

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

**ЄГОРОВ ОЛЕКСАНДР ГЕННАДІЙОВИЧ**

УДК 629.5.01: 629.542

**ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВНИХ СУДЕН  
І БАРЖЕ-БУКСИРНИХ СОСТАВІВ ЗМІШАНОГО ПЛАННЯ**

Спеціальність 05.08.03  
Конструювання та будування суден

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному морському університеті (ОНМУ) Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник –** доктор технічних наук, професор  
**Некрасов Валерій Олександрович**,  
Одеський національний морський  
університет, кафедра теорії та проектування  
корабля імені професора Ю.Л. Воробйова,  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова (НУК), завідувач  
кафедри теорії та проектування суден НУК.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Дихта Леонід Михайлович**,  
Чорноморський державний університет імені  
Петра Могили, кафедра прикладної та вищої  
математики;

кандидат технічних наук, доцент  
**Давидов Ігор Пилипович**,  
Одеська національна морська академія,  
кафедра теорії та устрою судна.

Захист відбудеться "\_\_\_" січня 2016 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.02 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9.

Автореферат розісланий "\_\_\_" грудня 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук, професор



Коростильов Л.І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність проблеми.** Потенціал судноплавних рік України використовується недостатньо. З урахуванням географічних і економічних особливостей, найбільш привабливою є доставка вантажів з басейну Дніпра в басейн Дунаю або Чорного моря.

У листопаді 2013 року Уряд України доручив «профільним міністерствам до кінця року підготувати програму розвитку судноплавства по Дніпру...». Розробка нових проектів суден для перевезення різних видів вантажу по внутрішнім водним шляхам (ВВШ) і прибережним районам України і їх будівництво є стратегічно важливою задачею, зважаючи на розвиток експортно-імпортних відносин України й зміцнення її геополітичного стану.

Одним з найбільш ефективних видів водного транспорту під час перевезення масових вантажів є барже-буксирні состави (ББС) і составні судна (СС). Потрібні суховантажні судна змішаного ріка-море плавання (ЗП), які замінять судна, що відробили термін служби, для вивозу продукції України з річкових портів на перевантажувальні комплекси Дунаю й Чорного моря.

Починаючи з 2014 року, спостерігається підвищений інтерес до максимально ефективних суден змішаного плавання (СЗП) для Дніпровського регіону через різко збільшені вантажопотоки, в основному, за рахунок експортних перевезень зерна.

Таким чином, задача створення сучасних вітчизняних ББС і СС ЗП представляється актуальною і важливою не тільки для воднотранспортної галузі, але й для всієї України.

Дослідження морських і річкових ББС і СС проводилися як у радянський, так і в теперішній час. При цьому щодо проблем проектування ББС і СС ЗП публікацій вкрай мало.

Практично не досліджувалися обмеження ВВШ України, що визначають основні характеристики суден, які працюють із річкових портів Дніпра.

Створення наукових основ визначення головних розмірних і основних характеристик ББС і СС ЗП, які працюють у річковій і морській воднотранспортних системах України, з урахуванням обмежень – шляхових умов, дозволить реалізувати оптимальну концепцію їх ефективної експлуатації під час перевезення масових партій вантажів у різних умовах, що особливо важливо для верфей та проектних організацій під час проектування нових суден, вантажовласників і судновласників під час укладання бізнес-планів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Обраний напрямок дисертаційного дослідження відповідає Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» №3715-VI від 08.09.2011 (редакція від 05.12.2012), ст. 4 «Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011-2021 роки» (п. 2 «освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки») і «Транспортній стратегії України на період до 2020 року», затвердженій розпорядженням КМУ від 20.10.2010 №2174-р, а саме: «модернізація та будівництво річкового флоту».

**Об'єкт дослідження.** Проектування барже-буксирних составів і составних суден змішаного ріка-море плавання.

**Предметом дослідження** є характеристики барже-буксирних составів і составних суден змішаного ріка-море плавання, які забезпечують оптимальні значення показників їх економічної ефективності.

