи заднім ходом;

– інтенсивність розподілу льодового навантаження на шпангоути і стрингери, частини корпусу – ніс/середня частина/корма знаходиться у співвідношенні 1 : 0,5 : 0,75;

– під час виконання льодових операцій судно розвертається циркуляцією, "ялинкою", відходить назад, розбігається і так далі;

– під час самотійного плавання у льодових умовах судна теоретично нестійкі, а практично стійкі на курсі, що визначається періодом і амплітудою блукання (рискання), що залежать від частоти й кута перекладки стерна, які збільшуються у міру потовщення льоду;

– загальний характер циркуляції в льодових умовах мало чим відрізняється від спостережуваного на вільній воді, проте, крижаний покрив значно знижує швидкість поступального v_{η} і обертального ω_{η} руху судна, збільшуючи період циркуляції;

– за числа Фруда $Fr \leq 0,25$ відносний радіус сталої циркуляції r_{η} за заданого кута перекладки стерна δ_p практично не залежить від швидкості v_{η} і приблизно дорівнює його значенням на вільній воді;

- крен судна під час циркуляції у льодових умовах незначний (менш 2°);
- розворот "ялинка", на відміну від розвороту циркуляцією, вимагає меншої площі для маневрування і менших у 2 ... 3 рази витрат часу, оскільки умовний радіус $r_{\text{ц}}$ за цього розвороту становить 1,0 ... 1,5 довжини корпусу, а період розвороту 5 ... 10 хв;
- найкращу загартованість мають судна, у яких малий $r_{\text{ц}}$ і гострі носові утворення з вигнутою передньою частиною;
- керованість на малих передніх і задньому ходах за зниженої потужності СЕУ значно гірша, ніж за малих швидкостях ходу, але за повної сили упору гребних гвинтів;
- покращення інерційних характеристик судна досягається завдяки підвищенню його енергоозброєності або регулюванням водотоннажності шляхом баластування.

Зрозуміло, що необхідне ретельне методологічне опрацювання програми натурних випробувань БСДФ, яке дозволяє реально оцінити льодові якості судна. Так, під час визначення показників льодової хідкості судна потрібні вимірювання його швидкості руху, частоти обертання рушіїв і/або гребних валів, оцінка витраченої потужності СЕУ, стану і товщини льоду і т.д.

Дуже важливим фактором випробувань є повторюваність експериментів (режимів руху) в одному і тому ж крижаному полі за різного рівня споживаної потужності СЕУ. Отримані вимірювання дозволяють шляхом спеціального перерахунку експериментальних даних і з урахуванням поправок побудувати криві льодопрохідності за такою методикою.

1. Прохідна товщина суцільного льоду, що оцінюється за $T = T_{\text{ном}}$:

$$h_{\text{пн}} = \left(\frac{h_{\text{ф}}}{v_{\text{ф}} - v_{\text{ном}}} \right) \cdot (v - v_{\text{ном}}),$$

де $h_{\text{ф}}$ – товщина льоду в одному випробуванні, м; $v_{\text{ф}}$ – швидкість проходу БСДФ в суцільних льодах товщиною $h_{\text{ф}}$, вузл; $v_{\text{ном}}$ – номінальна швидкість БСДФ у спокійній воді, вузл.

2. Прохідна товщина суцільного льоду (за $T \in T_{\text{мин}} \dots T_{\text{макс}}$), м:

$$h_{II} = h_{nn} \cdot \left(\frac{T_n}{T_{ном}} \right)^{4/9},$$

де T_n – величина неповної (часткової) потужності СЕУ, кВт.

3. Маневрені якості циркулюючого БСДФ в розрідженій кризі певної згуртованості (відношення площі криги до площі поверхні води близько і під кригою) вимірюються аналогічно вивченню льодової хідкості, але з додатковою реєстрацією кутів перекладки органів управління та/ або записом траєкторії руху судна під час виконання циркуляції за допомогою супутникової навігаційної системи.

4. Циркуляція під час руху судна носом і кормою вперед виконується в тонких і середніх льодах за трьох положень пера стерна або його аналогу: мінімум, середнє положення і максимум. За виміряними траєкторіями визначаються радіуси циркуляції судна.

5. Наявність у судна в районі КВЛ потовщеного льодового поясу визначає його льодовий клас. Вимоги до розмірів льодового поясу за висотою борту в класифікаційних товариств різних країн збігаються і складають $0,2H_c$ вгору від КВЛ і $0,6H_c$ вниз від неї, де H_c – осадка судна літом. У носовій частині судна льодовий пояс продовжений вниз до кіля, вище і нижче льодового поясу по довжині КВЛ встановлюються перехідні пояси.

6. Фактична льодова міцність судна оцінюється дефектоскопією за величиною зносу металу льодового поясу, який не повинен перевищувати 0,2 мм / рік, а також зовнішнім і внутрішнім оглядом корпусу і його конструкцій у районі КВЛ. Під час огляду визначається сумарна довжина вм'ятин ушкоджень, яка відноситься до периметру КВЛ і позначається:

$$D = (l_n/P_c) \cdot 100 \%,$$

де l_n – довжина пошкоджень корпусу вздовж КВЛ, м; P_c – периметр корпусу судна по КВЛ, м, а за даними натурних спостережень А. Лисого $D = (0 \dots 10) \%$ (під час роботи суден льодового класу взимку у неарктичних морях значення величини D має сягати мінімуму).

7. Довжина пошкоджень корпусу судна l_n нелінійно залежить від швидкості його ходу в розрідженій кризі й обсягу крижин. Розроблена здобувачем "Програма проведення натурних льодових випробувань" зведена у табл. 3.20.

Таблиця 3.20. Запропонована програма льодових випробувань БСДФ льодового класу

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

8. Після проведення випробувань і визначення характеристик льодопрохідності БСДФ необхідно скласти льодовий паспорт або відкоригувати паспорт за його наявності (під час реновації судна).

Таким чином, за наявності маневрених характеристик БСДФ під час руху по мілководдю і глибокій воді забезпечується безпечне керування БСДФ льодового класу в неарктичних водах.

Можна стверджувати, що синтезоване судно має всі необхідні льодові властивості, володіє універсальністю застосування і гарними морехідними якостями (див. табл. 3.21).

Таблиця 3.21 – Технічні характеристики порівнюваних суден

Найменування характеристики	Д/ех "Капітан Белоусов"	Т/х <i>Arctic-boarg</i>	Синтезоване БСДФ ЛК
Довжина судна між перпендикулярами, L_{nn} , 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 Δ , т	4500	2015	2935
Об'ємна водотоннажність, V , м ³	4390	1966	2864
Сумарна потужність СЕУ, N , кВт	13760	3900	4600 і більше
Експлуатаційна швидкість, v , вузл	16,5	13,0	16,0
Кількість гребних гвинтів судна, шт.	4	2	2
Кількість членів екіпажу	85	42	45+24

Висновки до третього розділу

1. Проведено оцінку всіх основних тактико-технічних характеристик синтезованого багатоцільового судна подвійного призначення і встановлено їх відповідність існуючим нормативним документам і вимогам класифікаційних товариств.

2. Встановлено, що забезпечення плавання протягом року БСДФ по внутрішнім морським і річковим водам України вимагає наявності широкого спектра маневрених характеристик і наявності льодового паспорта. У іншому випадку період експлуатації судна може бути обмежений в зимовий період.

3. Детермінація ходових, маневрених і льодових якостей синтезованого БСДФ дозволяє більш повно використовувати його конструктивні особливості за забезпечення не тільки гарантовано безпечного керування, а й забезпечення протягом року судноплавства по морях, лиманах і річках України, виконання ним спеціальних завдань.

4. Максимальні плечі діаграм статичної остійності у всіх чотирьох варіантах навантаження БСДФ за кута крену $\theta_m = 30^\circ$ мають більше значення, чим нормативні. Кут заходу діаграм статичної остійності за всіх чотирьох варіантів навантаження судна більш 60° . Площа під позитивною частиною діаграми статичної остійності більше 0,055 м·рад до куту крену 30° , більше 0,09 м·рад до кута крену 40° , більше 0,03 м·рад між кутами крену від 30° до 40° .

5. Розроблена програма льодових випробувань БСДФ дозволяє оцінити конструктивні якості всього гідропропульсивного комплексу і підвищують його експлуатаційну надійність за рахунок обґрунтованого вибору потужності СЕУ і виключення неприпустимих режимів її роботи.

6. З аналізу результатів оцінювання характеристик синтезованої конструкції БСДФ, що впливають на посадку й початкову остійність, для типових випадків навантаження судна встановлено, що у всіх відібраних варіантах значення поперечної метацентричної висоти судна більше нормативного значення, що дозволяє стверджувати про універсальність можливих застосувань і високі ТТХ спроектованого судна.

РОЗДІЛ 4. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО СУДНА ДОПОМІЖНОГО ФЛОТУ ЛЬОДОВОГО КЛАСУ

4.1 Інтегральне оцінювання якості конкуруючих рішень, застосованих під час проектування і створення багатоцільового судна

Зазвичай науково-прикладне дослідження, яке виконується за державним замовленням або за рахунок іноземних інвестицій, закінчується прийняттям заключного проектного рішення яке, на кінцевому етапі, реалізується на основі проведення тендеру [4, 23, 95]. Безумовно, проектування і подальша побудова такої складної технічної системи, як БСДФ льодового класу, неможливе без підтримки держави – держзамовлення [95] і відповідного фінансування.

Під час оцінювання характеристик обладнання, прийняття заключних рішень під час обрання виконавців проекту, обладнання, тендерних закупівель [4, 23], ТО і Р, під час встановлення вимог до параметрів окремих елементів і модулів тощо, обов'язково, щоб: *а)* заключне рішення робилось після обґрунтованого співставлення декількох варіантів; *б)* запропоновані варіанти були розроблені різними незалежними виконавцями з обранням, за встановленими об'єктивними критеріями, найкращого; *в)* оцінювання варіантів виконував не тільки замовник, а й інша, незалежна, сторона.

Саме тут постає проблема – яким чином вимірювати ефективність [96, 97] різних запропонованих технічних, технологічних, екологічних й т. ін. можливих рішень для БСДФ, які, щонайчастіше, мають різні одиниці виміру, різні шкали, не піддаються аналітичному визначенню, не можуть бути об'єктивно зіставлені. І додатково – якась властивість, наприклад, енергетична ефективність цього спеціального транспортного спецзасобу, може бути відображена у числах, але напевне невідомо, наскільки вагомим є цей показник серед інших показників ефективності [4, 23, 96, 97].

Деяка властивість такої складної технічної системи, якою є БСДФ,

може бути оцінена тільки фахівцями на рівні інтуїції, особистого досвіду, неформалізованого знання і тому не піддається обчисленню, а деякі властивості принципово можна обчислити, але для цього або бракує інформації, або потрібно багато часу. Зрозуміло, що вимоги технічного завдання на проектування можуть бути задоволені різними технічними й технологічними рішеннями. Безумовно й те, що визначення найкращого проектного рішення, якщо технічні вимоги виконуються однаково успішно різними варіантами, у тендері і навіть на етапі аван-проекту БСДФ, оцінюється із залученням комплексних економічних показників, або інтегрованих техніко-економічних, техніко-експлуатаційних, спеціальних та/або інших показників [4, 23]. Найчастіше проблема визначення найкращого, з декілька конкуруючих, проектного рішення вирішується за допомогою інтегрованих показників якості із залученням методів аналітичних та експертних оцінок [25, 26, 98], методів економетрики [99-102] й нечіткої логіки [103, 104], але методика визначення показників, особливо для об'єктів і систем подвійного призначення, суттєво змінюється від умов оцінювання і має ознаки суб'єктивізму [105].

Саме цьому удосконалення методів аналізу й об'єктивного оцінювання нових технічних проектів для продукції подвійного призначення, а також результатів їхньої можливої практичної реалізації на основі систем підтримки прийняття рішень, за тендерних закупівель є важливим і актуальним завданням для сучасного стану економіки України й затяжної військово–політичної кризи [106, 107].

Розрахунки порівняльної економічної ефективності державних інвестицій застосовуються під час порівняння варіантів господарських і технічних рішень, розміщення замовлень на проєктовані системи судна та його спецобладнання, під час вирішення завдань з вибору взаємозамінної продукції та послуг, впровадження нових видів техніки, створення нових або реновації (конверсії) діючих суден і суднобудівних підприємств.

Для оцінки та співставлення різних технічних рішень існує

апробований метод – метод приведених витрат [108, 109], тобто всіх витрат, умовно приведених до одного року експлуатації.

Для вирішення завдання вибору постачальника, для оцінювання якості його пропозиції в тендерних закупівлях [4, 23] можуть застосовуватися різні автоматизовані системи підтримки прийняття рішень (СППР), наприклад, *CMMS*, *CVSS* (*Computerised Maintenance Management Systems*, *Computerised Vendor Selection System*), інструменти *BI* і *BA* (*Business Intelligence*, *Business Analytics*) і низка інших [110].

Але для українського законодавства та за особливих умов проведення тендерних закупівель такі СППР найчастіше є непридатними або вимагають адаптації, і тому вони не стали широкого розповсюдженнями. Крім того, під час роботи названих СППР відсутні гарантії неможливості витоку інформації призначеної для службового користування або з грифом секретності.

У різних методиках і СППР найчастіше показником порівняння варіантів є мінімум наведених витрат [108, 109], де витрати розподіляються на:

- капітальні, K_e (придбання обладнання, його транспортування, монтаж, налагодження, введення в експлуатацію). Ці витрати розбивають на кожний рік експлуатації;

- експлуатаційні витрати, E_e (заробітна плата обслуговуючому персоналу, витрати на енергію, технічне обслуговування, ремонт, накладні витрати). Ці витрати рахують за один рік експлуатації.

Наведені витрати E_{np} з кожного варіанта, що представляють собою суму поточних і капітальних витрат (приведених до однакової розмірності й відповідно до нормативного коефіцієнту [108, 109] ефективності) визначаються як: $E_{np} = (C_1 + E_n \times K_1) - (C_2 + E_n \times K_2)$, де C_1 і C_2 – поточні витрати, а K_1 і K_2 – капітальні витрати, відповідно, за першим та другим варіантами; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Зрозуміло, що найкраще рішення не матиме мінімум експлуатаційних (поточних) витрат, оскільки такий варіант вимагає найбільш масштабних

капіталовкладень.

Для спеціальних суден, таких, як БСДФ, визначають кількість років, до яких приводяться капітальні витрати. Якщо визначити короткий термін, то приведені капітальні витрати виявляються занадто великими і можуть стати економічно недоцільними, або практично невиконаними. Але, якщо взяти повний термін експлуатації (термін життя) спецтехніки і спецтранспорту, а він може вимірюватись для морських транспортних засобів подвійного призначення десятками років, то приведені капітальні витрати суттєво знижуються.

У [4, 23, 98] розроблено декілька підходів до кількісного оцінювання якості проектних рішень методами кваліметрії. Для морських транспортних засобів ПП, наприклад, [9, 10, 111], використані наступні концептуальні визначення.

1. Якість [112] – сукупність таких властивостей засобу, які пов'язані з результатом, а не з понесеними при цьому витратами, і які виявляються у процесі експлуатації засобу відповідно до його цільового призначення (*ISO 9000–9004*, *ISO 8402*). Тобто, якщо БСДФ успішно виконує спеціальне завдання, яке має суттєве політичне, соціальне і т. ін. значення, має високі якісні властивості й тому відношення "вартість виконаного завдання"/"витрати" неможливо розрахувати, тому що чисельник дробу неможливо визначити у грошовому еквіваленті.

2. Всі властивості засобу, або його проекту, потрібно вимірювати абсолютним показником властивості Q_i ($i = 1, \dots, n$, де n – кількість властивостей оцінюваного об'єкту, засобу). Отримане значення показника Q_i виражають у специфічних для кожної властивості одиницях, а для вимірювань використовують аналітичні й експертні методи [98, 113], класичні методи метрології. З властивостей, що формують показники якості, утворюють ієрархічну структуру [114].

3. Нормативний термін *окупності* (T) – термін, який потрібен для повернення інвестиційних витрат. Але для БСДФ і техніки ПП термін окупності може не враховуватися, оскільки термін окупності різних варіантів транспортної спецтехніки слугує інструментом провадження державної політики.

Короткі терміни окупності стимулюють швидкий підйом виробництва, але потребують залучення більших приведених капіталовкладень. Великі терміни окупності використовуються за стабільного планового розвитку галузі, наприклад, морського та річкового флоту, Збройних Сил України [106, 107], а також для техніки з довгим терміном експлуатації. Вони характерні для умов розвитку ринкової економіки, економічної нестабільності, прояву федералізації і агресивної поведінки інших держав. У таких складних умовах власник капіталу може наважитись навіть на великі витрати, але тільки з коротким, гарантованим державою, терміном окупності.

Нове рішення (проект, побудова БСДФ), щоб бути конкурентоспроможним на світовому ринку, повинно задовольняти не тільки вимогам технічного завдання, але й відповідати сучасному рівню розвитку науки й технологій, мати найкращі на сьогодні експлуатаційні й екологічні характеристики і їх випереджати (ураховувати моральне старіння на час початку експлуатації).

Зрозуміло, що проект побудови БСДФ – складова ЖЦ і є інтелектуальною продукцією. Тому до поняття його ЖЦ входять експлуатація і питання виробництва – матеріалоемність, уніфікація вузлів, технологічність виготовлення і т. д., можливості експорту майбутнього судна (патентна чистота, патентоспроможність), деякі особливі властивості (ПП), які не вписуються у поняття звичайної експлуатації готового виробу, утилізації, тощо.

Зауважимо, що якщо йдеться про складний прилад, механізм, транспортний засіб подвійного призначення, як продукцію виробництва, то обов'язково треба врахувати особливі властивості, які проявляються при його ТЕОР. Технічна експлуатація – лише частина експлуатації, що включає транспортування, зберігання, технічне обслуговування та ремонт виробу, при цьому під експлуатацією розуміється стадія ЖЦ виробу, на якій реалізується, підтримується і відновлюється його якість (ГОСТ 25866–83). Саме тому, для оцінювання експлуатаційних, еколого-економічних й інших показників використовують різноманітні методи кваліметрії, яка є складовою економетрики [101, 102, 115] і вивчає методи комплексної, кількісної оцінки якості

(продуктів праці, предметів, процесів тощо). Тобто можна зробити висновок, що комплексний, інтегрований показник якості повинен використовуватися під час оцінки запропонованих конкуруючих варіантів технічних проектів та під час тендерних закупівель. Його необхідно застосовувати не тільки при використанні метрологічних методів вимірювання та економетрики [101, 102, 105, 115], а й у комплексі з неаналітичними, експертними [4, 23, 25, 26, 98], методами. Також необхідно довести можливості використання окремих складових систем підтримки прийняття рішень (інтегрованих показників), що використовуються під час заключної оцінки різних конкуруючих технічних і технологічних проектів продукції подвійного призначення і спеціальних транспортних засобів, а також під час подальших тендерних закупівель, спрямованих на реалізацію відібраного рішення.

Додатково необхідне удосконалення методики розрахунку інтегрованих показників, які оцінюють якість проекту, продукції, обладнання або тендерних пропозицій, заснованих на адитивному використанні методів кваліметрії і експертних оцінок.

Зрозуміло, що у цьому випадку об'єктом дослідження є процеси і процедури оцінки якості та підтримки прийняття рішень під час вирішення експертних і тендерних завдань для проектів і обладнання подвійного та спеціального призначення, а предметом – методики розрахунку інтегрованих показників якості проектів, продукції, обладнання або тендерних пропозицій подвійного і/або спеціального призначення.

Якщо конкуруючий варіант (проекту, тендерної пропозиції, обладнання тощо) має не тільки зменшені експлуатаційні витрати, а також підвищені технічні параметри і ТТХ – продуктивність, вантажопідйомність, надійність, багатофункціональність (універсальність), екологічність тощо, то у цьому випадку термін окупності T капітальних витрат значно скоротиться. Зазвичай приведені витрати ($ПВ$) розраховують за виразом:

$$ПВ = E_{\epsilon} + \frac{K_{\epsilon}}{T}. \quad (4.1)$$

Переможе той варіант, який має найменше значення наведених витрат і найвищу “якість” (проектування, виконання робіт, тощо).

Якість – це не тільки сукупність властивостей і характеристик продукції або послуги, які надають їм здатність задовольняти обумовлені або передбачувані потреби споживача, це сукупність властивостей об'єкту, які виявляються у процесі споживання, експлуатації, використання, застосування об'єкту та характеризують позитивні й негативні результати, що при цьому досягаються. Для БСДФ якість окремо не оцінює витрати на виробництво і споживання.

Можна вважати, що в цілому результуючу якість продукції спеціального призначення – БСДФ, визначають чинники якості: а) проекту і використаних технологій; б) матеріалів, сировини, напівфабрикатів; в) робіт; г) дотримання проекту, норм, стандартів. Але на якість нових або реноваційних чи конверсованих транспортних засобів ПП ці чинники впливають неоднаково.

Найважливішим для створення БСДФ, до 80 % ваги сумарної якості, є якість підготовки проектного рішення з його побудови. Це пояснюється тим, що останні складові (якість матеріалів, робіт, дотримання норм і т. ін.) легко контролюються замовником (державою).

За експертного оцінювання властивостей можливе застосування шкал [116]: відносин (“у скільки разів”); інтервалів (“на скільки”); порядку (інформація про те, що краще за якістю, але не на скільки краще і не у скільки разів краще); найменувань (номінаційна шкала). Але для зіставлення різних властивостей, вимірюваних у різних шкалах, зручно використовувати відносний безрозмірний показник властивості K_i [4, 23, 98]. Цей показник 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.

Відносний показник описуємо залежністю $K_i = f(Q_i, Q_i^{em}, Q_i^{bp})$, яка у разі застосування методів кваліметрії нормується функцією [99, 101, 102, 115]:

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{bp}}{Q_i^{em} - Q_i^{bp}} \quad (4.2)$$

Для зіставлення за відносною важливістю обраних з дерева властивостей окремих показників, використовуємо [32, 98] безрозмірні коефіцієнти вагомості (ваги, важливості) властивостей G_i та приймаємо $0 < G_i < 1$, а $\sum_{i=1}^n G_i = 1$. Значення коефіцієнтів вагомості визначаємо із залученням різновидів експертного, аналітичного методів, їх комбінацій. Кількісну оцінку якості, у цілому, знаходимо за допомогою показника якості [4, 23, 98, 112]:

$$K_{jя} = \varphi(K_i, G_i, K_{je}), \quad (4.3)$$

де K_{je} – коефіцієнт рівня ефективності j -го об'єкту ($0 \leq K_{je} \leq 1$).

Функція $\varphi(K_i, G_i, K_{je})$ може виражатися поліномами, позіномами, середніми значеннями й іншими виразами. Ми показник якості визначимо за спрощеною формулою:

$$K_{jя} = K_{je} \cdot \sum_{i=1}^n K_i \cdot G_i \quad (4.4)$$

Окрім якості технічного проекту або побудованого спецзасобу необхідно враховувати витрати на його створення, виробництво і споживання (використання, експлуатацію) та сукупні витрати (наприклад, наведені витрати). Саме тому показник якості (4.4) використовується як інтегральний показник якості, визначення значень якого ґрунтується на тих самих принципах.

Визначимо процедуру, якою слід керуватися під час оцінки можливих рішень і тендерних закупівлях під час проектування й побудови БСДФ.

Побудова дерева властивостей [98, 114]. Оцінки якості [4, 23, 112] залежать від показників властивостей, сукупність яких утворює модель якості оцінюваного об'єкта: при одному наборі показників засіб 1 буде краще за якістю, ніж засіб 2, але при іншому наборі показників може бути навпаки – 2 кращий за 1.