**Метою наукового дослідження** є розробка методу визначення оптимальних головних розмірень і характеристик ББС і СС ЗП, у тому числі, – для експлуатації в річковій і морській воднотранспортних системах України.

**Основними задачами наукового дослідження** є:

- аналіз шляхових і комерційних умов експлуатації перспективних СЗП для лінії Дніпро – Чорне море – Дунай із систематизацією зовнішніх дій на їхні корпуси й основних обмежень головних розмірень;
- аналіз технічного стану досліджуваних суден, ризику їх експлуатації, ідентифікація основних небезпек експлуатації суден внутрішнього плавання (СВП) і СЗП, у тому числі ББС і СС, з метою виявлення факторів, які роблять визначальний вплив на проектування цих об'єктів;
- аналіз можливості застосування існуючих зчіпних пристроїв ББС і СС і їх відповідності передбачуваному району експлуатації;
- аналіз металоемності СЗП нового покоління з метою визначення складових їх вагового навантаження;
- створення методу визначення оптимальних головних розмірень і характеристик ББС і СС ЗП, який включає математичну модель інженерних і навігаційних властивостей, математичну модель функціонування і оптимізаційну задачу, яка дозволяє визначати оптимальні значення коефіцієнта загальної повноти  $C_b$  для різних експлуатаційних швидкостей і ліній, і його реалізація у вигляді програмного комплексу;
- розробка наукових рекомендацій з вибору оптимальних варіантів ББС і СС для України.

**Методи дослідження.** Теоретичною й методологічною основою дослідження є теоретичні й експериментальні методи системного підходу, методи статистичної обробки, метод кореляційно-регресійного аналізу, а також методи теорії корабля й проектування суден.

Для оцінки ризику експлуатації СВП і СЗП застосовуються методи формалізованої оцінки безпеки, ймовірнісного аналізу безпеки, аналізу можливих відмов і їх наслідків.

При формулюванні й розв'язку задачі функціонування ББС і СС використовується метод моделювання детермінованих процесів функціонування таких систем.

Для розв'язку оптимізаційної задачі застосовується варіантний метод.

**На захист виносяться основні результати роботи** – сукупність теоретичних, методичних і практичних питань, пов'язаних з визначенням головних розмірень і характеристик ББС і СС ЗП, у тому числі, – для експлуатації в річковій і морській воднотранспортних системах України.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Робота містить у собі нові науково обґрунтовані розв'язки найважливішої народногосподарської задачі проектування ББС і СС ЗП для України:

- на основі застосування методів корекційно-регресійного аналізу й спеціально поставленого авторського експерименту істотно удосконалена математична модель інженерних і навігаційних властивостей ББС і СС ЗП, у тому числі для використання в річковій і морській водотранспортних системах України, яка зв'язує ці властивості із оптимальними головними розмірними й основними характеристиками, які визначаються для розглянутих об'єктів. Вперше отримано коефіцієнт зчалу самохідного судна-штовхача й баржі «Дніпро-макс» класу з коефіцієнтом загальної повноти  $C_b = 0,930$  при їх спільній експлуатації шляхом проведення модельних випробувань в дослідному басейні. Також вперше отримано залежності для постатейного визначення вагового навантаження несамохідних і самохідних СЗП із коефіцієнтом загальної повноти  $C_b > 0,900$ . Удосконалено регресійні залежності для проектування корпусів вантажних самохідних СЗП нового покоління, для визначення потужності головних двигунів самохідних суден, питомої вантажомісткості суховантажних суден. За результатами модельних випробувань і досвіду експлуатації самохідних СЗП із  $C_b = 0,930$  отримала подальший розвиток методика визначення буксирувального опору й буксирувальної потужності ББС і СС ЗП.

- за результатом аналізу структури водних шляхів, погодних умов експлуатації суден на цих водних шляхах і застосування методів моделювання водотранспортних операцій вперше розроблена математична модель функціонування ББС і СС ЗП, яка забезпечує визначення показників ефективності їх експлуатації, формує тривіальні й функціональні обмеження оптимізаційної задачі. Отримано формули для визначення часу кругового рейсу для різних моделей експлуатації ББС і СС ЗП. Удосконалено залежності для визначення втрати швидкості на морській ділянці для СЗП із великою повнотою. В результаті обробки даних вітро-хвильових режимів у північно-західному районі Чорного моря отримано ймовірності появи хвиль 3% забезпеченості висотою від 1 до 3 м на морській ділянці в літню й зимову навігації, які враховувалися при визначенні коефіцієнта реалізації швидкості розглянутих составів. Шляхом обробки статистичних даних по витратах судноплавних компаній, які оперують флотом СЗП, отримано вдосконалені залежності для складових експлуатаційних витрат;

- вперше оптимізаційна задача, результатом розв'язку якої з'явилось теоретичне обґрунтування оптимальних характеристик ББС і СС ЗП, зведена до знаходження мінімального терміну окупності при варіаціях коефіцієнта загальної повноти й реальних експлуатаційних швидкостей ББС і СС ЗП.

**Практичне значення отриманих результатів.** Створена база даних самохідних і несамохідних СЗП, яка відображає їхній сучасний стан за інженерними і морехідними властивостями, такими як місткість, плавучість, міцність, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість і мореплавність.

Визначені основні небезпеки експлуатації СВП і СЗП, включаючи ББС і СС, і частота їх виникнення, що дозволяє судновласникам, проектантам і наглядовим

органам звертати увагу на найбільш актуальні проблеми експлуатації досліджуваних суден.

Розроблено програмний комплекс «Dнерго-тах», який дозволяє визначати оптимальні значення головних розмірів і характеристик ББС і СС ЗП.

**Впровадження результатів дисертації.** Розроблений метод визначення головних розмірів і характеристик ББС і СС ЗП і програмний комплекс «Dнерго-тах» впроваджені в робочий процес Морського Інженерного Бюро (МІБ) при проектуванні составних суден «Дніпро-макс» класу проекту RSD67+RDB67 для Дніпро-Бузького морського терміналу, Укррічфлоту та компанії «Concord Shipbuilding Corp» проекту RSD64+RDB64 (з модифікаціями), мілкосидячих составних суден для Сосновського суднобудівного заводу та для «Заводу Нижегородський теплохід» – проекти RD63+RDB21, RT63+ROB21, RT63A+ROB21A, а також при розробці «Обґрунтування можливості експлуатації барже-буксирних составів на річці Дніпро» (Випуск МІБ.4645 і Випуск МІБ.4722). Теоретичні результати роботи впроваджені в навчальний процес Одеського національного морського університету на кафедрі «Теорія та проектування корабля імені проф. Ю.Л. Воробйова».

**Особистий внесок дисертанта.** Усі положення і висновки, методи, методики, програмний комплекс, аналітичні й емпіричні залежності, що виносяться на захист, належать особисто авторові. З робіт, опублікованих у співавторстві, на захист виносяться тільки ті частини, які розроблені особисто автором.

У роботах, написаних у співавторстві, дисертантові належить:

- [6] – обробка статистичної бази, перевірка й коректування отриманих регресійних залежностей;
- [10] – обробка статистичної бази, одержання регресійних залежностей, аналіз розподілу маси корпусів суден по групах і номенклатурі зв'язків, аналіз розподілу навантаження металевого корпусу, навантаження судна порожньому;
- [15] – аналіз вантажопотоків, оцінка технічного стану флоту України, обґрунтування концепції ББС «Дніпро-макс» класу, розрахунки економічної ефективності ББС.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися й одержали позитивну оцінку на міжнародній науково-технічній конференції (МНТК) «Інновації в суднобудуванні й океанотехніці», м. Миколаїв (2012 р., 2013 р., 2015 р.), на МНТК з БМК, присвяченої пам'яті проф. П.Ф. Папковича, м. Санкт-Петербург, Росія (2012 р.), на Міжнародному Симпозіумі з питань проектування суден і інших плавучих споруд (PRADS 2013), м. Чханвон, Південна Корея (2013 р.), на МНТК з БМК, присвяченої пам'яті академіка Ю.О. Шиманського, м. Санкт-Петербург, Росія (2013 р.), на 12-й МНТК із питань розвитку морських технологій «Black Sea 2014», м. Варна, Болгарія (2014 р.), на 4-й МНТК «Теорія й практика раціонального проектування, виготовлення й експлуатації машинобудівних конструкцій», м. Львів (2014 р.), на всеукраїнській НТК із міжнародною участю «Сучасні технології проектування, будівництва, експлуатації й ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд», м. Миколаїв (2015 р.), на XII Міжнародному симпозіумі інженерів-механіків