Зрозуміло, що набір показників, за якими оцінюється якість, повинен бути однозначним, впорядкованим і декомпонованим у дерево властивостей. Порівнюючи за якістю декілька варіантів об'єкту (засобу, проекту) одного типу виключають з розгляду ті властивості, які однаковою мірою виражені в

порівнюваних варіантах. Тобто трактують результати оцінювання так, наче вони виражені у шкалі відносин [101, 102, 115, 116]. Саме це дозволяє отримати інформацію не тільки про те, на скільки один варіант відрізняється за якістю від іншого, але і у скільки разів виявляється відмінність. У такому випадку оцінки якості можуть бути виражені шкалою порядку й надавати інформацію стосовно того, що краще за якістю (але не на скільки краще).

Визначення еталонних значень і значень браку показників властивостей. Еталонні значення показників приймають так.

1. Обирається декілька об'єктів-аналогів за відношенням до оцінюваного об'єкту і з них визначається кращий за якістю (у нашому випадку це характеристики й окремі параметри і властивості суден "Капітан Белоусов" і "Arcticaboarg").

2. Значення показників окремих властивостей найкращого об'єкту приймають як еталонні значення.

3. Для обраних об'єктів-аналогів визначаються кращі для всієї сукупності цих аналогів значення показників кожної властивості. Ці значення приймаються еталонними.

У [98, 105, 113] показано, що використання об'єктів-аналогів (прототипів) може призвести до помилок і що визначення еталонних значень повинно бути наступним – значення необхідно вибирати з найкращих у світі (на момент оцінювання якості) значень показника відповідної властивості. Це стосується і значень браку (найгірших, неприпустимих) показників властивостей. Але конструктивні особливості найкращої і найсучаснішої спецтехніки, її ТТХ завжди закриті грифом секретності й тому проектувальнику доводиться екстраполювати доступну інформацію, користуватися побічними відомостями та інформацією.

Визначення показників властивостей. У методиках оцінювання якості часто застосовується не цифрове, а лінгвістичне вираження градацій значень абсолютних показників властивостей, тобто нечітке (фаззі [103, 104, 117]) вираження. Наприклад, 5-ти бальна шкала: відмінно, добре, задовільно, неза-

довільно, дуже незадовільно. Але за рахунок малої дискретності градацій відносна погрішність оцінок складає 20 %. Щоб зменшити величину відносної погрішності, потрібно збільшити число градацій, але не у будь-яких розмірах, а у тих, які відповідають психологічним можливостям людини (експерта, фахівця). Якщо оцінюється об'єкт, засіб, транспортний пристрій спеціального призначення, небезпечний засіб, озброєння і таке інше, то шкала може бути більш жорсткою і вимогливою до позитивних оцінок. Зрозуміло, що градації можуть бути достатньо гнучкими й змінюватися відповідно з вимогами до кінцевого продукту або проекту.

Доведено, що для психологічних й розумово-логічних можливостей висококваліфікованого експерта найкраще число градацій не повинно перевищувати значення 20. Гарних результатів можна досягти, якщо використовувати 100-відсоткову шкалу з градаціями, наприклад через 5 % або 10 %. Але, на наш погляд, необхідно на початку й кінці такої шкали використовувати більш дрібні градації (близько 5 %), а у середині – більші (близько 10 %). Це стосується тих властивостей, для показників яких неможливо, важко або небажано використовувати звичайні фізичні одиниці вимірювання.

У [98] не показано, яким чином переводити лінгвістичні, нечіткі оцінки експертів у однозначні, числові. Пропонується для оцінки лінгвістичних показників, висловлених експертами (відмінно, добре, якісно, майже можливо і таке інше з дрібними показниками на початку та кінці шкали) використовувати шкалу Харрінгтона [118]. Для кожного показника, використовуючи шкалу Харрінгтона, можна ввести прийом – застосувати безрозмірну (відносну, нормовану коефіцієнтом α) на деякому діапазоні, шкалу. Ця шкала Харрінгтона формується за допомогою виразу для шкали переваг $y(x)$:

$$y(x) = e^{-E}, \quad (4.5)$$

де $E = e^{-\alpha X}$ – функція визначення лінгвістичної змінної.

Ця шкала однотипна для всіх поєднаних показників, що дозволяє їх порівнювати. Незважаючи на те, що результат оцінки дуже залежить від вихідної інформації про приватні показники, від точності визначення узагаль-

нюючих ознак і властивостей, від кваліфікації експерта, ця шкала універсальна і легко адаптується під лінгвістичні висловлювання [4, 23, 25, 26, 32, 98] експертів.

Вихідні дані нормують на діапазоні $D \in (0, \dots, 1)$, $(0 \%, \dots, 100 \%)$ або $(0, \dots, 10)$ і нормують приватні показники (оцінки, табл. 4.1, рис. 4.1). При цьому нескладно встановити й більш дрібні градації на початку і у кінці шкали, де функція (4.5) найбільш чутлива до змін лінгвістичної змінної x .

Таблиця 4.1. Можливі діапазони оцінювання за шкалою Харрінгтона*

Діапазон у середині шкали Харрінгтона	Оцінка експерта	Бал, ранг
1,00 – 0,80	Відмінно	9 і більше
0,80 – 0,63	Добре	7
0,63 – 0,37	Задовільно	5
0,37 – 0,20	Погано	3
0,20 – 0,00	Дуже погано	1 і менше

*Примітка. Значення балів (рангів) 2, 4, 6, 8 є проміжними і можуть визначатися узгоджено (рис. 4.1) або іншими методами.

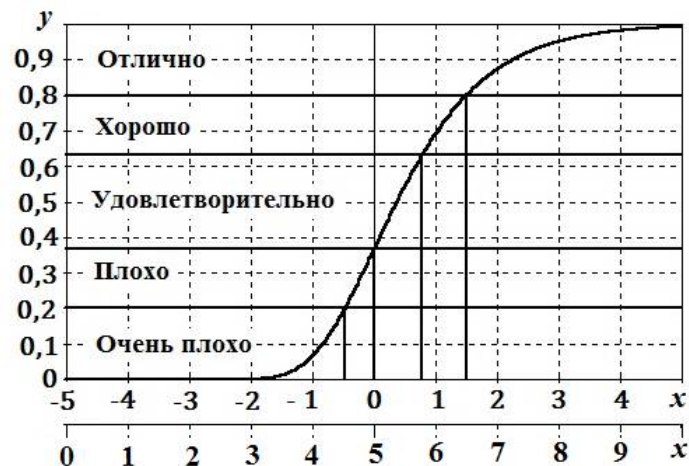


Рис. 4.1. Варіант графічного відображення шкали оцінок Харрінгтона ($\alpha = 1$)

Наведемо, у якості прикладу, методику оцінювання одного з варіантів аван-проекту БСДФ. Така методика може застосовуватися у загальній системі підтримки прийняття рішень під час оцінювання та зіставленні різних конкуруючих варіантів проектів, а також під час процедур тендерних закупівель обладнання, матеріалів, устаткування тощо, необхідних для будівництва судна.

Визначимо показник інтегральної оцінки якості проекту будівництва складного транспортного засобу – БСДФ ЛК (судна ПП). Мета – подальше проведення тендерних закупівель або визначення виконавця проекту судна. Тому використовуємо описану методику за допомогою експертних оцінок показників властивостей та виконаємо кілька обов'язкових етапів, які майже повністю виключають суб'єктивну складову оцінок [95, 105] та підвищують об'єктивність прийнятих рішень. Розрахунок проведемо тільки для одного варіанту об'єкту (проекту, засобу, рішення, технології), тобто для $K_{1я}$, згідно (4.4), $j = 1$. Зрозуміло, що розрахунки показників інших варіантів рішень ($K_{2я}$, $K_{3я}$, ..., $K_{jя}$) виконуються аналогічно, а найкраще рішення визначається зіставленням коефіцієнтів [4, 98].

Етап 1. Експертиза. Від особистих рис, спеціальності, досвіду експертів залежить об'єктивна оцінка окремих складових якості проекту:

- експерти повинні мати авторитет, стаж та досвід роботи;
- кількість експертів у одній цільовій групі повинна бути 7... 10 осіб;
- серед експертів повинні бути представники різних спеціальностей, служб, наукових напрямків, тощо. Експерти не повинні бути екстремально налаштованими або заангажованими.

Етап 2. Визначення характерних показників якості. Показники і їх кількість встановлює замовник. Але потрібно прагнути визначення найбільш характерних показників і уникати їх занадто великої кількості.

Пропонується спрощений приклад (список), що ілюструє пропоновану методику, при цьому показники, що наведені у прикладі, можуть суттєво змінюватися (на вимогу замовника, за пропозицією виконавця, експертів тощо).

1. Патентоспроможність – кількість захищених патентами технічних та технологічних рішень (замовника, виконавця, галузі або держави) та повнота охоплення ними пропонованих у проекті науково-технічних рішень.

2. Енергетична ефективність засобу.

3. Матеріаломісткість – у кількісному та якісному вираженні, особливо для дефіцитних матеріалів (дорогоцінні та кольорові метали, рідкоземельні елементи, тощо).

4. Технологічність виготовлення засобу – ступінь уніфікації окремих складових, наявність відповідних технологій у виробництві, або навпаки, потреба створення унікальної технології.

5. Ступінь охоплення засобу, процесу його експлуатації або проектування сучасними інформаційними технологіями (ІТ).

6. Надійність, тобто спроможність відпрацювати нормовані терміни експлуатації з мінімумом обсягів простоїв та ремонтних робіт.

7. Екологічність (вплив на навколишнє середовище на всіх етапах ЖЦ).

8. Ергономічність, естетичність, тобто максимальне наближення до фізіологічних можливостей керування та естетичних уподобань людини.

9. Функціональність і універсальність – тобто у виробі (проекті, засобі) все повинно бути пристосованим для виконання головної мети і не мати зайвого, занадто складного й таке інше.

10. Можливість встановлення спецобладнання, тобто ефективність виконання особливих завдань і функцій (наприклад, подвійного призначення).

Під час розрахунків використовуємо номери показників (1–9) для позначення коефіцієнтів вагомості G_i , абсолютних і відносних показників властивостей Q_i та K_i .

Етап 3. Визначення вагомості показників якості. Експертам (Ек.1, ..., Ек.7) необхідно заповнити свій стовпчик у таблиці (табл. 4.2), а навпроти кожного показника експерт проставляє номер критерію від 10 до 1. Ці дії експерти проводять за допомогою (4.5). Цифра 10 відповідає найвагомішому (найважливішому) показнику, а 1 – найменш вагомому.

Із таб. 4.2 випливає, що на перших місцях, за вагомістю, є функціональність і універсальність (64 бали), енергоефективність і надійність засобу (по 57 балів), можливість встановлення спецобладнання (51 бал), технологічність (44 бали). Далі віддається перевага матеріалоемності (34 бали), ергоно-

мічності (31 бал) і ІТ-технологіям (19 балів). На останніх місцях екологічність (18 балів) і патентоспроможність (10 балів). Найголовніше тут те, що кожний з показників отримав за допомогою виразу (4.5) конкретний коефіцієнт вагомості, який і відображає узагальнений висновок експертів.

Етап 4. Абсолютні показники. Кожен з експертів формує абсолютні показники відносно до якогось уявного зразка. Тут є проблема визначення еталонних показників властивостей Q_{iem} . У теорії кваліметрії не рекомендується обирати в якості еталону найбільший із показників, що є у таблиці, а рекомендовано обирати еталоном абсолютний показник кращого світового рівня.

Якщо взяти за еталонні значення для кожного з показників 100 %, то у цьому випадку нормовані показники K_i за виразом (4.2) будуть нижчими, порівняно з визначеними за світовими зразками.

Таблиця 4.2. Показники вагомості обраних властивостей проекту

Показник	Ранжування показників							Сума оцінок	Вагомість, G_i
	Ек. 1	Ек. 2	Ек. 3	Ек. 4	Ек. 5	Ек. 6	Ек. 7		
1. Патентоспроможність	1	2	1	2	1	1	2	10	0,026
2. Енергетична ефективність	9	10	6	7	8	10	7	57	0,148
3. Матеріаломісткість	4	5	4	5	6	5	5	34	0,088
4. Технологічність	7	9	7	6	7	2	6	44	0,114
5. ІТ технології	2	3	2	1	3	7	1	19	0,049
6. Надійність	8	7	8	8	9	9	8	57	0,148
7. Екологічність	3	1	3	3	2	3	3	18	0,047
8. Ергономічність	5	4	5	4	5	4	4	31	0,080
9. Функціональність і універсальність	10	8	10	9	10	8	9	64	0,166
10. Спецобладнання	6	6	9	10	4	6	10	51	0,132
Сума	55	55	55	55	55	55	55	385	1,0

Показник браку Q_i^{bp} необхідно взяти як найнижчий можливий показник. Абсолютні показники властивостей Q_i розрахуємо як середньоарифметичні значення експертів. Судячи з таблиці 4.4 абсолютних показників властивостей Q_i , експерти для даного варіанту проекту найбільш задоволені функціональністю ($K_i = 0,30$), енергетичною ефективністю (0,256) і матеріаломем-

ністю (0,228), менш за все їх влаштовує екологічність та надійність рішення. Зрозуміло, що у прикладі (таб. 4.3) наводяться показники тільки для одного, з декількох конкуруючих, варіанту проекту. Реально потрібно заповнювати таблиці для декількох варіантів конкуруючих проектів і так, щоб колонки з різними варіантами для кожної з властивостей були поруч – для зіставлення всіх конкуруючих варіантів.

Згідно виразу (4.4) визначимо результуючу оцінку – інтегральний коефіцієнт якості оцінюваного проекту. Оскільки відомості про збереження у часі окремих властивостей відсутні, тому вираз (4.4) спрощується (при $K_{je} = 1$) до:

$$K_{ja} = 1 \cdot \sum_{i=1}^n K_i \cdot G_i. \quad (4.6)$$

Так, проведені розрахунки для інших можливих конкуруючих варіантів (5 варіантів) проектів дозволили обрати декілька варіантів, для яких, у залежності від обсягів фінансування і строків, можливе отримання значення K_{ja} від 0,71 до майже 0,90 за урахування існуючих можливостей української проектної і суднобудівної бази, доступності сучасних технологій, матеріалів і устаткування.

Таблиця 4.3. Абсолютні показники обраних властивостей для одного, з декількох конкуруючих, варіанту проекту

Показник	Абсолютні показники Властивостей							Узагальнені показники			
	Ек.1	Ек.2	Ек.3	Ек.4	Ек.5	Ек.6	Ек.7	Q_i	Q_i^{em}	Q_i^{op}	K_i
1. Патентоспроможність	40	35	60	45	45	50	70	49,3	100	40	0,155
2. Енергетична ефективність	65	60	55	70	60	50	80	62,8	100	50	0,256
3. Матеріаломісткість	55	60	60	70	55	65	65	61,4	100	50	0,228
4. Технологічність	40	45	55	65	60	55	45	52,1	100	40	0,202
5. ІТ технології	40	50	55	50	40	45	50	47,1	100	40	0,118
6. Надійність	55	50	55	55	60	65	60	57,1	100	50	0,142
7. Екологічність	50	45	55	40	60	55	40	49,2	100	40	0,153
8. Ергономічність	50	55	60	45	55	70	60	56,4	100	45	0,207
9. Функціональність	55	75	70	65	65	65	60	65,0	100	50	0,300
10. Спецобладнання	60	55	45	60	65	55	60	57,1	100	50	0,142

Таблиця 4.4. Ранжування відносного показника K_i властивостей одного з конкуруючих проектів

Номер показника	Показник	K_i	Ранг
9	Функціональність і універсальність	0,300	1
2	Енергетична ефективність	0,256	2
3	Матеріалоемісткість	0,228	3
4	Технологічність	0,202	4
8	Ергономічність	0,207	5
1	Патентоспроможність	0,155	6
7	Екологічність	0,153	7
6, 10	Надійність; Спецобладнання	0,142	8, 9
5	IT технології	0,118	10

Таблиця 4.5. Розрахунок інтегральної оцінки якості проекту

Показник	K_i	G_i	$K_i \cdot G_i$
1. Патентоспроможність	0,155	0,026	0,004
2. Енергетична ефективність	0,256	0,148	0,038
3. Матеріаломісткість	0,228	0,088	0,002
4. Технологічність	0,202	0,114	0,023
5. IT технології	0,118	0,049	0,006
6. Надійність	0,142	0,148	0,021
7. Екологічність	0,153	0,047	0,007
8. Ергономічність	0,207	0,080	0,016
9. Функціональність	0,300	0,166	0,05
10. Спецобладнання	0,142	0,132	0,019
Сума	—	1,0	0,186

Описана вище методика оцінок достатньо універсальна, але у деяких випадках експерти не в змозі визначити перевагу одного параметра або характеристики над іншим, що проявляється зазвичай під час визначення показників вагомості спецобладнання і спецтехніки, характеристик озброєння тощо.

Це пов'язано з тим, що за фактом не існує більш чи менш важливого для функціонування об'єкту параметру чи характеристики, й експерт оцінює (ранжирує) їх однаковою кількістю балів – саме тому проявляється невизначеність (неоднозначність) заключних рішень. Для усунення цієї невизначеності описана методика оцінювання була удосконалена й наводиться у наступному параграфі.

4.2 Експертний аналіз тактико-технічних характеристик і визначення основних впливових факторів проектування, виготовлення, технічної експлуатації та ремонту синтезованого судна

Перелік основних впливових на кінцеву мету (створення і ефективну експлуатацію БСДФ) факторів сформований на підґрунті аналізу висновків груп фахівців (дві групи, чотири галузі знань, по чотири експерта у кожній галузі). Перша група (1 гр.) експертів у галузі: *а)* проектування нестандартних морських і річкових суден; *б)* військового кораблебудування і озброєння. Друга група (2 гр.) експертів у галузі: *а)* судноремонту та технічної експлуатації суден; *б)* економіки та менеджменту морського і річкового транспорту.

З попереднього аналізу висновків, зазначених 16-тю спеціалістами, до складу яких входили 10 докторів і 6 кандидатів наук, з них 6 професорів, 4 доценти, 6 старших наукових співробітників і капітанів 1 та 2 рангу, були відібрані багаторазово згадувані ними й найбільш вагомими (на погляд експертів), впливові фактори і ТТХ.

Такий мінімальний (усічений) перелік ТТХ й істотних, впливаючих на результуючі якісні властивості БСДФ, факторів (у тому числі можливі місця й імідж організації-проектувальника судна, можливі виконавці заводи/судноверфі-виготовники суден, особливості технічної експлуатації, можливі місця й імідж організацій з технічного обслуговування і ремонту БСДФ та інші варіанти) наведено у таблиці 4.2.

У табл. 4.2, також, вказано спосіб оцінки кожного фактору: або однозначна (кількісна, цифрова) *ОД* оцінка, або нечітка *НЧ*, лінгвістично сформульована експертами.

З метою пояснення методики, для прикладу, були відібрані тільки 20 чинників (з можливих 60...80) F_i , що загалом визначають інтегральні характеристики для всього життєвого циклу БСДФ, за винятком етапу утилізації судна.

Для встановлення інтегрального (результуючого) рангу (балу, оцінки, інтегрального показнику якості, рівня результуючої конкурентоспроможності) застосований метод *RCM* (метод рангової кореляції, *Rank Correlation Method*, відомий як метод М. Кендалла) [99, 101, 102, 119, 120]. Метод *RCM* заснований на формалізації вихідної інформації, зібраної з набору висловлювань, оцінок, розрахунків і думок експертів про рівень впливу на інтегральне значення рангу кожного з оцінюваних приватних (часткових, виокремлених) впливових факторів.

Під час дослідження була складена анкета для оцінки експертами впливу визначених приватних двадцяти чинників на інтегральні властивості (показники якості, результуючу конкурентоспроможність) БСДФ. Як зазначено вище, експерти розділені на дві групи. Перша складається з фахівців з проектування нестандартних морських і річкових суден, військового кораблебудування, озброєння та спецтехніки. Друга група – з фахівців з судноремонту, технічної експлуатації суден, економіки й менеджменту водного транспорту.

Шкала оцінювання для однозначних *ОД* оцінок 10–бальна, при цьому для нечітких експертних оцінок *НЧ* вона сформована на основі застосування функції Харрінгтона (4.5), що дозволило перевести нечіткі висловлювання *НЧ* у однозначні *ОД*, також 10-бальні.

Приймаємо, що фактору, який завдає максимальний вплив на інтегральну характеристику, присвоюється бал 10, фактору з найменшим впливом – бал 1.

Якщо експерт не в змозі віддати різним чинникам перевагу за важливістю, то оціночні бали для цих ситуацій однакові.

Коефіцієнт кореляції є інструментом перевірки гіпотези про взаємну залежність величин, вимірювання її сили, є статистичними показником залежності випадкових величин і може приймати значення від -1 до $+1$. При цьому, значенню " -1 " буде відповідати повна відсутність зв'язку між величинами, " $+1$ " – про повну кореляцію величин і якщо розподіл змінних близько до нормального розподілу, то використовують коефіцієнт кореляції Пірсона.

Таблиця 4.6. Оцінювані чинники, спосіб оцінки, можливості керування, група (оцінка: НЧ – нечітка, ОД – однозначна; керованість: ПК – повністю керований, ЧК – частково керований, НК – некерований; група факторів: ТЕ – техніко-експлуатаційні, Е – економічні, З – зовнішні)

№	Фактор, характеристика	Позна-чення	Спосіб оцінки	Керо-ваність	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 (судноремонтний завод, судноверф тощо)	F18	НЧ	ПК	З
19	Тривалість ремонту	F19	НЧ	ЧК	Е
20	Вартість і якість ремонту	F20	НЧ	ЧК	Е

Однак, у нашому випадку, сукупність змінних (оцінки експертів) характеризується не двома, а кількома послідовностями рангів, де необхідно встановити статистичний зв'язок між ними. Саме тому застосовуємо множинний коефіцієнт кореляції W , інакше – коефіцієнт конкордації рангів (CC – *coefficient of concordance*), також запропонований М. Кендаллом [99, 119, 120]:

$$W = \frac{S}{\frac{m^2}{12} \cdot (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m H_j} \quad (4.7)$$

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

$n = 20$ – число аналізованих у прикладі чинників;

$$H_j = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^l (h_j^3 - h_j) \quad (4.8)$$

– поправка, що враховує пов'язані (однакові) ранги у оцінках кожного j -го експерта ($l = m$).

Обчислимо суми другіх ступенів різниць відхилень S :

$$S = \sum_{F_i = F_1}^{F_i = F_{20}} \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{F_i = F_1}^{F_i = F_{20}} a_{ij}}{n} \right)^2 = \sum_{F_i = F_1}^{F_i = F_{20}} \Delta_{F_i}^2 \quad (4.9)$$

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

При використанні коефіцієнту конкордації М. Кендалла, часто не враховують ранги, пов'язані одним експертом (тобто таки, для яких експерт дає однаковий ранг різним факторам). Тому критерій обмежується лише вимогою $W \rightarrow 1$, що помітно обмежує його практичне застосування. Тим часом, навіть якщо абсолютне значення W виявляється малим, то воно може бути статистично значущим під час перевірки гіпотези про рівномірний розподіл рангів.

Підкреслимо обмеження у використанні коефіцієнту конкордації М. Кендалла без урахування поправки, що враховує пов'язані ранги в оцінках: а) неможливість розрахувати узгодженість висновків експертів з кожної змінної окремо; б) коефіцієнт конкордації W вимірює узгодженість висновків у сенсі їх корелювання, але не співпадіння. Крім того, з досвіду розрахунків встановлено, що визначення коефіцієнту конкордації без поправочних коефіцієнтів H_j і перевірки на статистичну значущість, може привести до суттєвих помилок.

Викладемо пропоновану методику обробки пов'язаних оцінок груп експертів.

1. Оцінюємо *ступінь узгодженості* відповідей експертів.

1.1 Використовуємо коефіцієнт конкордації М. Кендалла [99, 101, 102, 119, 120]. Для позитивних значень факторів ($F_i > 0$), коефіцієнт конкордації змінюється в діапазоні $0 < W < 1$, а щоб думки експертів були узгоджені, знайдене значення W має бути більше 0,5.

Попередньо обчислюємо зі (4.8) поправки H_i , що враховують пов'язані ранги у оцінках кожного j -го експерта – тобто однаково оцінені експертами за важливістю фактори і ТТХ.