(ISUMEL – 12), м. Львів (2015 р.), на МНТК по суднобудуванню «TEAM XXIX», м. Владивосток, Росія (2015 р.).

**Публікації.** Основні положення та результати проведених досліджень відображені в 27 друкованих наукових працях, з них основних публікацій у наукових спеціалізованих виданнях, рекомендованих переліком ДАК МОН України – 15 (з них 12 без співавторів); публікацій в міжнародних журналах – 1; доповідей на міжнародних конференціях – 10 (з них 9 без співавторів); доповідей на українських конференціях – 1.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів з висновками, висновку й 13 додатків. Обсяг дисертації (Частина 1) становить 264 сторінки, включаючи 159 сторінок основного машинописного тексту, 80 рисунків (на 42 сторінках), 38 таблиць (на 37 сторінках). Список використаних джерел містить 225 найменувань (на 26 сторінках). Додатки (Частина 2) займають 231 сторінку.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, визначені мета та задачі дослідження, показана наукова новизна й практичне значення роботи, наведені положення, які виносяться на захист.

**У першому розділі** виконано огляд існуючих ББС і СС і варіантів їх класифікації, здійснено аналіз технічного стану суден, що експлуатуються під наглядом Регістру судноплавства України (РУ), виконано пошук основних характеристик суден-прототипів, проаналізовано вантажопотоки річкових і морських портів України.

Ситуація на ринку морських і річкових перевезень неоднозначна, але з перспективами росту вантажопотоків як Дунаєм, так і Дніпром. Стосовно до дніпровського регіону можна чекати збільшення вантажопотоків за рахунок зменшення обсягів перевезень залізницею й автопотягами. При переході рухомого складу в приватні структури та посиленні контролю за ваговим навантаженням на вісь автомобілів, слід очікувати підвищення тарифів на перевезення вантажів, що позитивно впливатиме на конкурентоспроможність водного транспорту.

Аналіз технічного стану показує, що подальша експлуатація існуючого флоту СВП і СЗП України зв'язана зі значними ризиками (можливі вихід з ладу суднових пристроїв, машин і механізмів, водотічність зовнішнього обшивання, деформації корпусу та багато інших ситуацій, які можуть призвести як до екологічної катастрофи, так і до загибелі судна й екіпажа), тому в найближчі роки слід очікувати масового списання суден, середній вік яких перевищує 40 років.

Для задоволення попиту на перевезення по напрямках Дніпро – Чорне море – Дунай, Дніпро – Чорне море, Дунай – Чорне море, у найближчому майбутньому знадобляться нові, сучасні судна, включаючи ББС і СС, які є найбільш економічно вигідними варіантами за умови стабільних вантажопотоків і налагодженого логістичного ланцюжка в портах під час завантаження/вивантаження, особливо, в умовах обмежених глибин на Дніпрі.

Показані відмінності між ББС і СС, наведена коротка історична довідка про проектні ідеї, закладені під час їхнього створення.

Аналіз існуючих суден-прототипів дозволяє зробити висновок про те, що проекти оптимальних ББС і СС ЗП, призначених для перевезень вантажів із Дніпра на Дунай або в порти Чорного моря, відсутні.