Для 1-ї групи експертів повне значення $H_1 = 4546$, для 2-ї групи $H_2 = 4946$. Для цих груп експертів, згідно із (4.7) табл. 4.6 і тал. 4.7, отримаємо наступні значення CC .

Для першої групи: $W_1 = 4767,18 / (1/12 \cdot 8^2 \cdot (20^3 - 20) - 8 \cdot 4546) = 0,77$.

Для другої групи: $W_2 = 2125,2 / (1/12 \cdot 8^2 \cdot (20^3 - 20) - 8 \cdot 4946) = 0,71$.

Оскільки розрахункові значення $W_{1,2} > 0,5$, то можна з упевненістю стверджувати, що всі експертні висновки узгоджені між собою, що немає протидіючих, ангажованих або конкуруючих угруповань експертів, немає думок, що різко відрізняються одна від другої.

1.2 Оцінюємо *збіжність* висловлювань експертів.

Розрахунок збіжності проводимо за допомогою Z -критерію Фішера [121]. Критерій Фішера встановлює наступне: якщо значення розрахункових Z -критеріїв більше табличних $Z_{таб}$, то з ймовірністю $p \geq (1 - \alpha) = 0,95$, де $\alpha = 0,05$ – п'ятивідсотковий рівень значущості, гіпотеза про випадкові збіжності (випадкове збігання) висловлювань, думок, міркувань експертів неспроможна.

1.2.1 Перевіряємо збіжність висновків 1-ї групи експертів.

Розрахункове значення Z -критерію для першої групи експертів:

$$Z_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(m-1)W_1}{1-W_1} = 0,5 \cdot \frac{(8-1) \cdot 0,77}{1-0,77} = 11,72.$$

При цьому ступені свободи рівні: $\nu_{11} = n - 1 - 2/m = 20 - 1 - 2/8 = 18,75$

$$\text{і } v_{21} = (m - 1) v_1 = (8 - 1)18,75 = 131,25.$$

За округленими до цілого значення ступенями свободи ($v_{11} = 19$ і $v_{21} = 132$) та $\alpha = 0,05$ із [81] визначаємо інтерпольоване табличне значення: $Z_{1\text{таб}} = 2,82$.

1.2.2 Перевіряємо збіжність висновків 2-ї групи експертів.

Розрахункове значення Z -критерію для другої групи експертів:

$$Z_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(m - 1)W_2}{1 - W_2} = 0,5 \cdot \frac{(8 - 1) \cdot 0,71}{1 - 0,71} = 8,57.$$

При цьому ступені свободи рівні: $v_{12} = n - 1 - 2/m = 20 - 1 - 2/8 = 18,75$ і $v_{22} = (m - 1) v_1 = (8 - 1) 18,75 = 131,25$. За округленими до цілого значення ступенями свободи ($v_{12} = 19$ і $v_{22} = 132$) та $\alpha = 0,05$ із [121] визначаємо інтерпольоване табличне значення: $Z_{2\text{таб}} = 2,79$.

Таким чином, з імовірністю 0,95, можна стверджувати про збіжність (узгодженість) висловлювань всіх експертів, оскільки $Z_1 > Z_{1\text{таб}}$ і $Z_2 > Z_{2\text{таб}}$.

Розподіл рангів впливових факторів і характеристик наведено у табл. 4.8.

Розподіл факторів і характеристик за групами, що враховують можливість управління ними, показує, що найбільш дієвим напрямком підвищення результуючого інтегрального показника якості й конкурентоспроможності БСДФ ЛК є відібране обмежене число найбільш впливових факторів і ТТХ, яким необхідно приділяти основну увагу: $F5$, $F14$, $F7$, $F3$, $F11$, $F1$, $F20$, $F9$.

Таблиця 4.7. Результати анкетування першої групи експертів з проектування та кораблебудування

Позначення	Фактор, характеристика	Ек. 1	Ек. 2	Ек. 3	Ек. 4	Ек. 5	Ек. 6	Ек. 7	Ек. 8	Сума рангів	S
F1	Місце проектування, імідж проектувальника	8	7	6	7	7	8	6	8	57	104,04
F2	Моральний знос на етапі проектування	4	5	2	1	4	2	3	33	54	51,84
F3	Місце споруди, імідж судноверфі й поставачальників	6	7	7	9	8	6	10	7	60	174,24
F4	Вартість проекту, вартість будівництва	6	7	5	5	6	3	3	6	41	33,64
F5	Багатофункціональність, універсальність, можливість виконання спеціальних завдань	9	10	10	9	8	8	10	10	74	739,84
F6	Дедвейт і модуль	4	5	6	5	7	6	4	8	45	3,24
F7	Льодовий клас	8	9	10	10	10	8	9	9	73	686,44
F8	Дальність, автономність, райони плавання	5	6	5	5	7	5	3	4	40	46,24
F9	Енергетична ефективність та експлуатаційні витрати	9	6	7	6	5	6	7	4	50	10,24
F10	Відповідність міжнародним конвенціям, правилам, витрати на огляд	1	2	2	1	3	2	3	4	18	829,44
F11	Швидкість	5	8	6	7	8	7	7	8	56	84,64
F12	Строк служби	5	6	5	4	7	3	5	5	40	46,24
F13	Чисельність екіпажу	4	2	5	4	4	5	6	5	35	139,24
F14	Спеціальне оснащення, можливість установки активного озброєння	8	9	10	9	8	9	9	10	72	635,04
F15	Середньорічні питомі витрати на ремонт	1	2	2	3	3	4	2	2	19	772,84
F16	Тривалість ремонтного циклу	4	4	5	4	4	5	3	5	34	163,84
F17	Тривалість міжремонтних періодів	6	4	5	5	6	5	7	9	47	0,02
F18	Місце ремонту (судноремонтний завод, верф та інші)	6	5	2	8	2	4	6	5	38	77,44
F19	Тривалість ремонту	2	5	3	2	5	5	5	7	34	163,84
F20	Вартість і якість ремонту	5	6	7	4	8	8	5	6	49	4,84
Сума		106	115	110	108	120	109	113	155	936	4767,18

Таблиця 4.8. Результати анкетування другої групи експертів з судноремонту, експлуатації, менеджменту

Позначення	Фактор, характеристика	Ек. 1	Ек. 2	Ек. 3	Ек. 4	Ек. 5	Ек. 6	Ек. 7	Ек. 8	Сума рангів	S
F1	Місце проектування, імідж проектувальника	9	7	8	7	7	9	7	8	62	60,84
F2	Моральний знос БСДФ на етапі проектування	4	6	3	2	4	3	3	33	58	14,44
F3	Місце споруди, імідж судноверфі й постачальників	7	7	7	9	7	7	9	7	60	33,64
F4	Вартість проекту, вартість будівництва	8	8	7	6	6	6	7	8	56	3,24
F5	Багатофункціональність, універсальність, можливість виконання спеціальних завдань	8	9	9	9	8	8	7	10	68	190,44
F6	Дедвейт і модуль	5	5	3	3	6	6	5	8	41	174,24
F7	Льодовий клас	7	8	7	7	9	9	9	8	64	96,04
F8	Дальність, автономність, райони плавання	6	6	4	7	6	6	5	5	45	84,64
F9	Енергетична ефективність та експлуатаційні витрати	6	7	7	9	9	6	7	9	60	33,64
F10	Відповідність міжнародним конвенціям, правилам, витрати на огляд	2	2	3	3	3	4	4	4	25	852,64
F11	Швидкість	6	7	6	7	7	8	7	8	56	3,24
F12	Строк служби	7	7	6	5	7	6	6	5	49	27,04
F13	Чисельність екіпажу	4	7	5	7	8	5	8	8	52	4,84
F14	Спеціальне оснащення, можливість установки активного озброєння	9	9	8	9	8	9	8	9	69	219,04
F15	Середньорічні питомі витрати на ремонт	5	7	7	8	8	9	8	7	59	23,04
F16	Тривалість ремонтного циклу	6	8	7	8	8	7	7	8	59	23,04
F17	Тривалість міжремонтних періодів	6	7	5	7	6	7	7	8	53	1,44
F18	Місце ремонту (судноремонтний завод, верф та	5	5	6	8	5	4	6	6	45	84,64
F19	Тривалість ремонту	6	5	3	5	5	7	5	6	42	148,84
F20	Вартість і якість ремонту	8	9	7	7	8	8	7	7	61	46,24

Таблиця 4.9. Ранжирування факторів і ТТХ

Ранг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 гр.	<i>F5</i>	<i>F7</i>	<i>F14</i>	<i>F3</i>	<i>F11</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F9</i>	<i>F20</i>	<i>F17</i>	<i>F6</i>	<i>F4</i>	<i>F8</i> , <i>F12</i>	<i>F18</i>	<i>F13</i>	<i>F16</i> , <i>F19</i>	<i>F15</i>	<i>F10</i>
2 гр.	<i>F14</i>	<i>F5</i>	<i>F7</i>	<i>F11</i>	<i>F20</i>	<i>F3</i> , <i>F9</i>	<i>F15</i> , <i>F16</i>	<i>F2</i>	<i>F1</i> , <i>F4</i>	<i>F17</i>	<i>F13</i>	<i>F12</i>	<i>F8</i> , <i>F18</i>	<i>F19</i>	<i>F6</i>	<i>F10</i>	–	–

Таблиця 4.10. Вичленовані найбільш впливові фактори і ТТХ

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

Найважливішим у наведеній методиці є те, що усунені такі недоліки експертного оцінювання, коли експерт оцінює (ранжирує) фактори й показники однаковою кількістю балів, тобто цією методикою виключається невизначеність (неоднозначність) заключних рішень.

4.3 Підвищення ефективності технічної експлуатації, ремонту й обслуговування багатоцільових суден

4.3.1. На основному етапі життєвого циклу – експлуатації багатоцільового судна льодового класу, виникне проблема забезпечення його кваліфікованим технічним обслуговуванням і ремонтом (ТО і Р) [7, 19, 20]. Проблема полягає, в першу чергу в тому, що багатоцільові судна найчастіше не можуть обслуговуватися на цивільних судноремонтних заводах і верфях (через необхідність забезпечення особливих допусків і ліцензій, наявності доступу до інформації, наявності спеціального обладнання, кваліфікованих кадрів вузь-

кої спеціалізації, спеціалізованих запчастин та інших властивостей). Але у зв'язку з: а) швидкими змінами зовнішньополітичної ситуації; б) появою і розвитком ринкових пропозицій з ТО і Р, у тому числі й зарубіжних судноремонтних заводів; в) зростаючою кількістю вітчизняних приватних і державних організацій і підприємств, готових проводити ТО і Р, постає неоднозначна проблема "найкращого" вибору такої обслуговуючої організації, яка б задовольняла низки умов. Саме вибір найкращої організації забезпечує в кінцевому підсумку найкращу якість проведення ТО і Р, а значить і найвищу з можливих варіантів ефективність використання фінансових ресурсів, усуває корупційні ризики і негативне розподілення ресурсів, забезпечуючи гарантовану надійність функціонування і виконання технологічних функцій і завдань БСДФ ЛК.

Під час прийняття рішення з низки варіантів, виникають складнощі у зв'язку з тим, що судноремонтні організації характеризуються різнорідними й суперечливими властивостями та параметрами. Часто за низкою параметрів і характеристик одна з передбачуваних організацій забезпечення ТО і Р може відрізнитися найкраще, а за іншими параметрами – набагато гірше, при цьому коректно обґрунтувати і аргументувати зіставлення параметрів і характеристик не завжди вдається. Саме тому завдання відбору "оптимального" постачальника послуг ТО і Р повинне вирішуватися на основі одночасного й зіставленого обліку всіх аналізованих параметрів і характеристик.

Зрозуміло, що під час такого відбору виникають труднощі порівняння параметрів і характеристик, пов'язані з несумісністю значень окремих параметрів, вимірюваних різнотипними шкалами, лінгвістичними оцінками, якісними й кількісними характеристиками. Наприклад, при формальному використанні методів кваліметрії часто виникають і логічні помилки, наприклад, після ранжирування проводяться математичні операції з балами, так само, як і з числовими значеннями параметрів і характеристик. Зрозуміло, що некоректно використовувати математичні операції зі значенням параметра "Особливості оплати", вимірюваного лінгвістичними характеристиками {"Передо-

плата", "Кредит", "Оплата за результатом"}, у той час коли, наприклад, параметр "Ціна", вимірюється кількісно, дозволяє однозначне порівняння і допускає проведення математичних дій.

Таким чином, рішення проблеми відбору організації з проведення ТО і Р складається, також, і в переході до єдиної шкали вимірювання, але при цьому необхідно зберегти смислове навантаження аналізованих параметрів.

4.3.2. Нами пропонується [7] застосування методів теорії нечітких множин (фазі-логіки). Відомо, що нечіткі системи підтримки прийняття рішень (НСППР) це такі системи, що базуються на використанні нечіткої логіки й нечітких множин [103, 104, 117]. Виділимо основні переваги використання НСППР: а) можливість ефективного функціонування в умовах невизначеності з одночасним оперуванням якісними й кількісними характеристиками; б) ефективне використання експертних знань з урахуванням наближених розмірковувань експертів; в) стійкість рішень в умовах дій на НСППР різноманітних збурень. Підкреслимо, що зараз відсутні типові принципи побудови НСППР, що неуможливорює використання відомих існуючих методів аналізу.

Формалізуємо пропоновану методику. Припустимо, що для аналізу відібрано деякі організації, які надають послуги ТО і Р для суден. Кожна організація з розглянутої їх великої кількості характеризується деякими параметрами, характеристиками, можливостями, описаними в різних шкалах, термінах, розмірностях. Завдання полягає в тому, щоб відібрати з усіх аналізованих організацій найкращу в деякому "інтегрально" – оцінюючому сенсі.

Нехай:

а) $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ – множина n -організацій, з яких потрібно відібрати одну з найкращими параметрами на основі інтегральної оцінки;

б) $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – множина характерних m -параметрів, що описують характеристики й можливості здійснення виробничої діяльності n -організацій з множини O .

Таким чином, необхідно ранжирувати елементи універсальної множини O у порядку інтегральної переваги. Це ранжирування здійснюється шля-

хом порівняння значень множини P характерних параметрів. Зрозуміло, що параметри, характеристики та можливості організацій, представлені у множині P , мають різні способи оцінки – як однозначні числові $ОД$, так і лінгвістичні нечітки $НЧ$. Тому, з метою забезпечення можливості їх об'єктивного порівняння і зіставлення необхідно здійснити перехід від різнотипних оцінок параметрів до параметрів, що вимірюються у одній шкалі розмірностей [116].

Шкалу розмірностей встановимо на інтервалі дійсних чисел від нуля до одиниці: $[0, 1]$. Для кожної організації постачальника послуг з $ТО$ і P 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. Врахуємо, що у фазі-логіці "під нечіткою множиною A розуміється сукупність упорядкованих пар, складених з елементів x універсальної множини X і відповідних ступенів належності $\mu_A(x)$ ". Отже, кожна з організацій o_i , з універсальної множини O , може бути описана не різнорідними значеннями характеристик і параметрів, а низкою відповідних ним числових оцінок $\{\mu_1(o_i), \mu_2(o_i), \dots, \mu_m(o_i)\}$, при цьому вимірюваних на одному загальному інтервалі $[0, 1]$, тобто у відповідних ступенях приналежності. Зрозуміло, що зараз легко для будь-якого параметра $p_j \in P$ знайти характеризуюче значення (наприклад, мінімальне або максимальне) у середині 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.

У операціях з нечіткими множинами [103, 104, 117], за множини приналежностей, які лежать у діапазоні $[0, 1]$, перетин $\cap$ нечіткої множини дає нечітку підмножину з функцією приналежності, що є мінімумом функцій приналежності:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad (4.10)$$

а поєднання $\cup$ нечітких множин дає нечітку підмножину з функцією приналежності, що є максимумом функцій приналежності:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)). \quad (4.11)$$

Для використання зазначених властивостей нечітких множин у результатючих інтегральних оцінках, уявімо нечітку множину, що задана на універсальній множині організацій O :

$$\dot{p}_j = \left\{ \frac{\mu_j(o_1)}{o_1}, \frac{\mu_j(o_2)}{o_2}, \dots, \frac{\mu_j(o_n)}{o_n} \right\}, \quad (4.12)$$

де функція приналежності $\mu_j(o_i)$, характеризує i -організацію на універсальній множині $o \in O$.

Зрозуміло, що ранжирування має відбуватися з урахуванням вагових коефіцієнтів g_j , визначених експертами або за способом "найгіршого значення", який буде описаний нижче (§4.3.3). Тоді

$$\mu_{\dot{p}}(o_i) = \sum_{j=1}^m g_j \cdot \mu_j(o_i), \quad (4.13)$$

де сума усіх (позитивних) вагових коефіцієнтів ($g_1 + g_2 + \dots + g_m = 1$).

Вагові коефіцієнти $g_1, g_2, \dots, g_m$ характеризують вагу (відносну важливість) кожного з параметрів $p_j \in P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ у значенні функції приналежності $\mu_j(o_i)$ в діапазоні значень від нуля до одиниці для кожної організації з множини $o_i \in O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$.

Запишемо:

а) транспоновану матрицю

$$G = [g_1, g_2, \dots, g_m]^T, \quad (4.14)$$

яка є матрицею вагових коефіцієнтів, що характеризують відносну значущість кожного з параметрів;

б) матрицю значень функції приналежності

$$M = \begin{bmatrix} \mu_1(o_1) & \dots & \mu_m(o_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_1(o_n) & \dots & \mu_m(o_n) \end{bmatrix}. \quad (4.15)$$

Тепер, використовуючи теорію матриць, можна записати добуток:

$$M_{\dot{P}} = M \cdot G, \quad (4.16)$$

який є матрицею з елементів множини $M_{\dot{P}} = \{\mu_{\dot{P}}(o_i), \dots, \mu_{\dot{P}}(o_n)\}$, що визначає інтегральну перевагу організації одної перед іншою. Зрозуміло, що організацією з найвищим інтегральним показником буде та, у якій найбільше (максимальне) значення функції приналежності:

$$\mu_{\dot{P}}(o_{opt}) = \max_{o_i \in O} \mu_{\dot{P}}(o_i). \quad (4.17)$$

Зрозуміло, щоб використовувати таку методику визначення найкращої з усіх можливих організацій, яка надає послуги ТО і Р БСДФ, необхідно встановити коефіцієнти важливості (вагові коефіцієнти) параметрів, характеристик і можливостей цих організацій.

4.3.3. Розглянемо експертну методику ідентифікації вагових коефіцієнтів g_j на основі методу "найгіршого значення" [7, 122], що використовує методологію САС. Вважаємо, що сума всіх вагових коефіцієнтів ($g_1 + g_2 + \dots + g_m = 1$) і коефіцієнти g_j будуть розподілятися між організаціями відповідно до встановлених для них рангів (наприклад, табл. 4.4 та табл. 4.7-4.10).

Позначимо ранг R_i , де $i = (1, n)$, як ранг організації з множини $o_i \in O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ відносно параметрів p_j з множини $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, при $j = (1, m)$. Зрозуміло, чим вище ваговий коефіцієнт організації, яка надає ТО і Р БСДФ, тим вище його ранг. Така залежність може бути представлена виразом (4.5), але у найпростішому випадку є також лінією регресії першого порядку. Припустимо, що:

$$g_1 \cdot R_1^{-1} = g_2 \cdot R_2^{-1} = g_3 \cdot R_3^{-1} = \dots = g_l \cdot R_l^{-1} = \dots = g_n \cdot R_n^{-1}, \quad (4.18)$$

где o_l – найгірша l -та організація з множини за O за деяким j -м параметром з множини P , з рангом R_l та ваговим коефіцієнтом g_l . Використав ранг виділеної найгіршої організації за параметром p_j та за допомогою (4.18), визначимо інші вагові коефіцієнти – через ранги організацій з множини $o_i \in \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$:

$$g_1 = R_l \cdot g_l \cdot R_l^{-1} = g_l; \quad g_2 = R_2 \cdot g_l \cdot R_l^{-1}; \quad \dots; \quad g_n = R_n \cdot g_l \cdot R_l^{-1}. \quad (4.19)$$

Таким чином, за допомогою отриманих виразів можна визначити вагові коефіцієнти всіх організацій, використовуючи їхню відносність до рангу найгіршої за даним параметром з конкуруючих організацій забезпечення ТО і Р БСДФ (див. табл. 4.2, рис. 4.1, табл. 4.11). Для ілюстрації можливостей методики, розглянемо найпростіший приклад.

Таблиця 4.11. Визначення рангу організації для кожного i -го параметра щодо найгіршого значення (l)

Нечітке значення	Ранг для відношення R_i/R_l
Якщо p_i дорівнює p_l	1 і менше
Проміжне значення	2
Якщо p_i незначно краще, ніж p_l	3
Проміжне значення	4
Якщо p_i краще, ніж p_l	5
Проміжне значення	6
Якщо p_i значно краще, ніж p_l	7
Проміжне значення	8
Якщо p_i абсолютно краще, чем p_l	9 і більше

Нехай є шість конкуруючих організацій, які пропонують послуги ТО і Р БСДФ, що описані множиною $\{o_1, o_2, \dots, o_6\}$. Встановимо дев'ять параметрів і характеристик, за якими проводиться оцінка реальних можливостей організацій: $\{p_1, p_2, \dots, p_9\}$.

Фактичний опис параметрів представлений у табл. 4.12. Слід ще раз підкреслити, що під час аналізу даних табл. 4.12 необхідно спільно обробляти дані кількісної шкали відносин ("Строки" і "Вартість") і дані якісних шкал порядку ("Якість", "Фінансовий стан", "Віддаленість" й ін.).

Тобто, якщо для кількісної шкали допустимі логіко-арифметичні операції, то для якісної шкали і шкали найменувань застосовувати арифметичні операції принципово неможна. Наприклад, для параметрів, виражених у шкалі найменувань допустимо тільки порівняння (Так/Ні), а для якісної шкали тільки нечіткої логіки. Так, встановлені значення параметрів (див. табл. 4.11- 4.13) для конкуруючих організацій наведені у табл. 4.13.

За допомогою наведених виразів можна визначити вагові коефіцієнти всіх організацій, використовуючи їхню відносність до рангу найгіршої (табл.4.11) за даним параметром з множин конкуруючих організацій забезпечення ТО і Р БСДФ (табл. 4.14).

Таблиця 4.12. Параметри оцінювання організацій забезпечення ТО і Р

Пара-метр	Опис параметра, 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 й 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. Поганий; Низький; Середній; Високий; Дуж. Гарний}

Таблиця 4.13. Параметри оцінки організації щодо забезпечення ТО і Р

Пара-метр	Організація					
	o_1	o_2	o_3	o_4	o_5	o_6
	Оцінка організацій з забезпечення ТО і Р					
p_1	Середній	Високий	Середній	Дуж. високий	Високий	Дуж. високий
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	Середній	Середній	Високий	Дуж. високий	Дуж. високий	Середній
p_6	За фактом	Кредит	За фактом	Передоплата	Передоплата	За фактом
p_7	Середній	Середній	Середній	Високий	Середній	Дуж. високий
p_8	Дуж. близько	Недалеко	Недалеко	Дуж. далеко	Недалеко	Далеко
p_9	Середній	Високий	Середне	Дуж. гарне	Високий	Середній

Таблиця 4.14. Найгірший параметр і відповідний ранг

Пара- метр	Організації					
	o_1	o_2	o_3	o_4	o_5	o_6
	Ранг організацій з 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

У табл. 4.14, за кожним з оцінюваних параметрів, виділений найгірший (НП) з множини P і встановлений відповідний ранг.

Параметр p_1 . Найгірше його значення (4) у організації o_1 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_1 організації o_1 :

$$g_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{4}{4 + 7 + 5 + 9 + 8 + 10} \right) = 0,093.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 4 \cdot 0,093 / 4 = 4 \cdot 0,0232 = 0,093;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 7 \cdot 0,0232 = 0,162; \quad g_3 = R_3 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 5 \cdot 0,0232 = 0,116;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 9 \cdot 0,0232 = 0,208; \quad g_5 = R_5 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 8 \cdot 0,0232 = 0,186;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 10 \cdot 0,0232 = 0,232.$$

Параметр p_2 . Найгірше його значення (5) у організації o_4 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_2 організації o_4 :

$$g_4 = \left(\frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{5}{7 + 7 + 8 + 5 + 6 + 7} \right) = 0,125.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 7 \cdot 0,125 / 5 = 7 \cdot 0,025 = 0,175;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 7 \cdot 0,025 = 0,175; \quad g_3 = R_3 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 8 \cdot 0,025 = 0,2;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 5 \cdot 0,025 = 0,125; \quad g_5 = R_5 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 6 \cdot 0,025 = 0,15;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 7 \cdot 0,025 = 0,175.$$

Параметр p_3 . Найгірше його значення (6) у організації o_6 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_3 організації o_6 :

$$g_6 = \left(\frac{R_6}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{6}{9 + 8 + 8 + 7 + 7 + 6} \right) = 0,133.$$

Згідно (4. 19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 9 \cdot 0,133 / 6 = 9 \cdot 0,022 = 0,2;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 8 \cdot 0,022 = 0,177; \quad g_3 = R_3 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 8 \cdot 0,022 = 0,177;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 7 \cdot 0,022 = 0,155; \quad g_5 = R_5 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 7 \cdot 0,022 = 0,155;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 6 \cdot 0,022 = 0,133.$$

Параметр p_4 . Найгірше його значення (4) у організації o_6 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_4 організації o_6 :

$$g_6 = \left(\frac{R_6}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{4}{9 + 9 + 8 + 5 + 7 + 4} \right) = 0,095.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 9 \cdot 0,095 / 4 = 9 \cdot 0,024 = 0,214;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 9 \cdot 0,024 = 0,214; \quad g_3 = R_3 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 8 \cdot 0,024 = 0,192;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 5 \cdot 0,024 = 0,12; \quad g_5 = R_5 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 7 \cdot 0,024 = 0,168;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_6 \cdot R_6^{-1} = 4 \cdot 0,024 = 0,095.$$

Параметр p_5 . Найгірше його значення (7) у організації o_2 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_5 організації o_2 :

$$g_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{7}{8 + 7 + 9 + 10 + 10 + 8} \right) = 0,135.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 8 \cdot 0,135 / 7 = 8 \cdot 0,019 = 0,153;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 7 \cdot 0,019 = 0,135; \quad g_3 = R_3 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 9 \cdot 0,019 = 0,171;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 10 \cdot 0,019 = 0,19; \quad g_5 = R_5 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 10 \cdot 0,019 = 0,19;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 8 \cdot 0,019 = 0,153.$$

Параметр p_6 . Найгірше його значення (2) у організації o_4 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_6 організації o_4 :

$$g_4 = \left(\frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{2}{10 + 7 + 10 + 2 + 3 + 10} \right) = 0,048.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 10 \cdot 0,048 / 2 = 10 \cdot 0,024 = 0,24;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 7 \cdot 0,024 = 0,168; \quad g_3 = R_3 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 10 \cdot 0,024 = 0,24;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 2 \cdot 0,024 = 0,048; \quad g_5 = R_5 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 3 \cdot 0,024 = 0,072;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 10 \cdot 0,024 = 0,24.$$

Параметр p_7 . Найгірше його значення (2) у організації o_2 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_7 організації o_2 :

$$g_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{7}{8 + 7 + 8 + 9 + 8 + 10} \right) = 0,140.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 8 \cdot 0,140 / 7 = 8 \cdot 0,02 = 0,16;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 7 \cdot 0,02 = 0,14; \quad g_3 = R_3 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 8 \cdot 0,02 = 0,16;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 9 \cdot 0,02 = 0,18; \quad g_5 = R_5 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 8 \cdot 0,02 = 0,16;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_2 \cdot R_2^{-1} = 10 \cdot 0,02 = 0,20.$$

Параметр p_8 . Найгірше його значення (2) у організації o_4 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_8 організації o_4 :

$$g_4 = \left(\frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{2}{10 + 9 + 9 + 2 + 9 + 4} \right) = 0,046.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 10 \cdot 0,046 / 2 = 10 \cdot 0,023 = 0,23;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 9 \cdot 0,023 = 0,207; \quad g_3 = R_3 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 9 \cdot 0,023 = 0,207;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 2 \cdot 0,023 = 0,046; \quad g_5 = R_5 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 9 \cdot 0,023 = 0,207;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_4 \cdot R_4^{-1} = 4 \cdot 0,023 = 0,092.$$

Параметр p_9 . Найгірше його значення (6) у організації o_1 . Найгірший ваговий коефіцієнт за параметром p_9 організації o_1 :

$$g_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \right) = \left(\frac{6}{6+10+7+9+10+7} \right) = 0,122.$$

Згідно (4.19), вагові коефіцієнти інших організацій:

$$g_1 = R_1 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 6 \cdot 0,122 / 6 = 6 \cdot 0,0203 = 0,122;$$

$$g_2 = R_2 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 10 \cdot 0,0203 = 0,203; \quad g_3 = R_3 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 7 \cdot 0,0203 = 0,142;$$

$$g_4 = R_4 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 9 \cdot 0,0203 = 0,183; \quad g_5 = R_5 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 10 \cdot 0,0203 = 0,203;$$

$$g_6 = R_6 \cdot g_1 \cdot R_1^{-1} = 7 \cdot 0,0203 = 0,142.$$

За допомогою розрахованих коефіцієнтів вагу всіх організацій для всіх прийнятих параметрів оцінки, записуємо нечіткі множини, що інтегрально характеризують універсальні нечіткі множини організацій, які забезпечують ТО і Р БСДФ:

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= \left\{ \frac{0,093}{o_1}, \frac{0,162}{o_2}, \frac{0,116}{o_3}, \frac{0,208}{o_4}, \frac{0,186}{o_5}, \frac{0,232}{o_6} \right\}; \quad \dot{p}_2 = \left\{ \frac{0,175}{o_1}, \frac{0,175}{o_2}, \frac{0,2}{o_3}, \frac{0,125}{o_4}, \frac{0,15}{o_5}, \frac{0,175}{o_6} \right\}; \\ \dot{p}_3 &= \left\{ \frac{0,2}{o_1}, \frac{0,177}{o_2}, \frac{0,177}{o_3}, \frac{0,155}{o_4}, \frac{0,155}{o_5}, \frac{0,133}{o_6} \right\}; \quad \dot{p}_4 = \left\{ \frac{0,214}{o_1}, \frac{0,214}{o_2}, \frac{0,192}{o_3}, \frac{0,12}{o_4}, \frac{0,168}{o_5}, \frac{0,095}{o_6} \right\}; \\ \dot{p}_5 &= \left\{ \frac{0,153}{o_1}, \frac{0,135}{o_2}, \frac{0,171}{o_3}, \frac{0,19}{o_4}, \frac{0,19}{o_5}, \frac{0,153}{o_6} \right\}; \quad \dot{p}_6 = \left\{ \frac{0,24}{o_1}, \frac{0,168}{o_2}, \frac{0,24}{o_3}, \frac{0,048}{o_4}, \frac{0,072}{o_5}, \frac{0,24}{o_6} \right\}; \\ \dot{p}_7 &= \left\{ \frac{0,16}{o_1}, \frac{0,14}{o_2}, \frac{0,16}{o_3}, \frac{0,18}{o_4}, \frac{0,16}{o_5}, \frac{0,20}{o_6} \right\}; \quad \dot{p}_8 = \left\{ \frac{0,23}{o_1}, \frac{0,207}{o_2}, \frac{0,207}{o_3}, \frac{0,046}{o_4}, \frac{0,207}{o_5}, \frac{0,092}{o_6} \right\}; \\ \dot{p}_9 &= \left\{ \frac{0,122}{o_1}, \frac{0,203}{o_2}, \frac{0,142}{o_3}, \frac{0,183}{o_4}, \frac{0,203}{o_5}, \frac{0,142}{o_6} \right\}. \end{aligned}$$

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 до виразу (4.12), є нечітка множина

$$\cap P = \left\{ \frac{0,093}{o_1}, \frac{0,135}{o_2}, \frac{0,116}{o_3}, \frac{0,046}{o_4}, \frac{0,072}{o_5}, \frac{0,092}{o_6} \right\}. \quad (4.20)$$

Останній вираз містить значення ступенів приналежності організацій до найкращого інтегрального значення. Згідно (4.20), рейтинги організацій, що забезпечують ТО і Р розподілені наступним чином (табл. 4.15, рис. 4.2).

Таблиця 4.15. Визначені результуючі рейтинги організацій щодо спроможності 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

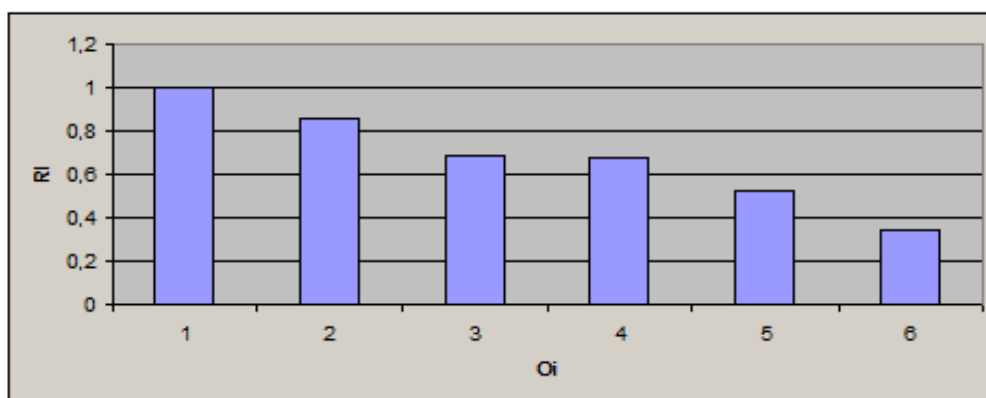


Рис. 4.2. Діаграма розподілу результуючих рейтингів організацій щодо забезпечення ТО і Р БСДФ ЛК

Зрозуміло, що у реальному оцінюванні слід використовувати набагато більшу кількість (від 30 до 60) параметрів, факторів, характеристик і можливостей аналізованих організацій, які необхідно урахувати.

Представлена методика добре формалізована, реалізована у середовищі *Microsoft Excel*, та апробована низкою тестових прикладів.

Висновки до четвертого розділу

1. Представлену методику інтегрального оцінювання якості апробовано під час аван-проектування БСДФ ЛК. Методика доводить можливість:

а) формулювання цілеспрямованих вказівок розробникам, проектувальникам та ремонтно-експлуатаційним службам – з метою подальшого покращення окремих показників запропонованих рішень;

б) доказового і аргументованого відбору найкращих, із декількох можливих, варіантів закупівель обладнання, комплектуючих, матеріалів, відбору виконавців проекту та створення БСДФ, тобто виконання функції підтримки прийняття рішень.

2. Показана можливість застосування у системах підтримки прийняття рішень різнорідних інтегрованих показників, сформульованих експертами. Передбачено застосування запропонованої методики у таких системах підтримки прийняття рішень, де використовуються специфічні оцінки технічних, технологічних, еколого-економічних проектів, продукції подвійного призначення, спеціальних транспортних засобів, а також під час проведення тендерних закупівель, під час вирішення завдань забезпечення ТО і Р, організації еколого-економічних експертиз.

3. Наведено приклад інтегрованої оцінки якості одного варіанту проекту транспортного засобу подвійного призначення – БСДФ ЛК. Відмінність представленої методики від відомих є в удосконаленні процедури визначення і розрахунку різнорідних інтегрованих показників, які оцінюють якість конкуруючих проектів, продукції, обладнання, тендерних пропозицій тощо, що засновано на адитивному використанні методів кваліметрії, експертних оцінок і лінгвістичних висловлювань – методах нечіткої логіки.

РОЗДІЛ 5. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИМ СУДНОМ

5.1 Ідентифікація параметрів багатоцільового судна

Необхідність підвищення безпеки мореплавання й експлуатаційних показників морських суден призвела до створення різних типів автокермових (АК). Сучасні автокермові забезпечують не лише ефективну стабілізацію курсу судна, але й самоналаштування параметрів системи управління курсом при змінах стану судна (опаді, виду вантажу) і умов плавання (швидкості, погоди, глибини). У результаті їх роботи здійснюється стабілізація руху судна на заданому курсі за мінімальних втратах потужності суднової енергетичної установки (СЕУ) на управління (втрати ризику). Такий електро-навігаційний прилад, як автокермовий:

- а) автоматично утримує судно на заданому курсі;
- б) забезпечує перехід судна з курсу на курс із заданим радіусом або швидкістю;
- в) здійснює керування рухом судна на заданій траєкторії при роботі з електронною картографічною навігаційно-інформаційною системою (ЕК-НІС).

Сучасні системи автоматичного управління курсом (САУК) дозволяють скоротити втрати ходового часу на 3-4 %, збільшити провізну спроможність судна і знизити витрату палива за рейс на 3-6 %.

Відомо, що функціонування будь-якої САУК ґрунтується на математичній моделі динаміки кермового управління судном [123-128]. Зрозуміло, чим точніше математична модель буде описувати реальні умови руху судна, тим ефективніше можна синтезувати САУК, тим менше результуючі втрати енергетичної установки судна [128-130] і тим вища експлуатаційна ефективність судна.

На даний час теорія управління судном досить добре розвинена і дозволяє побудувати адекватні фізичним процесам руху судна математичні моделі [131, 132]. Найбільш повна математична модель судна зазвичай ґрунтується на шести ступенях свободи руху твердого тіла у просторі і застосовується, наприклад, у різного типу тренажерах.

Стосовно до задачі управління рухом судна при його експлуатації, зазвичай розглядають його рух у горизонтальній площині. Часто вважають, що зміни крену, диференту і середньої осадки не надають помітного впливу на характеристики руху судна. При такому підході зазвичай обмежуються чотирма наступними рівняннями.

$$\left. \begin{aligned} (m + \lambda_{11}) \cdot \frac{dV}{dt} \cos \alpha_n - (m + \lambda_{11}) \frac{d\alpha_n}{dt} \cdot V \cdot \sin \alpha_n + (m + \lambda_{22}) \cdot V \cdot \omega \cdot \sin \alpha_n - \\ - \lambda_{26} \cdot \omega^2 = R_{ax} + R_{px} + R_{zx} + P_e + \sum R_x; \\ (m + \lambda_{22}) \cdot \frac{dV}{dt} \sin \alpha_n - (m + \lambda_{22}) \frac{d\alpha_n}{dt} \cdot V \cdot \cos \alpha_n + (m + \lambda_{11}) \cdot V \cdot \omega \cdot \cos \alpha_n + \\ + \lambda_{26} \cdot \frac{d\omega}{dt} = R_{ay} + R_{py} + R_{zy} + R_e + \sum R_y; \\ (I_z + \lambda_{66}) \cdot \frac{d\omega}{dt} - (\lambda_{11} - \lambda_{22}) \cdot V^2 \cdot \sin \alpha_n \cdot \cos \alpha_n + \lambda_{26} \cdot V \cdot \omega \cdot \cos \alpha_n - \\ - \lambda_{26} \cdot V \cdot \frac{d\alpha_n}{dt} \cos \alpha_n - \lambda_{26} \cdot \frac{dV}{dt} \sin \alpha_n = (R_e + R_{py}) \cdot \ell_p + M_\Gamma + M_a + \sum M; \\ (I_e + \lambda_e) \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{1}{2\pi} (M_e - M_d) \end{aligned} \right\},$$

де t – час; P_e – сила упору гвинта; R_e – бічна сила гвинта; R_{gx} , R_{ax} , R_{px} – продольні складові гідродинамічної, аеродинамічної сил та сили на кермі; R_{gy} , R_{ay} , R_{py} – поперечні складові тих самих сил; M_Γ , M_a , M_{6c} , $(R_v + R_{py}) \cdot \ell_p$, M_p – моменти гідро- та аеродинамічної сил, бічної сили гвинта і моменту керма; λ_{11} , λ_{12} , λ_{26} , λ_{66} – приєднанні маси корпусу судна; n – частота обертання гребного гвинта; $\sum R_x$, $\sum R_y$, $\sum M$ – додаткові сили (сили, зумовлені роботою буксирів, швартових канатів, підкермових пристроїв, від взаємодії корпусу судна з причалом або іншими суднами); M_e і M_d – моменти гребних гвинтів і опору руху (див. рис. 5.1) [131, 132].

Перші три диференціальних рівняння цієї системи описують плаский рух судна, а четверте – роботу рушійних пристроїв, системи "двигун - рушій - корпус судна". Рішення наведеної системи рівнянь дає можливість обчислювати положення центра ваги на площині і напрям його переміщення (ψ_k).

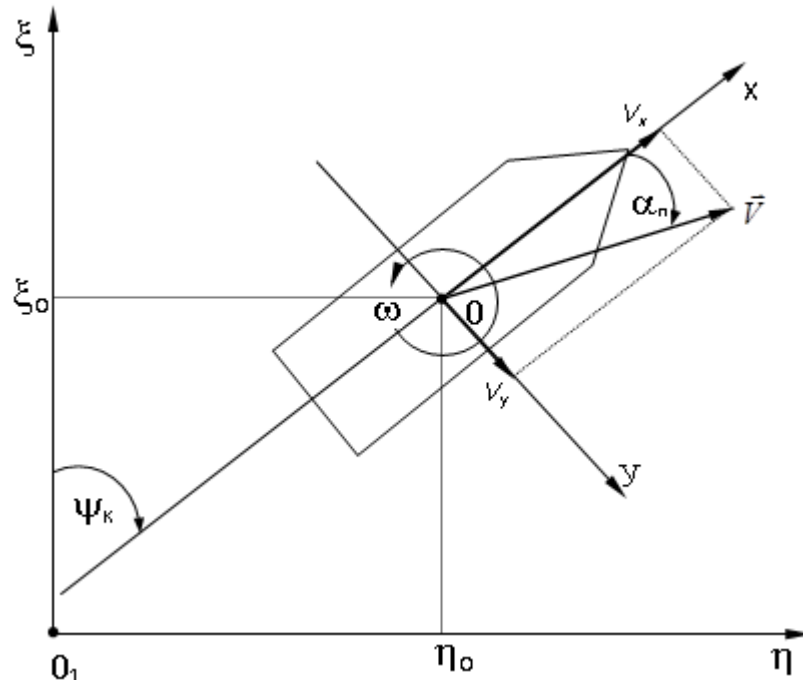


Рис. 5.1. Системи координат та параметри положення судна

Однак, система управління (зокрема – керуючі контролери), що синтезується на основі такої системи рівнянь, виходить громіздкою і багато у чому - надлишковою, з невиправдано гострою реакцією на швидкозмінні зовнішні впливи. Компроміс між складністю математичної моделі (математичного опису) й адекватністю моделі реальним фізичним процесам привів до розвитку спрощених математичних описів руху судна.

Міжнародна морська організація розробила і прийняла резолюцію A.751 (18), що регламентує необхідність використання математичних моделей судна під час вирішення практичних завдань, що лежать у галузі безпеки судноводіння [133]. У результаті застосування резолюції A.751 (18) на декількох Міжнародних конференціях опитових басейнів (наприклад, на 14-й конференції), рекомендовані для практичного використання у автокермових спрощені математичні моделі судна – моделей Номото першого і другого порядку [134, 135].

Але модель Номото першого порядку вкрай спрощена і часто застосовується для повірочних (оціночних, попередніх) розрахунків.

Модель Номото другого порядку [134, 135] більш ефективна на практиці й описується диференціальним рівнянням:

$$T_1 \cdot T_2 (d^2 \omega / dt^2) + (T_1 + T_2) (d\omega / dt) + \omega + H(\omega) = K \cdot \alpha_r + K T_3 (d\alpha_r / dt) \quad (5.1)$$

де ω – кутова частота (кутова швидкість) судна;

$H(\omega) = v_1 |\omega| \omega + v_2 \omega^3$ – нелінійна функція кутової частоти;

$T_1, T_2, T_3, K, v_1, v_2$ – параметри математичної моделі;

α_r – кут перекладки керма.

Практичне використання такої моделі (синтез керуючих контролерів для системи стабілізації курсу) вкрай ускладнено у зв'язку з необхідністю знання для конкретного судна основних параметрів моделі (5.1): $T_1, T_2, T_3, K, v_1, v_2$.

Одне з простих рішень цієї задачі ідентифікації параметрів рівняння (5.1) і методики ідентифікації параметрів моделі судна представлені далі.

Ідентифікації параметрів різних математичних моделей судна, у тому числі – нелінійної моделі (5.1) Номото, присвячена дуже велика кількість публікацій, наприклад, [134-139]. Це підтверджує важливість і актуальність досліджень, пов'язаних з ідентифікацією параметрів моделей Номото.

Аналіз зазначених та інших [140, 141] публікацій показує, що автори досліджень використовують найрізноманітніші експериментальні дані й різноманітний математичний апарат ідентифікації. Це статистичний аналіз, нейро-нечітка ідентифікація і моделювання, розкладання у періодичні функції, апроксимація різного виду й багато інших методів.

У Резолюціях *IMO A.160 (ES.IV), A.209 (VII), A.609 (15)* говориться про необхідність забезпечення кожного з суден об'єктивними даними про його маневрені характеристики. Резолюція *IMO A.751 (18)* вже конкретно рекомендує використовувати для забезпечення безпечного мореплавання і побу-

дови систем управління такі параметри маневрених якостей, як поворотність, рисклівість, стійкість на курсі, характеристики гальмування [133].

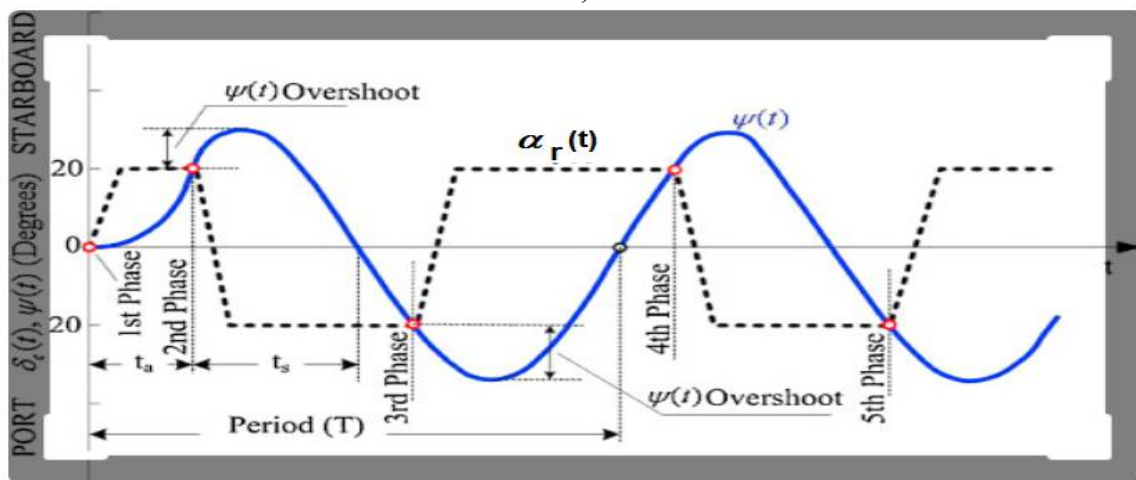
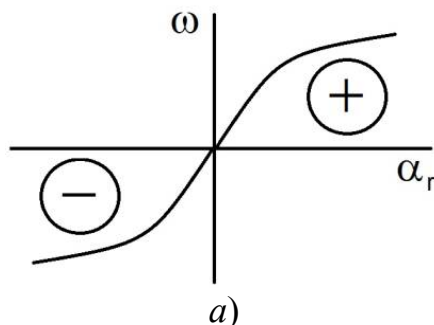
Маневрені якості визначаються для кожного судна, загалом, експериментальним шляхом, а всі основні результати випробувань знаходяться у виробника судна й у судовій документації.