Сучасні СЗП нового покоління, включаючи составні, відрізняються від розроблених у радянський час збільшеною місткістю вантажних трюмів або танків за рахунок підвищення коефіцієнту загальної повноти й застосування високих надпалубних конструкцій (комінгсів і тронка). Вони мають збільшену потужність головних двигунів, які забезпечують безпечну роботу СЗП на хвилюванні відповідно до обраного класу, що вимагає відповідного аналізу й обґрунтування. Для самохідних СЗП таке обґрунтування було виконано в роботах Г.В. Єгорова, однак, воно не містило в собі СЗП із великою повнотою обводів, з коефіцієнтом загальної повноти  $C_b > 0,900$ , зниженим надводним габаритом і винесеною в носову частину судна надбудовою, концепція яких була розроблена в 2011 році в МІБ. Аналіз характеристик несамохідних СЗП нового покоління в публікаціях детально не проводився.

Г.В. Єгоров показав, що для СЗП нового покоління вибір головних розмірень повністю визначається шляховими умовами. Незважаючи на очевидні шляхові обмеження, у радянський час підходи до проектування суден обмеженого плавання були схожі зі стандартною («морською») схемою визначення головних розмірень і елементів (В.В. Вицинський, М.К. Дормидонтов та ін.). Тому аналіз обмежень, які накладаються умовами експлуатації, становить принциповий інтерес для вибору основних характеристик СС (ББС) ЗП. У рамках магістерської випускної комплексної роботи «Створення нового флоту для перевезень вантажів із Дніпра на Дунай», виконаної, у тому числі, автором, в ОНМУ під керівництвом С.М. Баскакова, були виконані розрахунки, які показали, що для перевезення масових партій вантажу на лінії Дніпро – Дунай найбільш ефективними є судна, що максимально використовують шляхові обмеження. У роботі Ю.О. Кочнева, виконаній у Волзькій державній академії водного транспорту під керівництвом Є.П. Роннова, підтверджуються раніше отримані висновки про те, що головні розмірення необхідно обирати максимально можливими для розглянутої лінії.

Розробки способів оцінки вагового навантаження за наближеними залежностями і визначення водотоннажності порожнього судна на початковій стадії проектування виконувалися для різних типів суден, включаючи СЗП, В.В. Ашиком, І.Г. Бубновим, Н.Г. Валько, Г.В. Єгоровим, П.О. Малим, М.К. Дормидонтовим та ін., для річкових і морських несамохідних суден – Б.В. Богдановим і В.І. Поспеловим.

Питанню оптимізації основних характеристик суден, яке є основним для початкового етапу проектування та для оцінки економічної ефективності, приділялося досить уваги як у радянський (В.М. Пашин), так і в теперішній час (в роботах М.В. Войлошникова, В.О. Некрасова, М.О. Єфремова та інших вчених, у тому числі закордонних). Визначення й оптимізація основних характеристик сучасних СВП і СЗП представлена в роботах МІБ під керівництвом Г.В. Єгорова, Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) під керівництвом В.О. Некрасова, О.І. Соломенцева, О.В. Бондаренко, А.М. Вашедченко та ін., у роботах А.Ф. Відецького, А.Б. Карпова, Ю.О. Кочнева, Є.П. Роннова, Є.Р. Ратнера, Б.М. Сахновського, М.О. Таранухи та ін. Оптимізацією



характеристик ББС і СС внутрішнього й змішаного ріка-море плавання в радянський час займалися Б.В. Богданов і Г.І. Ваганов. При цьому, запропоновані цими авторами залежності й припущення не враховували сучасних реалій: тенденцій до підвищеної «повноти» побудованих сучасних ББС і СС (впливає, головним чином, на опір), змін у Правилах Класифікаційних товариств (КТ), нових зчіпних пристроїв для ріка-море перевезень, широкого застосування методів обчислювальної гідродинаміки (CFD моделювання), взаємодії двох рівнозначних корпусів з урахуванням збільшеного коефіцієнта повноти (дотепер при розрахунках використовуються коефіцієнти зчалу  $C_z$ , запропоновані В.В. Звонковим в 60-і роки на підставі випробувань ББС внутрішнього плавання).