Саме цей факт дозволяє використовувати наявні на кожному судні (або на судні подібного проекту) результати випробувань, такі як встановлена частота циркуляції і "зигзаг 10-10" або "зигзаг 20-20" [6, 18, 137-141].

5.2 Особливості пропонованої методики ідентифікації параметрів нелінійної моделі Номото другого порядку

Нехай є дві експериментальні характеристики:

- а) статична залежність сталої кутової частоти циркуляцій ω у функції кута перекладки керма α_r (діаграма керованості, рис. 5.2, а);
- б) результати маневреного випробування "зигзаг" (рис. 5.2, б).



б)

Рис. 5.2. Діаграми: а) керованості, спрощена; б) "зигзаг 20-20"

Відзначимо, що такі характеристики можуть бути отримані і у опитовому басейні – за допомогою зменшеної копії судна, або – за допомогою повномасштабного, що враховує гідродинаміку судна, моделювання, наприклад, *DMI*.

З аналізу рівняння (5.1) 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 (рис. 5.1) отримати вираз:

$$v_2\omega_i^3 + v_1\omega_i^2 + \omega = K\alpha_{ri} \quad (5.2)$$

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

$$v_2\omega_i^2 / K + v_1\omega_i / K + 1 / K = \alpha_{ri} / \omega_i \quad (5.3)$$

Підставивши у (5.3) декілька різних значень частоти ω_i для відповідних кутів перекладки керма, наприклад, 2, 4, 6, ..., 30 градусів, отримаємо перевизначену систему з n -лінійних алгебраїчних рівнянь з трьома невідомими v_2/K , v_1/K и $1/K$, причому $n > 3$.

Це перевизначена, надлишкова система (*RS – Redefined System* або *OS – Overdetermined System*) і вона не має точного класичного рішення.

Відомі квазі-рішення перевизначених систем різного виду. Наприклад, одне з можливих рішень засноване на використанні методу найменших квадратів – методі Лагранжа [142, 143]. Результатом такого рішення може бути деякий апроксимуючий вираз. Графічне рішення являє собою криву, яка не проходить через експериментальні точки усталеної кутової частоти циркуляцій ω у функції кута перекладки керма α_r .

Потрібно підкреслити, що у той же час рішення на основі метода Лежандра повністю відображає експериментальну залежність, представлену на рис. 5.1, згладжуючи тим самим похибки (викиди, шуми) експерименту.

Отже, таким чином ми знаходимо три невідомі параметра рівняння (5.1) – K , v_1 , v_2 .

Необхідно знайти ще три сталі часу T_1 , T_2 і T_3 .

Проведемо оцінку шуканих сталих часу у такий спосіб.

Аналізуємо вид експериментальної залежності "зигзаг" (рис. 5.2.) – залежність курсового кута ψ у функції кута α_r перекладки керма. Можна помітити, що для усталеного режиму (виключаючи перші коливання) обидві залежності нелінійні, періодичні та практично симетричні щодо вісі часу.

Використовуємо для ідентифікації трьох сталих часу метод розкладання у ряд Фур'є вхідного α_r і вихідного ψ сигналів. Для цього призначимо головний період $T = 1/\omega_1$, виходячи з графіку, наведеного на рис. 5.2.

Обмежимося трьома першими непарними гармоніками розкладання: першою (основною), третьою і п'ятою.

У результаті розкладання у ряди Фур'є 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 ω_1 , $\omega_3 = 3\omega_1$ і $\omega_5 = 5\omega_1$.

За аналогією, у результаті розкладання у ряди, отримуємо для вихідного сигналу 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:

$$\left. \begin{aligned} K_1 \cdot e^{j\alpha_1} &= \frac{B_{1\psi}}{A_{1r}} \cdot e^{j(\phi_{1\psi} - \phi_{1r})}; \\ K_3 \cdot e^{j\alpha_3} &= \frac{B_{3\psi}}{A_{3r}} \cdot e^{j(\phi_{3\psi} - \phi_{3r})}; \\ K_5 \cdot e^{j\alpha_5} &= \frac{B_{5\psi}}{A_{5r}} \cdot e^{j(\phi_{5\psi} - \phi_{5r})}. \end{aligned} \right\} \quad (5.4)$$

Для режиму малих відхилень можна знехтувати в (5.1) нелінійним членом $H(\omega)$. Тоді отримаємо:

$$T_1 \cdot T_2 (d^2 \omega / dt^2) + (T_1 + T_2) (d\omega / dt) + \omega = K \cdot \alpha_r + K T_3 (d\alpha_r / dt) \quad (5.5)$$

Передаточна функція, що відповідна виразу (5.5), буде мати вигляд:

$$W(s) = \frac{\omega(s)}{\alpha_r(s)} = \frac{(T_3 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}. \quad (5.6)$$

Зрозуміло, що після переходу в частотну область (провівши формальну заміну $s = j\omega$), нескладно записати з (5.4) і (5.6) систему з трьох рівнянь з трьома невідомими T_1 , T_2 і T_3 :

$$\left. \begin{aligned} W_1(j\omega) &= \frac{(T_3 j\omega_1 + 1)}{(T_1 j\omega_1 + 1)(T_2 j\omega_1 + 1)} = K_1 \cdot e^{j\alpha_1}; \\ W_3(j\omega) &= \frac{(T_3 j3\omega_1 + 1)}{(T_1 j3\omega_1 + 1)(T_2 j3\omega_1 + 1)} = K_3 \cdot e^{j\alpha_3}; \\ W_5(j\omega) &= \frac{(T_3 j5\omega_1 + 1)}{(T_1 j5\omega_1 + 1)(T_2 j5\omega_1 + 1)} = K_5 \cdot e^{j\alpha_5}. \end{aligned} \right\} \quad (5.7)$$

Така система (5.7) легко вирішується сучасними обчислювальними засобами. Наприклад, в середовищі *Matlab* рішення системи рівнянь (5.7) здійснюється командою $[T1, T2, T3] = \text{solve}(\dots)$ і в результаті знаходяться шукані значення T_1 , T_2 і T_3 .

5.3 Побудова розрахункової математичної моделі БСДФ ЛК для режиму стабілізації курсу

Для побудови математичної моделі, що дозволяє провести верифікацію результатів ідентифікації параметрів виразу (5.1) скористаємося засобами *Matlab/Simulink*.

Matlab/Simulink – графічне середовище імітаційного моделювання. Це середовище дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів, будувати математичні моделі динамічних систем, включаючи дискретні, безперервні, гібридні, нелінійні та розривні системи, проводити Фур'є-аналіз та інші математичні обчислення і дії.

Верифікацію результатів ідентифікації параметрів (5.1) здійснимо за допомогою зіставлення результатів. Верифікацію проводимо на основі порівняння результатів комп'ютерного експерименту "зигзаг 10-10" (отрима-

них на повномасштабній *DMI*-моделі судна) і відповідних результатів математичного моделювання у середовищі *Matlab/Simulink*.

Де-які фрагменти відображення результатів моделювання руху БСДФ ЛК (основні елементи спрощеної конструкції), за допомогою демоверсії середовища *SSM v.4 Demo (Ship Sim Motion)*, наведені на рис. 5.3.

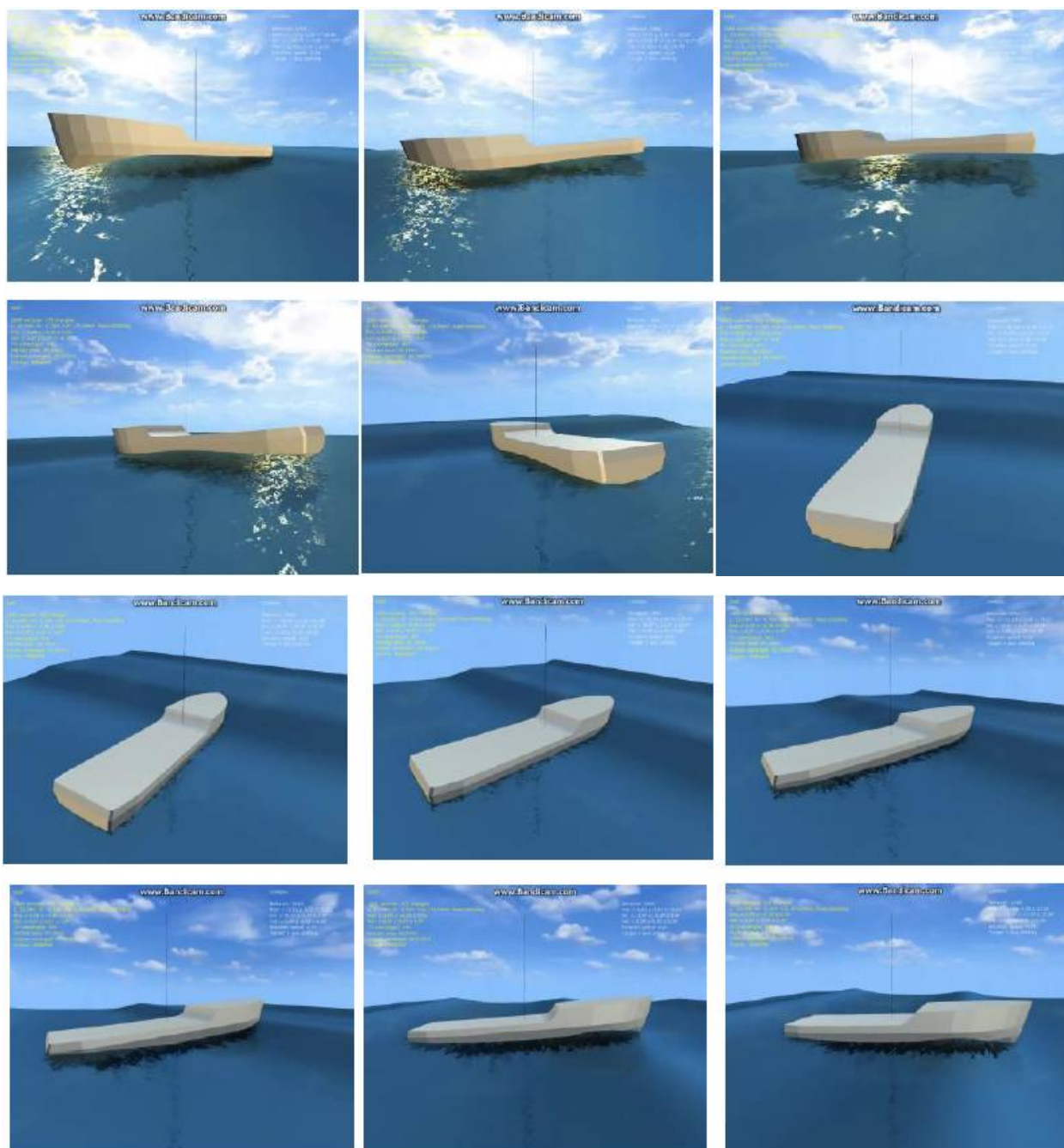


Рис. 5.3. Фрагменти результатів моделювання руху спрощеної конструкції БСДФ ЛК у середовищі *SSM v.4 Demo*

Основні результати комп'ютерного експерименту "зигзаг 10-10" представимо у вигляді таблиць поданих у функції часу, з апроксимацією проміжних значень (рис. 5.4), що робиться у *Matlab/Simulink* за допомогою 1D таблиць типу *Look up Table*.

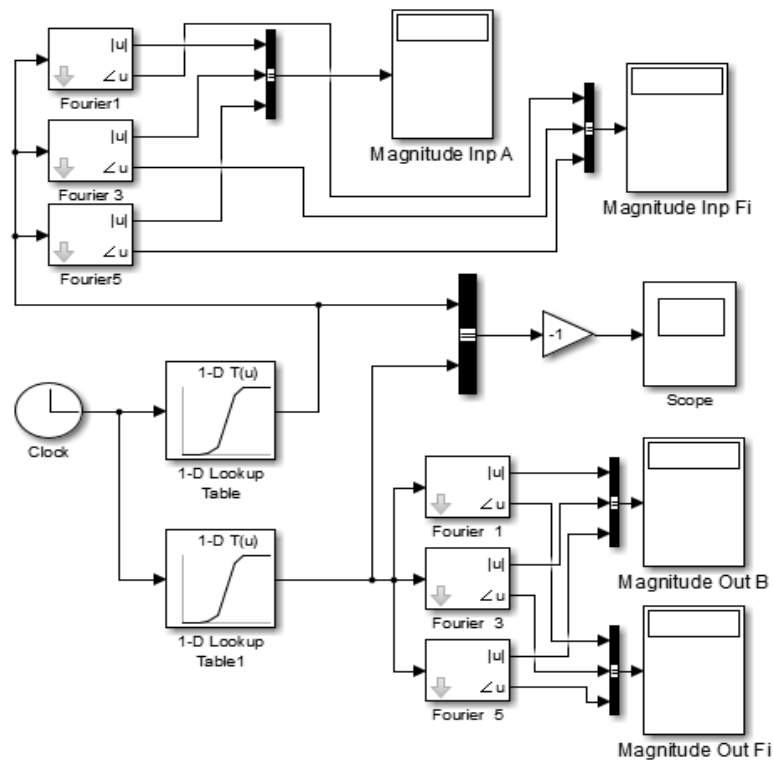


Рис. 5.4. Фур'є-аналіз результатів експерименту "зигзаг"

Далі представимо (5.6) у вигляді:

$$W(s) = \frac{\omega(s)}{\alpha_r(s)} = \frac{(T_3s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} = \frac{(T_3s + 1)}{(T_1 \cdot T_2s^2 + (T_1 + T_2)s + 1)}. \quad (5.8)$$

Теорія автоматичного управління і регулювання, наприклад, дозволяє уявити вирази, подібні (5.8), у вигляді блок-діаграми (структурної схеми).

Причому структурна схема у формі Коші містить тільки блоки інтегрування, алгебраїчного підсумовування і пропорційного посилення.

Зрозуміло, що за такого представлення нескладно врахувати відкинуту раніше у (5.6) нелінійний вираз $H(\omega)$.

Крім того, у математичній моделі врахуємо, що:

а) курсовий кут визначається інтегруванням кутової частоти ω ;

б) перекладки керма α_r у потрібний момент часу, згідно алгоритму управління "зигзаг", моделюються елементом "петля гістерезису" – "Relay block";

в) динаміку кермової машини, що обмежує швидкість повороту керма, представимо у вигляді підсистеми *Subsystem*.

З урахуванням сказаного, структурна схема математичної моделі, яка описує експеримент "зигзаг" у середовищі *Matlab/Simulink*, наведена на рис. 5.5. У схемі ураховано перехід "рад/с - градуси".

На рис. 5.6 приведена структурна схема блоку *Subsystem*, що імітує динаміку кермової машини.

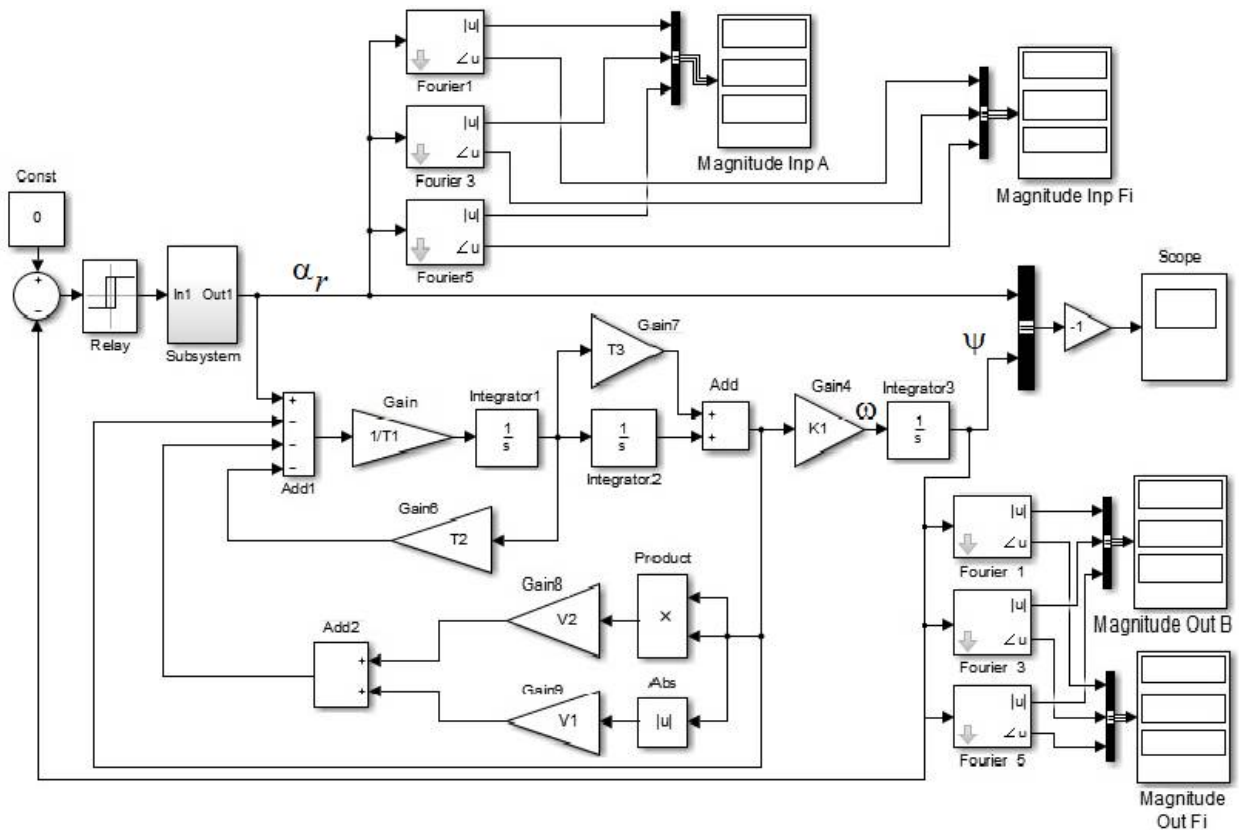


Рис. 5.5. Структурна схема, що описує експеримент "зигзаг" і Фур'є-аналіз

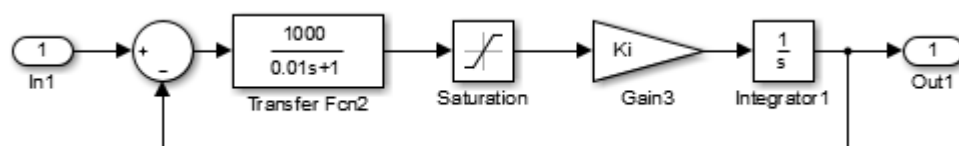


Рис. 5.6. Підсистема (рис. 5.5, *Subsystem*): структурна схема моделі кермової машини БСДФ ЛК

Результати моделювання. У якості вихідних даних узяті параметри БСДФ ЛК (див. розд. 3): $L_{квл} = 70,50$ м; $d_m = 3,50$ м; $\delta = 0,664$; $\beta = 0,903$; $\alpha = 0,858$; $S = 1240$ м²; $V = 2...20$ вузл; $W = 2864$ м³; $N = 4600$ кВт.

За допомогою повномасштабного тренажеру динаміки суден Національного університету "Одеська морська академія", для DMI-моделі багатопільового судна криголамного типу проведені комп'ютерні експерименти і побудовані:

- а) статична залежність сталої кутової частоти циркуляцій ω у функції кута перекладки керма α_r (діаграма керованості);
- б) маневрене випробування "зигзаг 10-10".

Результати маневреного випробування представлені у вигляді відповідних таблиць, внесених у стандартні блоки *Look up Table*, що входять до складу середовища моделювання *Matlab/Simulink*.

Входом таблиць є таймер модельного часу *Clock*, виходами – кут перекладки керма і курсовий кут (рис. 5.4, рис. 5.5)

Обробка результатів відповідно до виразу (5.3) та подальшого вирішення надлишкової системи рівнянь дозволили ідентифікувати значення K , v_1 , v_2 .

Моделювання маневреного випробування "зигзаг 10-10" на основі таблиць *Look up Table* (рис. 5.4) з обробкою результатів Фур'є-аналізу за (5.7) та подальшого рішення цієї системи ($[T_1, T_2, T_3] = \text{solve}(\dots)$), дозволили знайти члени рівняння (5.1) – T_1 , T_2 і T_3 , що залишалися невідомими.

На цій основі побудована модель (5.1), що наведена на рис. 5.5, а її параметри наведені у табл. 5.1

Таблиця 5.1. Ідентифіковані параметри БСДФ ЛК

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

Швидкість наростання зміни повороту рульової машини складає 3 град/с.

На (рис. 5.7) наведені результати верифікації експериментальної і ідентифікованої моделі випробування "зигзаг 10-10". На цьому рисунку пунктирною лінією (індекс 1) показані результати "експерименту", суцільною лінією (індекс 2) – результати моделювання.

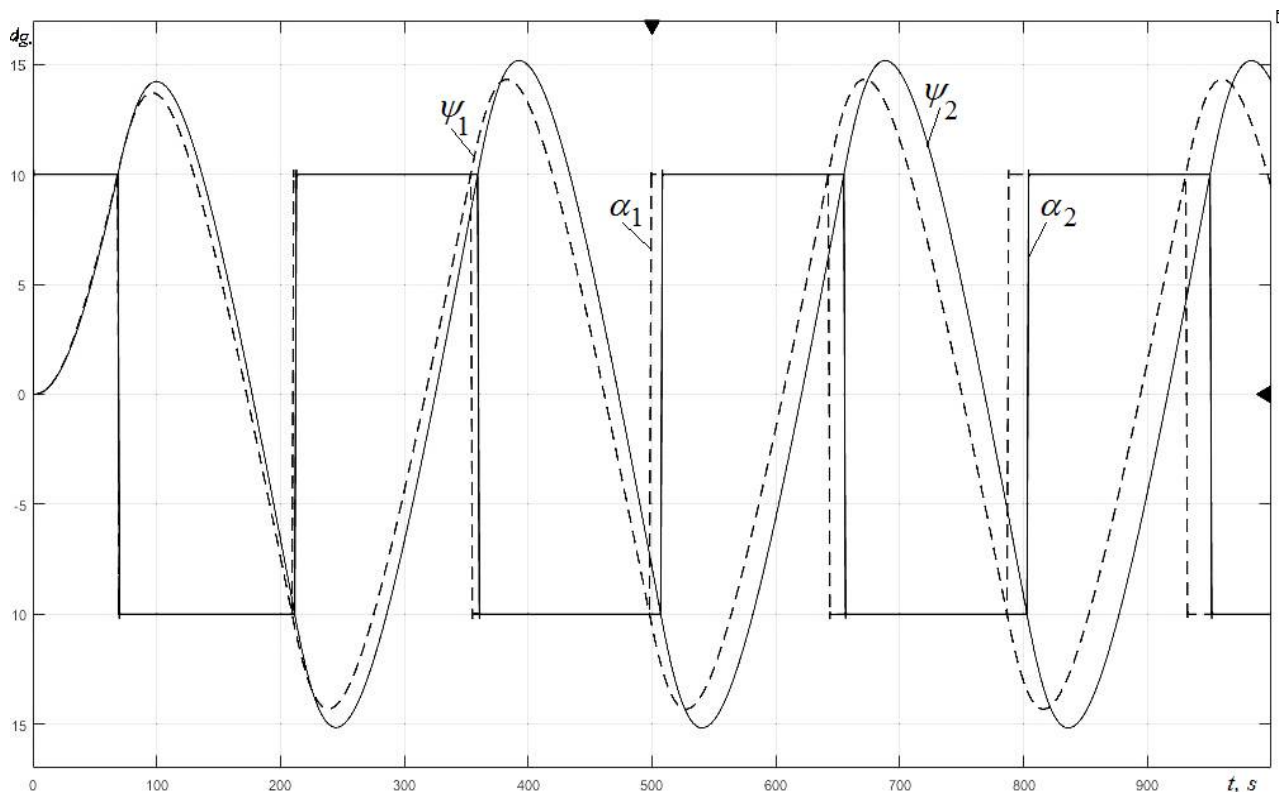


Рис. 5.7. Верифікація результатів моделювання маневреного випробування "зигзаг 10-10": 1 – комп'ютерний повномасштабний експеримент, 2 – моделювання

Запропонована у дисертації методика розрахунку та сукупність кінцевих формул (5.3), (5.4) і (5.7) дозволяє нескладним способом обробити дані з діаграми керованості судна та лише одного маневру виду "зигзаг".