Дослідження в області зчіпних пристроїв для ББС і СС виконували С.В. Преснов і В.П. Лобастов.

Аналіз існуючої літератури по СЗП, включаючи ББС і СС, дозволяє відзначити відсутність у ній детального аналізу шляхових умов, що визначають головні розмірення ББС і СС для експлуатації в річковий і морський водотранспортних системах України; сучасних методик визначення основних характеристик несамохідних і самохідних СЗП із великим  $C_b$ ; сучасних методик визначення буксирувального опору й потужності ББС і СС ЗП із урахуванням результатів CFD моделювання й модельних випробувань суден із великим  $C_b$ ; математичних моделей функціонування ББС і СС ЗП.

**У другому розділі** наведена сучасна класифікація составів, яка спирається на існуючий флот ББС і СС і моделі його експлуатації, аналіз основних існуючих зчіпних пристроїв, відзначені особливості експлуатації ББС і СС та виконано дослідження ризику експлуатації СВП і СЗП, включаючи ББС і СС, з метою визначення основних небезпек.

Особливістю сучасної класифікації составів є експлуатаційні моделі: «самохідне судно» (тягова сила прив'язана до барж) і «вертушка» (буксир працює з декількома баржами). Аналіз основних існуючих зчіпних пристроїв показує, що зчіпний пристрій необхідно обирати під кожну конкретну лінію й побажання Замовника, з урахуванням конструктивних обмежень самих зчіпних пристроїв.

Для СЗП із відносно великими морськими переходами рекомендується використовувати напівжорсткі зчіпні пристрої, тому що існуючі сьогодні гнучкі й «річкові» напівжорсткі зчіпні пристрої (незважаючи на успішні експериментальні рейси ББС, які складаються із барж проекту 004ROB05 і буксирів-штовхачів типу «ОТ-2000», групи компаній «Палмалі» в Азовському морі й експлуатацію ББС, які складаються із барж проекту NBL-90 і буксирів-штовхачів проекту POSS-115, компанії «Нібулон» у Дніпро-Бузькому лимані) не відповідають умовам плавання, а жорсткі зчіпні пристрої морського типу мають надлишкові для позначеного району плавання характеристики, які суттєво збільшують вартість самого зчіпного пристрою.

Для лінії Дніпро – Чорне море – Дунай або лінії Дніпро – морські порти Чорного й Азовського морів рекомендується встановлювати напівжорсткий зчіпний пристрій типу «Articouple». Такий пристрій дозволить заощадити корисну довжину баржі й забезпечить достатні морехідні й міцнісні властивості состава. Для СЗП із

упором на річкову частину, наприклад, для лінії Дніпро – Очаків (банка Трутаєва), рекомендується використовувати «річкові» напівжорсткі зчіпні пристрої типу «О» у сукупності зі сталевими тросами, розрахованими на відповідні навантаження (з обмеженнями по висоті хвилі 2 м при плаванні в Дніпро-Бузькому лимані). При більш сильному хвилюванні на морській ділянці до Очакова необхідно буде водити состав методом буксирування, що дозволить значно здешевити будівництва.

Виділені основні принципові відмінності ББС і СС від самохідних суден. Основна перевага цих суден – у реалізації ефективних, у порівнянні із самохідними суднами, схем доставки вантажів у порти призначення. Якщо судноплавна компанія має відповідні гарантії на постійний вантажопотік, або є, за сумісництвом, і вантажовласником, то в таких випадках реалізація переваг составів очевидна при правильній організації роботи всіх ланок логістичного ланцюжка.