Подальша обробка:

а) методом вирішення перевизначеної системи рівнянь, побудованої на основі виразу (5.3);

б) використання Фур'є-розкладу даних, отриманих з маневрених випробувань "зигзаг";

в) рішення системи рівнянь типовими математичними засобами (*Matlab*, *Mathcad* або іншими), дозволяє досить швидко знайти невідомі стали

часу T_1 , T_2 і T_3 моделі (5.1) управління судном на заданому курсі.

Від якості проведення натурних експериментів або якості аналогічних експериментів з моделями судна (віртуальними або фізичними – у опитовому басейні) дуже залежить кінцевий результат ідентифікації параметрів рівняння (5.1) Номото. Слід зазначити, що використання цієї методики вимагає ретельного проведення натурального маневру (або ретельного повномасштабного моделювання), з забезпеченням достовірних вимірювань амплітуди, періоду та фази, що є необхідним для отримання надійних результатів.

Можна вважати, що необхідно провести лише одне випробування для визначення сталої циркуляції і одне випробування "зигзаг", чого достатньо для запропонованої процедури ідентифікації і що суттєво скорочує необхідну кількість вихідних даних.

Аналізуючи рис. 5.7, можна стверджувати, що запропонований підхід до вирішення завдань ідентифікації параметрів рівняння Номото підтверджений (верифікований) моделюванням. При моделюванні, з урахуванням досить малого числа параметрів, запропонований підхід сприяє отриманню досить точну збіжність зіставлених результатів, чого цілком достатньо для практичного застосування методики – під час синтезу та налаштування регулятора системи управління судном на курсі [131, 144].

При цьому необхідно враховувати, що область використання розглянутої методики має певні обмеження, тобто вона може бути використана для дослідження "слабких" маневрів.

Крім того, необхідно враховувати, що параметри моделі (5.1) залежать від швидкості судна.

Представлена у роботі методика розрахунку параметрів математичної моделі судна з використанням результатів натурального експерименту дозволяє рекомендувати її для ідентифікації параметрів математичних моделей різних типів суден. Подальші дослідження необхідно проводити для практичної реалізації методики (синтезу контролера) у адаптивному автокермовому судна.

5.4 Система стабілізації курсу БСДФ ЛК, частково інваріантна до вітро-хвильових навантажень

Структура сучасних автокермових (*NAVPilot xxx Series* фірми "Furuno", AP3xxx компанії "Navis Engineering OY", PT500D компанії "Yokogawa", *NautoPilot 5000* і *NP2025PLUS* компанії "Raytheon", *PilotStar D*, *Saura SA-10*, *Navitron* та ін.) дозволяє гнучко перебудовувати режими їх роботи, враховувати різні чинники і зовнішні впливи.

Більшість відомих САКК [131, 145-148] використовують у своєму складі класичні ПД-регулятори і засновані на принципі стабілізації "за відхиленням".

Відомо, що існує великий клас систем автоматичного керування, заснований на принципах двоканального (інваріантного, комбінованого) керування. Проте цей принцип не застосовується у САКК у зв'язку зі складністю вимірювання зовнішніх збурень, діючих на корпус судна та відхиляючих його від заданого курсу.

Метою цього параграфу дисертації є встановлення можливості підвищення точності стабілізації судна на курсі та, відповідно, зниження втрат енергії, що витрачається на "рискання", за рахунок застосування у САКК принципів інваріантного керування, викладених у класичних роботах Г. В. Щипанова, М. М. Лузіна, Б. М. Петрова.

Зовнішнє навантаження (вітрове, хвильове), що діє на судно, має складний характер і робить основний збурюючий вплив на роботу системи стабілізації курсу (ССК). Попередньо, у найбільш загальному вигляді, розглянемо особливості функціонування систем стабілізації, заснованих на застосуванні принципу двоканального керування.

Нехай для будь-якого моменту часу відомо значення основного збурення й точка його прикладання до системи стабілізації. У цьому випадку, за допомогою введення у систему стабілізації властивостей інваріантності до

збурень, можна помітно покращити статичні та динамічні властивості всієї системи без втрати її стійкості (Г. В. Щипанов, М. М. Лузін).

Незважаючи на те, що інваріантні системи керування відносяться до класу систем з компенсацією збурень, у переважній більшості випадків, при практичній реалізації, добитися абсолютної інваріантності до збурень неможливо.

Однією з основних вимог загальної теорії інваріантності є наявність двох каналів передачі збурень (принцип "двоканальності" Б. М. Петрова), що впливає з аналізу роботи динамічної системи, показаної на рис. 5.8. Відзначимо, що реальні двоканальні системи зазвичай забезпечують часткову компенсацію тільки одного, головного, обраного збурення. Ця компенсація досягається за рахунок зміни структури системи керування – структурної компенсації головного збурення.

Нехай деяке збурення $F(s)$ діє на об'єкт керування $W_o(s)$ у замкненій системі (див. рис. 5.8).

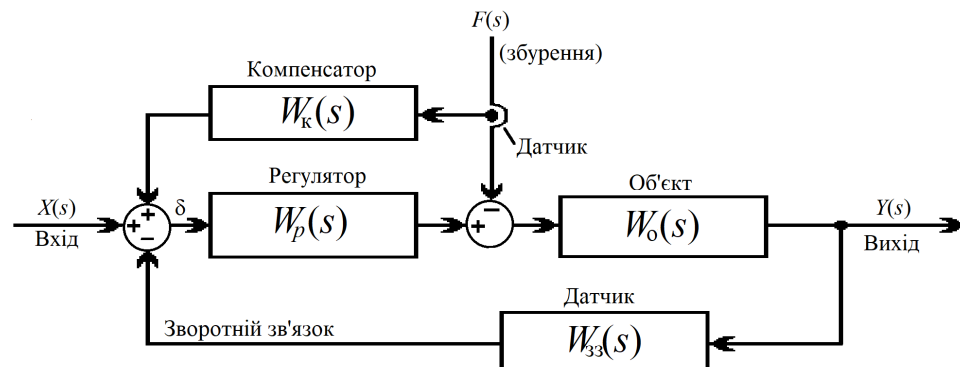


Рис. 5.8. Структурна схема двоканальної динамічної системи стабілізації

Якби вдалося створити деякий додатковий ланцюг (канал), проходячи через який збурення $+F(s)$ перетворювалося у $-F(s)$, то дія збурення на об'єкт повністю усунеться, що витікає з виразу:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{X(s) \cdot W_p(s) \cdot W_o(s) - F(s) \cdot W_o(s) + F(s) \cdot W_k(s) \cdot W_p(s) \cdot W_o(s)}{1 + W_p(s) \cdot W_o(s) \cdot W_{zz}(s)} \quad (5.9)$$

Якщо поставити вимогу $F(s) \cdot W_o(s) = F(s) \cdot W_k(s) \cdot W_p(s) \cdot W_o(s)$, то формальною умовою повної інваріантності до $F(s)$ буде виконання співвідношення $W_k(s) = 1/W_p(s)$.

Для функціонування такого додаткового каналу необхідно мати датчик збурення $F(s)$ і фізично реалізувати передатну функцію (ПФ) компенсатора $W_k(s)$, зворотну ПФ регулятора $W_p(s)$, що дозволить отримати значення збурення зі знаком "мінус" для $F(s)$.

Якщо коефіцієнти передачі вузла вимірювання $F(s)$ і компенсації $W_k(s)$ залишаться незмінними у широкому діапазоні амплітуд і частот, то властивість інваріантності системи керування буде існувати практично для всіх амплітуд і частот збурення $F(s)$, якщо воно, звичайно, не викликає насичення у системі. Саме це і є одним з головних достоїнств будь-яких інваріантних систем керування, оскільки на збурюючий вплив, зазвичай, не накладаються обмеження, за винятком кінцівки його величини.

Проте, для ССК судна практично реалізувати введення сигналу, що компенсує вітро-хвильові збурення які відхиляють судно від заданого курсу, досить складно, оскільки безпосереднє вимірювання збурення пов'язано з технічними труднощами, які принципово складно вирішити.

Слід зазначити, що реалізація у САКК спостерігачів різного типу (наприклад, Люєнбергера повного порядку), використання еталонних (явних, неявних) моделей, сигнального і/або параметричного самонастроювання, адаптивних, нечітких та інших сучасних систем керування також дуже не проста [131, 149-154], вимагає додаткових досліджень при суттєвих капітальних затратах на реалізацію технічного рішення.

У дослідженні пропонується [8] досить простий метод уведення у систему стабілізації властивостей часткової інваріантності до вітро-хвильового навантаження, заснований на непрямому визначенні основного збурення $I_c(s)$, відхиляючого судно від заданого курсу. Як зазначено вище, для реалізації інваріантної системи керування необхідно знати точку прикладання збурення.

Вважаємо, що основне збурення $I_c(s)$ приведено до кута повороту керма, що цілком допустимо з позицій застосування загальної теорії автоматичного керування у даній постановці задачі.

На рис. 5.9 представлена функціональна схема двоканальної (комбінованої) ССК, що забезпечує, за рахунок використання додаткового компенсаційного зв'язку, досягнення часткової інваріантності до головного збурення.

На рис. 5.9 позначено:

РК – регулятор курсового куту ψ судна;

КМ – замкнений контур керування кермовою машиною судна;

МС – передатна функція моделі судна, заснована на описі Номото другого порядку;

ДЗЗ – датчик зворотного зв'язку (курсого куту);

Вим. 1, Вим. 2, Компенс. – відповідно, пристрої вимірювання та введення компенсуючого збурення позитивного зворотного зв'язку в ССК.

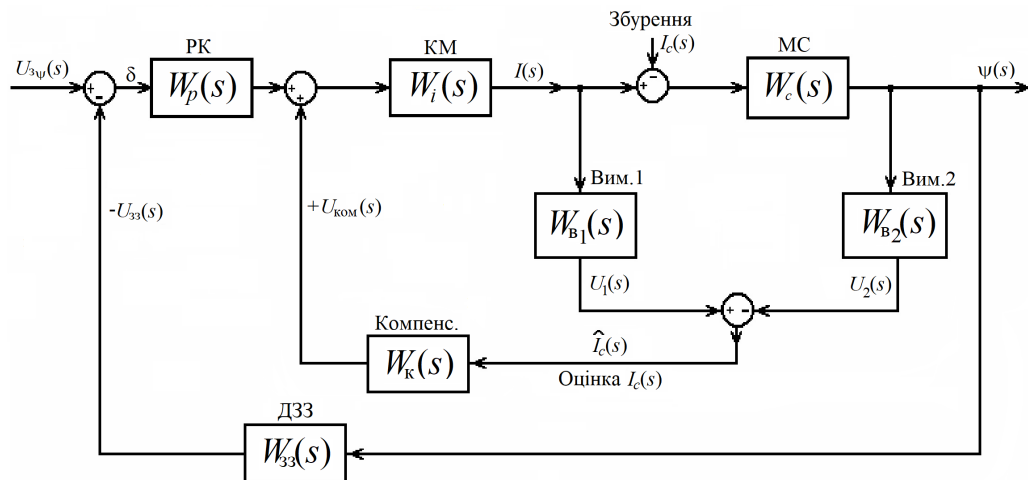


Рис. 5.9. Функціональна схема двоконтурної ССК, що забезпечує часткову інваріантність до $I_c(t)$

Оцінку основного збурення проведемо за виразом, що витікає з структурної схеми, зображеної на рис. 5.9:

$$I_c(s) = I(s) - \psi(s) / W_c(s) \quad (5.10)$$

відповідно $\hat{I}_c(s) = U_1(s) - U_2(s)$, а $\hat{I}_c(s) \approx I_c(s)$, де $W_c(s)$ – передаточна функція моделі судна (при стабілізації курсового кута ψ).

Очевидно, що цифрова чи аналогова реалізація виразу (5.10) потребує обчислення похідних з усіма витікаючими, відомими, технічними проблемами і обмеженнями. Врахуємо, що реальні пристрої вимірювання кута повороту керма і курсового кута ψ володіють властивостями фільтрування і часто описуються аперіодичними ланками зі сталими часу T_c і T_t , відповідно.

Встановимо на виході датчика кута повороту керма фільтр з коефіцієнтом передачі та сталою часу, точно такими, як і у датчика курсового кута, а на виході датчика курсового кута – фільтр з коефіцієнтом передачі та сталою часу, такими, як у датчика кута повороту керма. Такий прийом дозволить спростити технічну реалізацію системи за рахунок отримання спільного знаменника у передатних функцій.

З урахуванням викладеного вище, ділянку структурної схеми, що дозволяє оцінити основне збурення $I_c(s)$, наведено на рис. 5.10.

Слід зазначити, що оцінене значення основного збурення буде завжди мати динамічну похибку, яка у найкращому випадку визначається інерційністю аперіодичної ланки другого порядку $(K_t \cdot K_c) / [(T_c \cdot T_t) \cdot s^2 + (T_c + T_t) \cdot s + 1]$.

Збурення, оцінене за допомогою наведеної на рис. 5.9 структурної схеми, визначається виразом:

$$\hat{I}_c(s) = I_c(s) \cdot \frac{K_t}{(T_t \cdot s + 1)} \cdot \frac{K_c}{(T_c \cdot s + 1)}. \quad (5.11)$$

У вираз (5.11) входить складова $1/W_c(s)$, згідно (5.10).

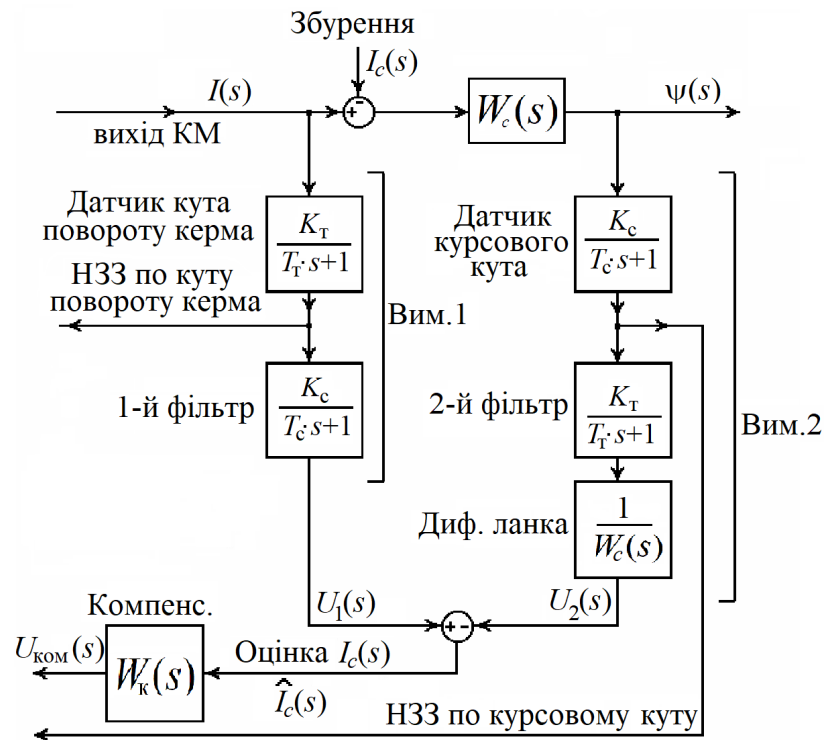


Рис. 5.10. Ділянка структурної схеми (див. рис. 5.9), яка реалізує оцінку основного збурення

Очевидно, що:

- 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;
- у системі з датчиком курсового кута і обсервації оцінка буде грубіше, оскільки інерційність такого вимірювального каналу досить висока і порівнянна з інерційністю кермової машини;
- передаточна функція ланки компенсуючого зв'язку $W_k(s) = W_i^{-1}(s)$ не може бути точно реалізована, оскільки

$$W_i(s) \approx \frac{1/k_T}{2 \cdot T_{\mu 1}^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T_{\mu 1} \cdot s + 1}.$$

Тому приймаємо

$$W_k(s) = \frac{2 \cdot T_{\mu 1} \cdot s + 1}{0,1 \cdot T_{\mu 1} \cdot s + 1} \cdot k_T, \quad (5.12)$$

що, у свою чергу, також є помітним спрощенням, заснованим на наближеній математичній моделі кермової машини судна.

Результати моделювання системи (див. рис. 5.10), з урахуванням дії компенсуючого основного збурення, наведено на рис. 5.11.

У якості вихідних даних для моделювання прийнято параметри БСДФ ЛК (див. розд. 3) з довжиною судна по конструктивній ватерлінії 70,5 м, середньою осадкою (на міделі) 3,5 м, об'ємною водотоннажністю 2864 м^3 , сумарною потужністю СЕУ 4600 кВт, при інтервалі швидкостей судна від 2 до 20 вузл.

Параметри моделі судна (5.1) наведені у табл. 5.1 і засновані на результатах її ідентифікації [6, 18].

Динаміка роботи кермової машини описана ПФ аперіодичної ланки зі сталою часу $T_i = 3,5 \text{ с}$. Моделювання проведено у середовищі *Matlab/Simulink*, з використанням методології, викладеної у [6, 18, 155, 156].

На рис. 5.11 показані процеси зміни результуючого збурення (крива 1) у моменти часу $t_1 = 2800 \text{ с}$, $t_2 = 5800 \text{ с}$, $t_3 = 8700 \text{ с}$ та $t_4 = 12000 \text{ с}$.

Це збурення викликає зміну курсу судна, та за рівнем приведено до куту повороту керма на 5° .

Автокермовий відпрацьовує збурення за допомогою ПД-регулятора – стабілізує курсовий кут ψ на заданому ССК рівні у 15° .

Параметри ПД-регулятора обрані за допомогою синтезу замкненої системи так, щоб результуючі процеси зміни курсового куту ψ відповідали настроюванню системи на технічний оптимум (система керування астатична за завданням, із перерегулюванням не більшим 5 %).

При використанні запропонованої оцінці $I_c(t)$ та за допомогою встановлення додаткового каналу компенсації результуючого збурення (див. рис. 5.8 і рис. 5.9), динаміка системи, навіть без зміни настроювання ПД-регулятора автокермового, суттєво покращується.

Це ілюструється кривою 3, наведеною на рис. 5.10, яка показує $\hat{I}_c(t)$ – оцінене значення $I_c(t)$, і кривою 4 – змінюванням курсового куту у частково-інваріантній до збурень системі стабілізації курсу.

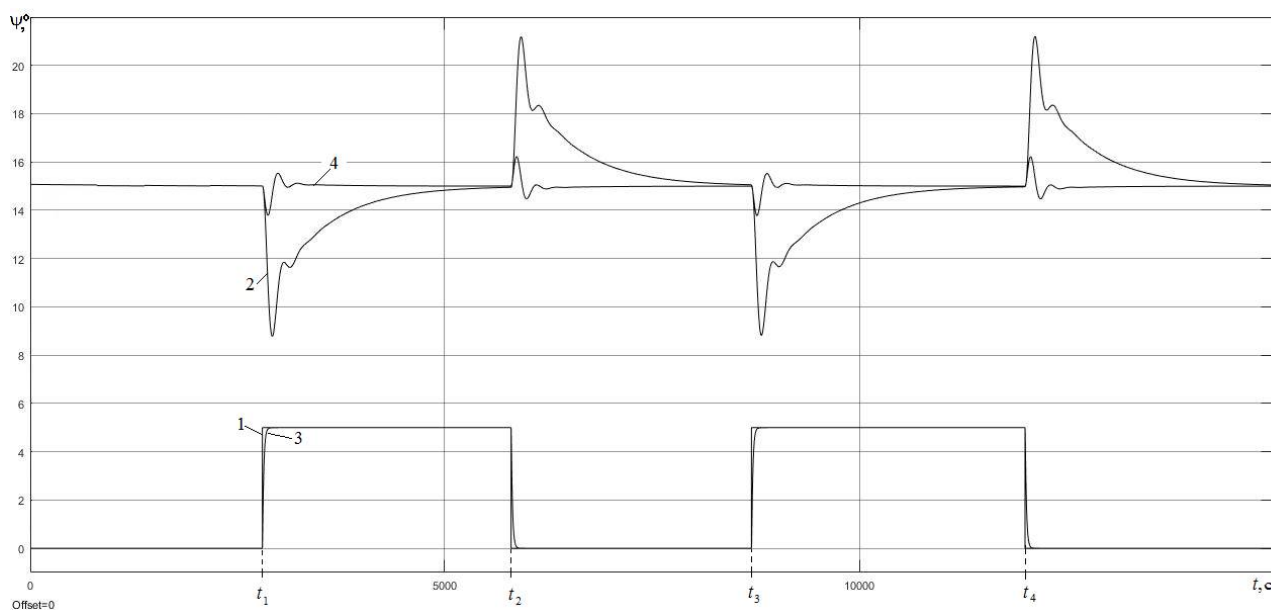


Рис. 5.11. Результати моделювання системи (див. рис. 5.9 та 5.10) з урахуванням дії сигналу, компенсуючого основне збурення

З аналізу результатів математичного моделювання запропонованої системи стабілізації курсового кута БСДФ ЛК можна визначити, що така система є дієвою і ефективно приглушує вітро-хвильові збурення на корпус судна.

Наприклад, встановлено, що при умові компенсації результуючого збурення у 5° на судно, з використанням класичної системи стабілізації "за відхиленням" і ПД "технічно оптимального" регулятора автокермового, максимальне динамічне відхилення становить 6° при часі регулювання (входження у 5 % зону), близько 2200 с.

При аналогічних умовах навантажень, але з роботою запропонованої частково-інваріантної до збурень системи стабілізації курсу, отримуємо максимальне динамічне відхилення, близько до $1,3^\circ$ при часу регулювання (входження у 5 % зону) до 200 с.

З детальнішого аналізу запропонованої системи додатково можна визначити, що більш ефективна стабілізація курсу судна зумовлена підвищенням швидкодії автокермового – за рахунок упередженої дії на кермовий пристрій судна, сформованої каналом позитивного зворотного зв'язку за збу-

ренням. Саме цей ефект визначає зменшення витрат пального і втрати ходового часу, тобто підвищення ефективності експлуатації судна.

Висновки до п'ятого розділу

1. Удосконалена методика ідентифікації параметрів математичної 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.

2. Особливістю методики ідентифікації математичної моделі судна є використання при обробці "вхідних" даних методів: а) надлишкових систем рівнянь (*Redefined System*); б) розкладання сигналів у ряди Фур'є з подальшим вирішенням системи з трьох рівнянь. Саме це дозволяє ефективно визначати невідомі коефіцієнти математичної моделі, запропонованої Номото. Підхід до вирішення завдань ідентифікації параметрів рівняння Номото підтверджений моделюванням з верифікацією результатів. Отриманої точності цілком достатньо для синтезу та налаштування регулятора системи стабілізації судна на курсі.

Представлена у роботі методика розрахунку параметрів математичної моделі судна з використанням результатів натурного експерименту дозволяє рекомендувати її для ідентифікації параметрів математичних моделей різних типів суден.

3. Запропонована структура системи стабілізації курсу судна відрізняється введенням додаткового позитивного зворотного зв'язку за основним (вітро-хвильовим) збуренням. Оцінка збурення здійснюється опосередковано, на основі сигналів датчиків курсового куту та куту повороту (положення) керма. Більш ефективна стабілізація курсу судна зумовлена результатом підвищення швидкодії сигналів керування кермом. Це здійснюється упередженим сигналом на кермовий пристрій судна, який сформовано

додатковим каналом позитивного зворотного зв'язку за оціненим збуренням. Отриманий ефект визначив зменшення витрати пального і ходового часу і визначив підвищення ефективності експлуатації судна при стабілізації його курсу.

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 високоефективних 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.

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, виготовлен-

ня, технічної експлуатації і ремонту синтезованого судна; визначення показників підвищення ефективності технічної експлуатації, ремонту та обслуговування БСДФ ЛК; системи стабілізації БСДФ ЛК на курсі.

Запропоновані методики довели можливості високоефективної експлуатації БСДФ ЛК у внутрішніх водах України у всі пори року.

4. Основні результати дослідження апробовані низкою наукових заходів, знайшли практичне застосування у виробничій діяльності і у навчальному процесі при підготовці курсантів у галузі знань 27 – транспорт (271 – річковий та морський транспорт).

ЛІТЕРАТУРА

1. Сауляк С. В. Влияние ограниченности глубины фарватера на мореходные качества судна / С. В. Сауляк, О. Н. Мазур // Проблемы техніки. – 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 техніки. – 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. Особливості проектування багатоцільового судна подвійного призначення льодового класу / 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, pp. 1–8. – IOP Publishing Ltd., (Scopus).
7. Підвищення ефективності технічного обслуговування, експлуатації і ремонту складних технічних систем / Я. Б. Волянська, О. 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, О. М. Мазур, О. А. Онищенко, В. А. Шевченко // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. Т. 10. – № 2. – С. 57–63.

9. Голиков В. В. Концепция конструкции ледокола для работы в Азовском море / В. В. Голиков, П. А. Костенко, А. А. Лысый, О. 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, О. Н. Мазур // Матер. наук.–методичн. конф. "Забезпечення безаварійного плавання суден", 16–17 листопада 2011 р. – Одеса: ОНМА. – С. 69–74.

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

12. Мазур О. Н. Анализ обеспечения судоходства в зимнюю навигацию портами Украины / О. Н. Мазур // Матер. наук.–техн. конф. "Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека", 19–20 листопада 2013 р. – Одеса: ОНМА, 2014. – С. 20–22.

13. Голиков В. В. К определению характеристик размерений и формы условного судна технического флота порта / В. В. Голиков, О. 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 О. Н. Анализ математической модели и алгоритма решения задачи проектирования судна / О. 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 О. М. Підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту багатоцільових суден подвійного призначення / О. 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 О. М. Особливості проекту багатоцільового судна подвійного призначення льодового класу, призначених для функціонування у терито-

ріальних водах України / О. М. Мазур, В. В. Голіков, Т. С. Обнявко // VIII Міжн. наук.–практ. конф. "Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту", 7 грудня 2017 р. – Ізмаїл: МОНУ, ДІ НУ "ОМА", НУ "ОМА". – С. 162–166.

17. Мазур О. М. Визначення потужності електроенергетичної установки багатоцільового судна подвійного призначення / В. В. Голіков, О. 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.

19. Голіков В. В., Онищенко О. А. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології. Суднові енергетичні установки, 2017, № 37. – С. 13–27.

20. Логишев И. В., Онищенко О. А. Управление технической эксплуатацией флота. Учебник. – Одесса: "Феникс", 2016. – 232 с.

21. Захарченко В. І. Інноваційний менеджмент: теорія і практика в умовах трансформації економіки: навч. посібн. / В. І. Захарченко, Н. М. Корсікова, М. М. Меркулов. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 448 с.

22. Зайцев Н. Л. Экономика, организация и управление предприятием: уч. пос. – 2-е изд., доп. – М.: Инфра-М, 2008. – 455 с.

23. Обнявко Т. С., Онищенко О. А. Визначення ефективності тендерних проектів у військовій економіці методами економетрики / Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки», 2014. № 9. Ч. 2. – С. 212–218.

24. Шибаева Н. О., Вычужанин В. В., Рудниченко Н. Д., Шибаев Д. С. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению логистическими транспортными процессами / Актуальные про-

блемы автотранспортного комплекса Межвузовский сборник научных статей (с международным участием), Самарский ГТУ, 2018. – С. 168–175

25. Коновалов С. Н., Вычужанин В. В. Применение гибридных экспертных систем для прогнозирования технического состояния сложных систем // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей (с междунар. участием), Самара: ГТУ, 2017. – С. 95–101.

26. Вычужанин А. В., Вычужанин В. В., Коновалов С. Н. Разработка автоматизированной системы экспертной базы знаний // Materials of the Vth Intern. Sc. – Pract. Conf. «Information Control Systems and Technologies». 20th – 22th September, 2016, Odessa, pp. 213–216.

27. Храмушин В. Н. Целевое непротиворечивое проектирование кораблей и судов для штормовых и ледовых условий Дальнего Востока России / Международный симпозиум «Наука. Инновации. Техника и технологии: проблемы, достижения и перспективы» Комсомольск–на–Амуре, 12–16 мая 2015 г. – С. 24–29.

28. Огай С. А. Методологические подходы для определения оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания / Дис. д-ра техн. наук. ФГБОУ ВО Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского. – 2018, 440 с.

29. Храмушин В. Н. Поисковые решения и инженерные подходы в проектировании и оптимизации формы корпуса и общекорабельной архитектуры корабля // Мореходство и морские науки–2009: Избр. докл. 2-й Сахалинской региональной морской науч.–техн. конф. (23.09.2009) / Под ред. В. Н. Храмушина. – Южно–Сахалинск: СахГУ, 2010. – С. 49–72.

30. Наказ Міністра оборони України № 231 від 28.04.2006 р. "Положення про класифікацію корабельного складу ВМС Збройних сил України".

31. Чобиток В. А. Оценка боевой эффективности и технического совершенства вооружения и военной техники: уч. пособ. / В. А. Чобиток. – К.: КВТИУ, 1984. – 58 с.

32. Обнявко Т. С. Концепції визначення оцінок еколого–економічної ефективності функціонування воєнної економіки / Т. С. Обнявко // Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова. Серія «Економіка». – 2016. – Том 21. – Випуск 6(48). – С. 62–66.

33. Короленко В. А., Синявский В. К., Гочиев Н. Х. Моделирование боевых действий, как основной инструмент принятия обоснованных решений. Режим доступа: <https://docplayer.ru/47514101-Modelirovanie-boevykh-deystviy-kak-osnovnoy-instrument-prinyatiya-obosnovannykh-resheniy.html>.

34. Рассадин В. Н., Сначес–Андерс А. Технологии двойного назначения в оборонной промышленности и перспективы их использования // Проблемы прогнозирования, 2001, № 6. – С. 35–42.

35. Половинкин В. Н., Фомичев А. Б. Технологии двойного назначения: отставание реальное и мнимое // Экспертный союз: журнал, 2014, № 4(14). – 33–39.

36. Товар двойного назначения. Большой юридический словарь. Режим доступа: <https://slovar.wikireading.ru/655091>.

37. Климанова О. Н. Реновация и конверсия судов: состояние проблемы, процедуры и перспективы / О. Н. Климанова, В. М. Бондарь // Судовождение, 2004. – № 8. – С. 43–54.

38. Егоров, Г. В. Черноморский регион: какие нужны новые суда? / Г. В. Егоров // Матер. VI межд. научн.–техн. конф. "Инновации в судостроении и океанотехнике". – Николаев: НУК, 2015. – С. 6–8.

39. Егоров Г. В. Анализ состояния и обоснование необходимости строительства судов технического флота / Г. В. Егоров, Н. В. Автухов, Д. В. Черных // Матер. наук.–метод. конф. "Морський флот: управління, економіка безпека". – Одеса: ОНМА–Видавінформ, 2010. – С. 60–62.

40. Егоров Г. В. Обоснование необходимости обновления портового флота / Г. В. Егоров, Н. А. Ильинский // Матер. наук.–метод. конф. "Морський флот: управління, економіка, безпека". – Одеса: ОНМА–Видавінформ. – 2010. – С. 62–64.

41. Война и мир в терминах и определениях. Военно–политический словарь. Под общ. ред. Д. Рогозина. Режим доступа: <http://www.voina-i-mir.ru/article/642>.

42. Регістрова книга суден 2018. Регістр судноплавства України. Режим доступу: <http://shipregister.ua/pdf/reg-ships.pdf>.

43. Егоров Г. В. О многофункциональности в ледоколах и ледоколах–спасателей нового поколения / Г. В. Егоров, И. А. Ильницкий, Н. В. Автутов // Матер. VII межд. научн.–техн. конф. "Инновации в судостроении и океанотехнике" – Николаев : НУК, 2016. – С. 44–45.

44. Егоров Г. В. Двенадцать многоцелевых сухогрузных судов дедвейтом 5500 тонн проекта 005RSD03 типа "Россиянин" / Г. В. Егоров, В. И. Тонюк // Судостроение, 2015. – № 1. – С. 9–17.

45. Егоров Г. В. Многоцелевые сухогрузные суда "Волго–Дон макс" класса с пониженным надводным габаритом / Г. В. Егоров, Н. В. Автутов, Р. Д. Багаутдинов // Судостроение и судоремонт. – 2012. – № 48–49. – С. 20–35.

46. Rizzuto E. Design Principles and Criteria / E. Rizzuto, J. Downes, M. Radon [et al.] // Report of Committee IV. 1. Proc. of 19th ISSC–2015. – Cascais (Portugal), 2015, Vol. 1, pp. 415–458.

47. Collette M. Design Methods / M. Collette, R. Bronsart, Y. Chen [et. al] // Report of Committee IV. 2. Proc. of 19th ISSC–2015. – Cascais (Portugal), 2015. – Vol. 1, pp. 459–518.

48. Голиков В. В. Концепция конструкции ледокола для работы в Азовском море / В. В. Голиков, П. А. Костенко, А. А. Лысый [и др.] // Матер. научн.–техн. конф. "Энергетика судна: эксплуатация и ремонт". – Одесса : ОНМА–Издатинформ, 2011. – С. 64–67.

49. Stormy seakeeping history (antiquity and our days) / V. N. Khramushin, S. V. Antonenko, A. A. Komaritsyn [et al.] // Sakhalin Branch of Russian Geographical Society, 2010. – P. 288.

50. Апалько Т.А., Царев Б.А. Сопоставление моделей проектного анализа ледоколов // Морской вестник, 2010. – № 3. – С. 100–104.

51. Грамузов Е. М., Тихонова Н. Е. Обоснование проектных характеристик речных ледоколов // Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева. № 3(100). – Н. Новгород, 2016. – С. 195–199.

52. Лесюков В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. Учебник для вузов водн. трансп. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., Транспорт, 1982. – 303 с.

53. Воробьев Ю. Л., Соколов В. Т., Журавицкий Г. Д., Коханов Э. В., Кубачев Н. А., Лабин А. И. К вопросу о навигационных запасах глубины под килем судна при плавании в каналах и на мелководье // Морской транспорт сер.: Судовождение и связь / Экспресс-информация В/О "Мортех информреклама", 1986. – Вып. 9(194). – С. 1–18.

54. Коханов Э. В., Лабин А. И. Исследование просадки судов, движущихся по мелководному фарватеру // Теория и практика модернизации судов / ОИИМФ. – М.: ЦРИА "Морфлот", 1981. – С.15–21.

55. Смирнов А. П. Расчет скорости судов на ограниченных глубинах по результатам натурных наблюдений. – М.: Транспорт, Сб.ЦБНТИ Судовождение и связь, № 2(177), 1985. –С. 1–9.

56. Суворов П. С., Тарасенко Т. В. Оценка влияния мелководья на ходовые характеристики морских судов // Автоматизация судовых технических средств: научн.–техн. сб. – 2007. – Вып. 12. – Одесса: ОНМА. – С. 108–114.

57. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Чёрного, Азовского и Средиземного морей. Российский морской Регистр судоходства. – СПб., 2006. – 450 с.

58. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. – СПб. : Судостроение, 2001, 512 с.

59. Ионов Б.П., Грамузов Е.М., Зуев В.А. Проектирование ледоколов. – С.–Пб.: Судостроение, 2014, 512 с.

60. Каштелян В.И., Рывлин А.Я., Фаддеев О.В., Ягодкин В.Я. Ледоколы. – Л.: Судостроение, 1972, 288 с.

61. Батоврин В.К., Бахтурин Д.А. Управление жизненным циклом технических систем: серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации» / В. К. Батоврин, Д.А. Бахтурин; ред. И. С. Мацкевич, М. С. Липецкая; Фонд «Центр стратегических разработок «Северо–Запад». – С.–Пб., 2012. – Вып. 1. – 59 с.

62. ISO/IEC 15288:2008. Systems and software engineering — Life cycle processes.

63. ISO 15704:2000. Industrial automation systems — Requirements for enterprise–reference architectures and methodologies (ГОСТ Р ИСО 15704–2008 Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия).

64. Kossiakoff A., Sweet W. N., Seymour S. J., Biemer S. M. Systems Engineering Principles and Practice. – Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, 2011. – p. 599. – ISBN 978–0–470–40548–2.

65. Blanchard B. S., Fabrycky Wolter J. Systems engineering and analysis. – Prentice Hall, 2006, p. 356.

66. Тарасенко Т. В. Повышение энергоэффективности судов при работе на коротких морских линиях (на примере судов с винтом регулируемого шага). Дисс. канд. техн. наук, Одесса: ОНМА, 2015, 239 с.

67. Грамузов Е. М., Курнев П. А. Полуэмпирическая модель ледового сопротивления речного ледокола // Вопросы проектирования судов, плавающих во льдах: межвуз. сб. / Горьков. политехн. ин–т., 1988. С. 36–42.

68. Ионов Б. П., Грамузов Е. М., Тихонова Н. Е. Оптимизация основных проектных характеристик ледоколов // Морской Вестник, 2003. – № 2. – С. 33–40.

69. Теория и устройство судов: учебник / Ф. М. Кацман, Д. В. Дрогостайский, А. В. Коннов, Б. П. Коваленко; под ред. д.т.н., проф. Ф.М.Кацмана. – Л.: Судостроение, 1991. –416 с. – ISBN 5–7355–0166–6.

70. Костюков А. А. Сопротивление воды движению судов / А. А. Костюков. – Л.: Судостроение, 1966. – 447 с.

71. Луговский, В. В. Динамика моря: избранные вопросы, связанные с изучением мореходности корабля: учебник / В. В. Луговский. – Л.: Судостроение, 1976. – 200 с.
72. Меоте Бернар. Введение в гидродинамику и теорию волн на воде / Бернар Ле Меоте; пер. с англ.; под ред. М. С. Грушевского. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 367 с.
73. Захаров И. Г. Теория компромиссных решений при проектировании корабля. – Л.: Судостроение, 1987.
74. Огай С. А., Войлошников М. В. Факторы устойчивости оптимальных значений проектных характеристик и элементов многоцелевого судна ледового плавания // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2016. – № 3 (33), т. 1. С. 39–51.
75. Огай С. А. Модели определения характеристик при создании многоцелевых судов для арктических и замерзающих морей: монография. – Владивосток: Дальнаука, 2018. – 316 с.
76. Сизов В. Г. Теория корабля: Учебн. пособ. / Одесск. национальн. морская акад. – Одесса: Фенікс, 2003. – 284 с. ISBN 966–8289–31–5.
77. Шарлай Г. Н. Маневрирование и управление морским судном. – 2015, Владивосток. – 566 с. ISBN: 978–5–8343–0490–6.
78. Ашик В. В. Проектирование судов: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
79. Огай С. А., Войлошников М. В., Хромченко Е. Б. Системный подход при определении характеристик судов планируемых к постройке в соответствии с программами развития судостроения // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2013. Спец. вып. 1. – С. 42–48.
80. Огай С. А., Войлошников М. В. Экономические показатели многоцелевого судна ледового плавания для определения целевых функций на начальных этапах проектировании // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2016. – № 3 (33), т. 1. – С. 57–64.

81. Гайкович А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: в 2 т. Т. 1: Описание системы «Корабль». Т. 2: Анализ и синтез системы «Корабль». – С.–Пб.: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014, 543 с.

82. Огай С. А., Войлошников М. В. Многоуровневый системный подход при определении оптимальных проектных характеристик судна ледового плавания // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2017. № 3 (37), т. 2. – С. 318–326.

83. Огай С. А., Войлошников М. В. Оптимизация проектных характеристик судна в составе комплекса судоходной компании // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2011. № 4 (14). – С. 45–52.

84. Храмушин В. Н. Техничко–исторический анализ мореходности. СахНИРО–ДВО РАН–СахГУ, Южно-Сахалинск, 2008. Режим доступа: http://khramushin.narod.ru/Vlad_R1.html.

85. Гайкович А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. С.–Пб.: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2001. – 432 с.

86. Тихонова Н. Е. Оптимизация основных элементов и формы корпуса ледокола в зависимости от ледовых условий // Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева. – Нижн. Новгород, 2014. – № 5(107). – С. 302–308.

87. Тряскин В. Н., Лазарев В. Н., Смирнов Ю. А., Курдюмов В. А. Проектирование корпусных конструкций морских судов: учеб. пособие. – Л. : Изд-во ЛКИ, 1987. – 85 с.

88. Турбал В. К., Шпаков В. С., Штумпф В. М. Проектирование обводов и движителей морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 304 с.

89. Огай С. А. Оценка прочности в ледовом поле корпуса с учетом установки дополнительных шпангоутов для определения характеристик судна на начальных этапах проектирования // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2016. – № 3 (33), т. 1. – С. 81–85.

90. Огай С. А., Кулеш В. А., Войлошников М. В. Безопасность и эффективность эксплуатации судов во льдах // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2013. Спец. вып. 1. – С. 11–20.

91. Огай С. А., Войлошников М. В. Проектная нагрузка и водоизмещение многоцелевого судна ледового плавания // Морские интеллектуальные технологии: науч. журн., 2015. – № 3 (29), т. 1. – С. 12–27.

92. Климашевский С. Н. Расчет проходимости во льду ледоколов и судов ледового плавания, анализ параметров формы корпуса этих судов // Судостроение, 2012. – № 3. – С. 11–16.

93. Лобанов В. А. Оценка ледовой ходкости судна численными методами // Дифференциальные уравнения и процессы управления, 2011. – № 1, Электрон. журнал, рег. Эл № ФС77–39410 от 15.04.10. – С.13–19.

94. Ногид Л.М. Проектирование морских судов. Выбор показателей формы и определение мощности энергетической установки проектируемого судна. – Л.: Судостроение, 1976. – 208 с.

95. Державні закупівлі. Офіційний загальнодержавний веб–портал. Нормативно–правова база з питань державних закупівель. https://tender.me.gov.ua/EDZFrontOffice/menu/uk/cms_provisions_list_type1/

96. Момот, А. И. Соотношение понятий “результативность” и “эффективность” при осуществлении производственной деятельности // А. И. Момот, Е. А. Бакало / Матер. 6–ї рег. наук.–практ. конф. “Проблеми розвитку та упровадження систем управління якістю в регіоні”. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С. 114–117.

97. Проблема эффективности в современной науке // под ред. А. Д. Урсула. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 256 с.

98. Голиков, В. А. Методологія наукових досліджень: навч. посібн. // В. А. Голиков, М. А. Козьмініх, О. А. Онищенко. – Одеса: ОНМА, 2014. – 163 с.

99. Берндт Э. Практика эконометрики: классика и современность / Э. Берндт. – М.: Юнити–Дана, 2005. – 848 с.

100. Кириленко, І. В. Основи оборонної економіки. Курс лекцій для курсантів спец. "Фінанси" / І. В. Кириленко. – К.: ВІКНУ ім. Т. Шевченка, 2009. – 135 с.
101. Бабешко, Л. О. Основы эконометрического моделирования: Учебн. пособ. / Л. О. Бабешко. – М.: КомКнига, 2006. – 432 с.
102. Магнус, Я. Р. Эконометрика. Начальный курс: учебник / Я. Р. Магнус, П. К. Катышев, А. А. Пересецкий. – М.: Дело, 2004. – 576 с.
103. Системы нечеткого вывода. Лекция 8. Режим доступа: http://fuzzy-group.narod.ru/files/Fuzzy_Modeling/Lecture08.1.Fuzzy.inference.system.pdf
104. Шибаева Н.О., Вычужанин В.В. Нечеткие модели оценки рисков сложных технических систем при их мониторинге и диагностике // Зб. наук. пр. НУК ім. адм. Макарова. – Миколаїв, 2016. Том 4(64), № 2. – С. 71–79.
105. Левин, М. И. Лекции по экономике коррупции: Учеб. пособие / М. И. Левин, Е. А. Левина, Е. В. Покатович. Нац. исслед. ун-т "Высшая школа экономики". – М.: Изд. дом ВШЭ, 2011. – 356 с.
106. Указ Президента України №555/2015. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 2 вересня 2015 року "Про нову редакцію Воєнної доктрини України".
Режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/5552015-19443>.
107. Мунтіян, В. І. Економіка та оборонні витрати: аналіз зарубіжних досліджень і український шлях розвитку: моногр. / В. І. Мунтіян. – К.: НДФІ, 1998. – 464 с.
108. Экономико–математический словарь: Словарь современной экономической науки / Л. И. Лопатников. – М.: Дело, 2003.
109. Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений. Основные понятия.
Режим доступа: <http://bank-explorer.ru/finansy/normativnyj-koefficient-effektivnosti-kapitalnyx-vlozhenij.html>
110. Трахтенгерц Э. А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений / Проблемы управления, №1, 2003. – С. 13–28.

111. Большой десантный корабль проекта 1171 “Тапир”. Режим доступа: http://www.rusarmy.com/vmf/dk_pr_1171.htm
112. Огвоздин В. Ю. Управление качеством. Основы теории и практики: учебн. пособ., 6-е изд. – М.: Дело и Сервис, 2009. – 304 с.
113. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование: учебник, в 3 ч. / А. И. Орлов. Ч. 2: Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2011. – 486 с.
114. Азгальдов, Г. Г. Построение дерева показателей свойств объекта // Стандарты и качество. – 1996. – №11. – С. 97–104.
115. Racine J. S. Nonparametric econometrics: a primer / J. S. Racine. Quantile, 2008, № 4, pp. 7–56.
116. Средства измерений. Шкалы и применение их в метрологии. Режим доступа: <http://www.support17.com/component/content/568.html?task=view>.
117. Uziel Sandler, Lev Tsitolovsky Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic. Springer, 2008. – 478 с. – ISBN 978–0–387–09542–4.
118. Булгакова И. Н. Использование «функции желательности» для формализации комплексного показателя конкурентоспособности промышленного предприятия / И. Н. Булгакова, А. Н. Морозов // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление, 2009, № 2. – С. 54–56.
119. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Уч. пос. для вузов. – М.: ВШ, 2004. – 479 с. – ISBN 5–06–004214–6.
120. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики. Учебник / Под ред. И. И. Елисеевой. – 4-е изд., перер. и дополн. – М.: Финансы и Статистика, 2002. – 480 с. – ISBN 5–279–01956–9.
121. Рекомендации по стандартизации. Р50.1.037–2002. Прикладная статистика: Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II: Непараметрические критерии. – М.: Госстандарт РФ, 2002. Режим доступа:

http://www.opengost.ru/iso/03_gosty_iso/03120_gost_iso/0312030_gost_iso/2391-r-50.1.037-2002-prikladnaya-statistika.-pravila-proverki-soglasiya-opytnogo-raspredeleniya-s-teoreticheskim.-chast-ii.html.

122. Романов, В. Н. Техника анализа сложных систем / В. Н. Романов. – СПб.: СЗТУ, 2011. – 287 с.

123. Fossen T. I. and Smogeli O. N., (2004). Nonlinear Time–Domain Strip Theory Formulation for Low–Speed Maneuvering and Station–Keeping Modeling, Identification and Control, MIC 25(4), pp. 201–221.

124. Fossen T. I., (2005). A Nonlinear Unified State–Space Model for Ship Maneuvering and Control in a Seaway Journal of Bifurcation and Chaos (Plenary Talk ENOC'05, Eindhoven, The Netherlands), pp. 355–361.

125. Perez T. and Fossen T. I., (2007). Kinematic Models for Sea–keeping and Maneuvering of Marine Vessels Modelling, Identification and Control, MIC 28(1), pp. 1–12.

126. Perez T. and Fossen T. I., (2006). Time–Domain Models of Marine Surface Vessels for Simulation and Control Design Based on Sea–keeping Computations (Plenary Talk). Proc. of the IFAC (MCMC'06, Lisbon, Portugal) pp. 20–24.

127. Будашко, В. В. Концепція моделювання і побудови електроенергетическої установки сучасного судна / В. В. Будашко // Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок: зб. праць наук. семінару НАН України. – Одеса: Наука і техніка, 2015. – С. 109–116. – ISBN 978–966–1552–63–9.

128. Budashko V. V., Onishchenko O. A., (2014). Improvement of the control system of the propulsion device of the combined propulsive complex Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Electric machines and electromechanical energy conversion (Kharkov. NTU "KhPI"), № 38 (1081) pp. 45–51

129. Sutulo S. and Soares Guedes, (2011). Mathematical Models for Simulation of Maneuvering Performance of Ships Marine Technology and Engineering (Taylor & Francis Group, London), pp. 661–698.

130. Ko D. Time domain simulation for icebreaking and turning capability of bow–first icebreaking models in level ice / D. Ko, K. D. Park, K. Ahn // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering Volume 8, Issue 3, Pages 219–300 (May 2016) Pages 228–234. [Режим доступа]:

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/20926782/8/3>.

131. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. – М.: ТрансЛит, 2007. – 376 с.

132. Юдин Ю. И., Пашенцев С. В. Идентификация математической модели судна. – М.: Моркнига, 2015. – 141 с.

133. The Maneuvering Committee, (2005). Final Report and Recommendations to the 24th ITTC (UK) 1, pp. 137–198.

134. Nomoto K, Taguchi T. and Hirano S., (1957). On the steering qualities of ship. International Shipbuilding Progress, (4) 35, pp. 56–64.

135. Yongbing Chen, Yexin Song and Mianyun Chen, (2010). Parameters identification for ship motion model based on particle swarm optimization / Kybernetes, 39. Issue 6, pp. 871–880.

Режим доступа: <https://doi.org/10.1108/03684921011046636>

136. Ma F. C. and Tong S. H., (2003). Real–Time Parameters Identification of Ship Dynamic Using the Extended Kalman Filter and the Second Order Filter .IEEE Conference on Control Applications, Vol. 2, pp. 1245–1250.

137. Casado M H, Ferreiro R. and Velasco F. J., (2007). Identification of Nonlinear Ship Model Parameters Based on the Turning Circle Test. J. Ship Res. 51(2), pp. 174–181.

138. Sheng L., Jia S., Bing L. and Gao–Yun L., (2008). Identification of Ship Steering Dynamics Based on ACA–SVR. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 514–519.

139. Agarkov S. A., Pashentsev S. V., (2015). Parametric identification of the generalized Nomoto model using the apparatus of the calculus of variations Bulletin of MSTU Vol. 18 1 p. 7–11.

140. Pashentsev S. V., (2010). Parametric identification of maneuverability characteristics based on the results of full-scale tests of the Zigzag type in the non-linear model of vessel controllability .Vestnik MSTU ,Vol. 13 4/1, pp. 730–735.
141. Journée J. M. J., (1970). A simple method for determining the manoeuvring indices K and T from zigzag trial data. Delft University of Technology, Ship Hydromechanics, Laboratory Report, p. 267.
142. Stevens Scott A., (2017). System Analysis – Rank and Nullity. Math – Matrices Handouts (Pennsylvania State University), №3, pp. 115–119.
143. Anton Howard, Rorres Chris, (2005). Elementary Linear Algebra (9th ed.). John Wiley and Sons. – ISBN 978–0–471–66959–3.
144. Golnaraghi F., Kuo B. C., (2010). Automatic Control Systems (Wiley), p. 786.
145. Острецов Г. Э., Клячко Л. М. Методы автоматизации управления движением корабля. – М.: Физматлит, 2009. 120 с.
146. Антонов В. А., Письменный М. Н. Теоретические вопросы управления судном. – Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2007. 78 с.
147. Юдин Ю. И., Сотников И. И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ. – Мурманск, 2006. 95 с.
148. Снопков В. И. Управление судном. – С.–Пб.: Профессионал, 2004. –536 с.
149. Седова Н. А. Интеллектуальная система автоматического управления курсом судна // Транспортное дело России. Спецвыпуск, 2006. № 7. – С. 58–61.
150. Vichuzhanin V. Realization of a fuzzy controller with fuzzy dynamic correction // Central European Journal of Engineering, 2012. Vol. 2. № 3, pp. 392–398.
151. Wen–Hsien Ho, Chen–Huei Hsieh, Jyh–Horng. Chou Optimal course handling control for nonlinear ship maneuvering system // International Journal of

Innovative Computing, Information and Control ICIC, International, 2010. Vol. 6. № 10, pp. 114–117.

152. Шушляпин Е. А., Карапетьян В. А., Безуглая А. Е., Афонина А. А. Нелинейные регуляторы для удержания судна на заданной траектории при «сильных» маневрах // Труды СПИИРАН, 2017. Вып. 4(53). – С. 178–200.

153. Tomera M., (2010). Nonlinear controller design of a ship autopilot // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. Vol. 20, № 2, pp. 271–280.

154. Yaohua Hu, Suwu Xu. Generalized predictive controller design for ship track keeping // ICCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 2010. Vol 9, № 5, pp. 236–239.

155 Odegard V. Nonlinear Identification of Ship Autopilot Models // Norwegian University of Science and Technology, 2009. Vol. 23, pp. 100–107.

156. Zan Y. Research on Real–Time Simulation System of Ship Motion Based on Simulink // Open Mechanical Engineering Journal, 2014. Vol. 8, pp. 820–827.

ДОДАТКИ

Додаток А

У табл. А наведені деякі характеристики 21 судна (із близько 80 аналізованих у ході роботи), з найбільшим ступенем придатних для подальшого порівняння зі створюваним БСДФ.

Таблиця А1. Короткі характеристики й особливості відібраних суден-прототипів створюваного БСДФ

п/п	Коротка характеристика	Загальний вигляд
1	2	3
1	Офшорне судно постачання середніх бурових платформ (<i>platform Supply Vessels, pSV</i>). Довжина 78,7 м. Ширина 16 м. Осадка 5,5 м. Водотоннажність 3200 т. Швидкість 14,7 вузл. Головні двигуни - 4 × 910 кВт. СЕУ - трастери або дизель-електрична система. Площа палуби 670 м ² .	 Судно постачання <i>UT 755 CD</i>
2	Якорезаводчик, буксир, судно постачання (<i>anchor-handling Tug Supply vessels, ahTS</i>). Системи "Азіпод". А-подібна рама обробки якорів, компенсований підйомний кран, лебідки <i>Rolls-Royce</i> . Ширина 23 м. Довжина 90,6 м. Осадка 7,1 м. Водотоннажність 3400 т. Швидкість 17,5 вузл. Головні двигуни - 4 × 2765 кВт. Тягове зусилля до 270 т.	 Буксир-якорезаводчик <i>UT 790 WP</i>
3	Багатоцільове судно для обслуговування суден (<i>Multipurpose Service Vessels, MpSV</i>). Для складних морських операцій, висока динаміка, можливість позиціонування. Застосовується для підводного будівництва, якорезаведення. Легкий гелікоптер. Комбінована дизель-механічна або дизель-електричні машини. Компенсований підйомний кран або А-рама. Довжина 93,4 м. Ширина 22 м. Осадка 6,5 м. Водотоннажність 4700 т. Швидкість 18,5 вузл. Головні двигуни: 2 × 7500 кВт, 3 × 1600 кВт. Тягове зусилля понад 300 т.	 Багатоцільове судно <i>UT 788 CD</i>

Продовження табл. А1

1	2	3
4	Сервісне судно-платформа (Subsea construction). Для глибоководного будівництва, морських спеціальних монтажних робіт, операцій завантаження-вивантаження специфічних вантажів з різними модулями обробки вантажів. Легкий гелікоптер. Довжина 135 м. Ширина 30 м. Осадка 8,0 м. Водотоннажність 11800 т. Швидкість 14,5 вузл. Головні двигуни 6×4320 кВт, дизель електричні машини з азимутальним пропульсивним комплексом.	 Універсальне судно-платформа <i>UT 768 WP</i>
5	Дослідницьке судно. Сейсмічна розвідка, екологічний моніторинг (Seismic vessel). 16 стримерів, можливість роботи в Арктиці та тропіках. Гвинтокрил Sikorsky S92. Гібридна силова установка. Головні двигуни 2×4500 кВт. Довжина 90,2 м. Ширина 23 м. Осадка 7,3 м. Швидкість 16 вузл. Тягове зусилля 125 т.	 Дослідницьке судно-розвідник <i>UT 830 WP</i>
6	Корабель берегової охорони (Coastguard). Спецоперації, патрулювання, рибноохорона, аварійні режими очікування, контроль і часткове усунення забруднень навколишнього середовища, моніторинг, рятувальні операції, буксирування. Довжина 83 м. Ширина 15,5 м. Осадка 6 м. Водотоннажність 1500 т. Швидкість 18,5 вузл. Тягове зусилля 100 т.	 Корабель берегової охорони <i>UT 512</i>
7	Кормовий траулер (Stern trawlers) універсального призначення (можливе застосування - мінний тральщик; кілектор, установка активного озброєння). Довжина 75,1 м. Ширина 16 м. Осадка 6,5 м. Швидкість 17 вузл. Головні двигуни 2×2560 кВт. Трюм 2000 м^3 .	 Траулер <i>NVC 372 WP</i>

1	2	3
8	Універсальний (<i>Pelagic trawlers, PeT</i>) пелагічний траулер (можливе застосування - мінний тральщик; установка активного озброєння). Лебідки <i>Rolls-Royce</i>, козловий кран. Довжина 63,8 м. Ширина 14 м. Осадка 7,2 м. Швидкість 16 вузл. Потужність СЕУ - 3000 кВт. Трюм 1600 т.	 Універсальний траулер <i>NVC 349</i>
9	Мале універсальне судно. Берегова охорона, патрулювання економічних зон. Інтегровані СЕУ, середньооборотні дизелі <i>Bergen Engines AS</i>. Довжина 54,4 м. Ширина 9,0 м. Осадка 2,4 м. Швидкість 23 вузл. Водотоннажність 4500 т. Активне озброєння: одна 30-мм артустановка <i>Mark 44 (Bushmaster II) Alliant Techsystems Cannon</i>, дві 50 мм гармати <i>Cal HMG</i>. Човни: 2 × 8 м, 45 вузл, <i>rHIBs</i>, 1 × 5 м, <i>Workboat</i>.	 Універсальне судно допоміжного флоту <i>MPV55</i>
10	Судно підтримки логістики (<i>LSV VARIANtS</i>). Матеріально-технічне забезпечення кораблів, поповнення флоту паливом, авіаційним паливом, водою, іншими ПММ безпосередньо в море (траверсом). Запатентована конструкція корпусу. Довжина 155 м. Ширина 24,5 м. Осадка 8,3 м. Швидкість 18 вузл.	 Судно підтримки логістики <i>LSV</i>
11	Багатофункціональне гідрографічне судно-розвідник (<i>NVC-DesignTM Hydrographic, Multipurpose Vessels</i>). Відбір проби води, сейсмічні (глибинні) випробування, геологорозвідка, морська біологія, монтажні операції на морському дні до 6500 м. Вкрай низький рівень шуму й вібрацій, динамічне позиціонування, колонкове дно. Активні системи стабілізації при будь-яких погодних умовах. Довжина 66,4 м. Швидкість 13 вузл.	 Багатофункціональне судно <i>NVC 360</i>

Продовження табл. А1

1	2	3
12	Постачання плавучих бурових установок витратними матеріалами, доставка устаткування, спеціальні та буксирувальні операції, постановка/ підйом якорів плавучих бурових установок, рятувальник, аварійно-рятувальне чергування, ліквідація розливів нафти (<i>DYNPOS-2 Tug, Supply vessel, Salvage ship, Special purpose ship</i>). Довжина 87,45 м. Ширина 20,0 м. Осадка 6,5 м. Швидкість 16,8 вузл. Тяга на гаку 180 т. Клас <i>KM Arc4, AUT1 FF2WS</i> .	 Судно постачання "Арктична", пр. 22370
13	Якорезаведення, буксирування, постачання (<i>Offshore, Supply Anchor Handling, Tug</i>). Тяга на гаку 120 т. Довжина 66,0 м. Ширина 16,0 м. Осадка 6,20 м. Дедвейт 2100 т. Урівноважений кран, лебідки. СЕУ - 2 × <i>MAN Diesel 9L27/38-VBS. ABS</i> Клас + А1.	 Буксир-постачальник <i>Pacific Wall</i>
14	Забезпечення бурових і видобувних платформ, постачання труб, цементу, бурових і соляних розчинів, запчастин, палива, води, продовольства. Допомога аварійним суднам, плавучим буровим установкам, прийняття/розміщення врятованих людей, гасіння пожеж на суднах, плавучих і берегових спорудах. Прийняття на борт і розміщення до 100 врятованих людей. Необмежений район автономного плавання (до 30 діб) у морях арктичного шельфу. Система динамічного позиціонування, супутникової навігації, системи спец. датчиків, ехолоти. Кран. Дедвейт 4415 т. Довжина 90,0 м. Ширина 19,0 м. Швидкість 17 вузл. Екіпаж 20 чол.	 Універсальне судно-постачальник "Іван Сидоренко", пр. 22420
15	Патрулювання, боротьба з забрудненням, буксирування, обладнання для усунення нафтових розливів, резервуари до 200 м³. Кран. Можливість установки 1-го великокаліберного кулемета. Клас <i>DNV: +I, ICE 1C (B), SF, E.O., Dyn Pos AUTS, Clean</i> . Довжина 47,0 м. Ширина 10,5 м. Осадка 4 м. Швидкість 17 вузл. Тяга на гаку 30 т. Дедвейт 250 т.	 Малий універсальний буксир <i>UT 504</i>

Продовження табл. А1

1	2	3
16	Патрулювання, обладнання контролю нафто-масляних розливів, резервуар для вилученого масла 1000 м. Рибоохорона, аварійний режим очікування, буксирування, швидкий спуск рятувальних катерів, потужні громадянські та військові системи зв'язку. Можливість установки активного озброєння. Кран. Клас DNV: + 1A1, Буксир, Fi-Fi 1, E.O. Довжина 83,0 м. Ширина 15,5 м. Осадка 6,0 м. Швидкість 18,5 вузл. Тяга на гаку 110 т. Дедвейт 1500 т.	 Універсальний патрульний корабель UT 512
17	Берегова охорона. Аварійний режим очікування, аварійно-рятувальні, прикордонно-митні, правоохоронні операції. Контроль рибопромисла. Допомога аварійним танкерам (до 300 тис т), буксирування, доставка масла, ремонт. Можливість установлення активного озброєння, пожежогасіння. Клас DNV: +1 A1, ICE C (1B), Буксир, Fi-Fi 2, E.O. Довжина 80,0 м. Ширина 16,5 м. Осадка 6,8 м. Швидкість 19,5 вузл. Тяга на гаку 200 т. Дедвейт 1600 т.	 Універсальний корабель берегової охорони UT 515
18	Берегова охорона, контролювання забруднення, установлення бонових загороджень і скімерів. Розвідка, боротьба з контрабандою, захист рибальства, пошуково-рятувальні роботи, моніторинг, пожежогасіння. Легкий гелікоптер, катери. Крани. Можливість установлення активного озброєння. Клас DNV: + 1A1, SF, HELI-DK (SH), Fi-Fi 1, Dyn Pos AUTS, E.O., Crane, ICS. Довжина 94,0 м. Ширина 15,5 м. Осадка 4,5 м. Швидкість 20,0 вузл. Дедвейт 1500 т.	 Корабель берегової охорони UT 517

...

1	2	3
79	Судно, що гнучко перебудовується, багатопрофільне, резервно-рятувальне. Адаптується для військових операцій. Постачання, буксирування. Два швидкісних дочірніх судна, що вилучаються через люк або корму. Запатентований корпус. Розміщення врятованих людей або спецконтингенту. Гелікоптер. Кран. Клас <i>DNV: + 1A1, HELI DK-SH, Fi-Fi 1/2, Dyn Pos AUTR, E.O., Com F-V (3) C (3)</i>. Довжина 92,0 м. Ширина 18,0 м. Осадка 5,8 м. Швидкість 20,0 узл. Тяга на гаку 130 т. Дедвейт 1600 т.	 Резервно-рятувальне судно <i>UT 527</i>
80	Швидкохідний ліфтер. Військова підтримка. Розгортання сил швидкого реагування. Транспортування військ, спеціального озброєння, постачання. Запатентований корпус. Низька витрата палива. Логістика. Гелікоптер <i>Chinook</i>. Злітно-посадкова смуга для літаків. Різні бортові системи озброєння автоматичного і ручного управління. СЕУ <i>Rolls-Royce</i>. Клас <i>DNV: + 1A1, HSLC R0</i>. Довжина 177,0 м. Ширина 24,0 м. Вантажопідйомність 2500 т. Швидкість 40 вузл. Дедвейт 4000 т.	 Корабель-ліфтер <i>Fast Naval Sea Lift Vessel</i>
81	Логістика. Підтримка спецоперацій. Розгортання сил швидкого реагування. Транспортування військ, спецозброєння. Постачання. Запатентований корпус. Низька витрата палива. Логістика. Гелікоптер <i>Chinook</i>. Злітно-посадкова смуга. Бортові системи озброєння автоматичного і ручного управління. СЕУ <i>Rolls-Royce</i>. Клас <i>DNV: + 1A1, HSLC R0, CARGO, HELIDK-SH</i> або <i>LR, BV, GL, ABS</i>. Довжина 121,0 м. Ширина 19,0 м. Швидкість 40 вузл. Дедвейт 1100 т.	 Логістичний корабель <i>Intra Theatre Logistic Vessel</i>

Додаток Б


ПАО «ЧЕРНОМОРСУДОПРОЕКТ»
PJSC «CHERNOMORSUDOPROJECT»

54038, Украина, г. Николаев, ул. Бузника, 5

5, Buznika str., Nikolaev, 54038, Ukraine

тел.: +38 0512 70 93 20

м.тел.: +38 067 264 54 44

факс: +38 0512 34 10 60

www.chsp.mksat.net

e-mail: chsp.pjsc@gmail.com

АТ "Райффайзен Банк Аваль"

расч. счет: 26004205489

ЕГРПОУ: 14308782

МФО: 380805

Исходящий № 7от «29» 05 2018 г.**АКТ**

**про впровадження результатів дисертаційної роботи Мазур О.М.
на тему «Підвищення ефективності експлуатації багатоцільового судна
допоміжного флоту на водних шляхах України»**

У ПАТ «Чорноморсуднопроект» були використані та впроваджені результати наукової праці за темою „Підвищення ефективності експлуатації багатоцільового судна допоміжного флоту на водних шляхах України”, які мають актуальність, містять значний практичний інтерес при проектуванні багатоцільових суден, а саме:

- методики розрахунку експлуатаційних та маневрових характеристик багатоцільового судна ледового типу;
- методики ідентифікації параметрів математичної моделі судна, яка використовується для забезпечення режимів ефективної експлуатації судна при стабілізації курсу.

Робота має виражену практичну спрямованість, представляє для підприємства безперечний інтерес.

Заступник голови правління,
кандидат технічних наук, доцент



Зайцев Д.В.



А К Т

про використання результатів дисертаційного дослідження здобувача Мазур Оксани Миколаївни, пов'язаних із створенням та оцінкою техніко-експлуатаційних характеристик багатоцільового судна подвійного призначення у навчальному процесі Національного університету "Одеська морська академія"

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційного дослідження здобувача Мазур Оксани Миколаївни, присвячені створенню концепції побудови та оцінки техніко-експлуатаційних характеристик багатоцільового судна подвійного призначення, використовуються у навчальному процесі.

Зокрема, основні результати авторських дослідів використовуються курсантами III-го курсу очної, I-го курсу скороченої форми і III-го курсу заочної форми навчання у дисципліні "Теорія та устрій судна" під час вивчення устрою судна та його морехідних якостей, що підтверджується методичними вказівками "Теорія і устрій судна: методичні вказівки для виконання практичних занять" / Укл. Бурмака І. О., Мазур О. Н., Сауляк С. В. і інш. - Одеса: ОНМА, 2012. - 76 с.

Також, основні результати дисертаційного дослідження Мазур О. М. використовуються у курсовому проектуванні на факультеті морських перевезень і технологій, у випускних дипломних роботах магістрів зі спеціальності судноводіння 271 — "Річковий та морський транспорт", при завершенні навчання у Національному університеті "Одеська морська академія".

Начальник навчального відділу

Пархоменко М.М.

Декан факультету

"Морські перевезення та технології", к.т.н.,
доцент

Ворохобін І.І.

Завідувач кафедри "Теорія та устрій судна",
к.т.н., доцент

Бурмака І.О.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника Військової академії з наукової роботи — начальник відділення, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

полковник

О. І. Кравчук

«___» _____ 2017 р.

ДОВІДКА

Цим підтверджується, що результати дисертаційного дослідження «Підвищення ефективності експлуатації багатоцільовим судном допоміжного флоту на водних шляхах України» здобувача Мазур О.М. заслухано та обговорено на засіданнях наукового Семінару «Оптимальне управління і експлуатація електроприводів спеціальних установок» Вченої Ради Національної академії наук України з проблеми «Наукові основи електроенергетики» (Військова академія, м. Одеса) у 2015-2017 роках.

У ході апробації на наукових Семінарах встановлено, що результати дисертаційного дослідження Мазур О.М. мають актуальність, наукову новизну та практичну значимість при проектуванні, створенні та експлуатації складних технічних систем різного призначення, зокрема багатоцільових суден льодового класу, що здатні виконувати різноманітні технологічні завдання.

Учений секретар семінару,
зав. лабораторією, працівник ЗСУ



Т. С. Обнявко

**ГВСП «БАЗА ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ФЛОТУ
Приватне акціонерне товариство
«Українське Дунайське пароплавство»**

2а, вул.Фанагорійська, м.Ізмаїл,
Одеська обл., Україна, 68600,
Телефон: (04841) 48-550
Телефакс: (04841) 48-550
Телекс: 732207 UDPUX
E-mail: bkof @ udr.izmail.uptel.net
Web-сайт: oaoudp.com.ua
Код по ЄДРПОУ: 38543322



**ХОСП «БАЗА ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ФЛОТА»
Частное акционерное общество
«Украинское Дунайское пароходство»**

2а, ул. Фанагорийская, г.Измаил,
Одесская обл., Украина, 68600,
Телефон: (04841)48-550
Телефакс: (04841) 48-550
Телекс: 732207 UDPUX
E-mail: bkof @ udr.izmail.uptel.net
Web-сайт: oaoudp.com.ua
Код по ЕГРПОУ: 38543322

На № 351 від 29.05.18

АКТ

**про практичне застосування результатів дисертаційного дослідження
Мазур Оксани Миколаївни «Підвищення ефективності експлуатації
багатоцільового судна допоміжного флоту на водних шляхах України»**

Цим актом підтверджується, що ряд результатів дисертаційної роботи Мазур Оксани Миколаївни «Підвищення ефективності експлуатації багатоцільового судна допоміжного флоту на водних шляхах України» використовуються у ГВСП «База технічного обслуговування флоту».

Зокрема, це:

- методики для аргументованого обрання постачальників матеріалів і засобів для ремонту суднових головних двигунів, допоміжних механізмів, паливної апаратури і суднової автоматики;
- методики оцінки якості результатів ремонту;
- методики експертного оцінювання варіантів технічних рішень щодо організації судноремонту.

Використання запропонованих методик підтримки прийняття рішень дозволяє уникнути неоднозначності при багатоваріантному виборі можливих технічних рішень та у виборі постачальників обладнання.



**Заступник начальника
ГВСП «БТОФ»**

Тукалов В.Є.

Підг. «БТОФ»



**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ
СЕРТИФІКОВАНА НА
ВІДПОВІДНІСТЬ ISO 9001:2008
Регістром судноплавства України**