Проведені дослідження ризику експлуатації СВП і СЗП, включаючи ББС і СС, показано вплив віку суден на безпеку мореплавання. Визначені основні небезпеки й частота їх виникнення, побудовані матриці ризику (див. рисунки 1 і 2), отримані залежності числа аварій і катастроф від віку судна, розподіл кількості аварій і катастроф по рокам і по класам. Спостерігається стійкий ріст аварійності для суден старше 13 років з піками аварій для суден з віком 22 – 25 років і 30 – 34 роки. Звертає на себе увагу більший в порівнянні із загальною статистикою відсоток катастроф ББС (46% проти 30%), особливо пов'язаних з ушкодженнями корпусу. Пояснюється це тим, що «дешева» вантажна секція (баржа), найчастіше, залишається без належного спостереження з боку судовласників, берегових служб і наглядових органів.

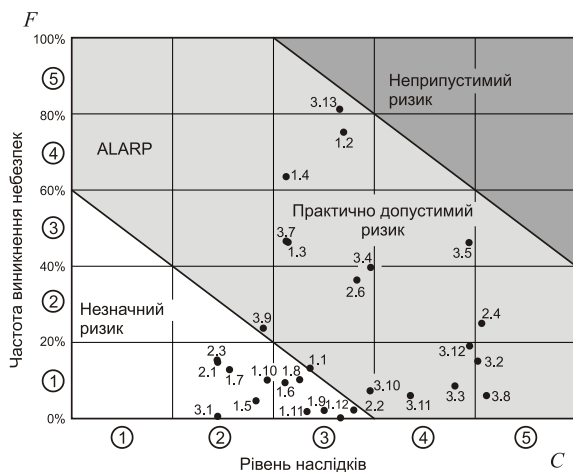


Рисунок 1 – Матриця ризику СВП і СЗП (для катастроф)

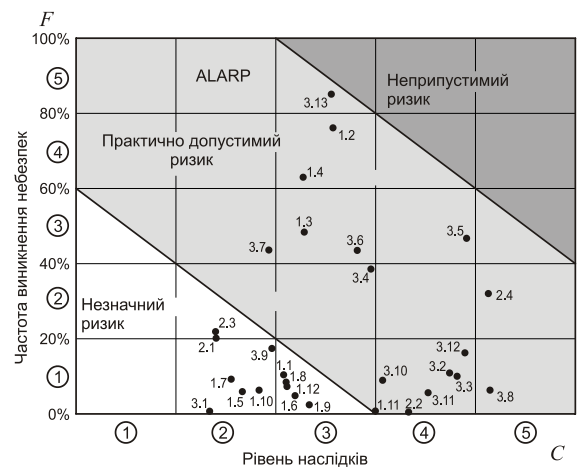


Рисунок 2 – Матриця ризику ББС і СС (для катастроф)

Слід також зазначити, що мали місце катастрофи, пов'язані із затопленням ББС у зчепленому стані. Основні причини: перевантаження баржі, порушення умов і району плавання й, як наслідок, перекидання.

Таким чином, для досліджуваних суден найбільшу небезпеку можуть представляти порушення непроникності відсіків, яке відбувається в результаті вантажних операцій і навігаційних помилок (контакти зі стінками шлюзів, посадки на мілину тощо), корозійних зносів; порушення порядку навантаження-вивантаження, помилки прогнозу погоди, що, як правило, вимагає наявності

додаткового запасу міцності корпусу. Крім того, у роботі наведені рекомендації із проектування окремих елементів конструкцій корпусів.

У третьому розділі розроблено метод визначення оптимальних головних розмірень і характеристик ББС і СС ЗП, у тому числі – для експлуатації в річковій і морській водотранспортних системах України, який включає математичну модель інженерних і навігаційних властивостей судна (ММІНВС), математичну модель функціонування (ММФ), постановку й розв'язок оптимізаційної задачі (див. рисунок 3).

ММІНВС за допомогою розробленої сукупності регресійних залежностей і використаних залежностей теорії корабля зв'язує головні розмірення ББС і СС із показниками інженерних і морехідних властивостей цих транспортних комплексів. ММІНВС є розвитком підходів, що були запропоновані відомим радянським конструктором, творцем суден типу «Волго-Дон» Б.В. Богдановим.

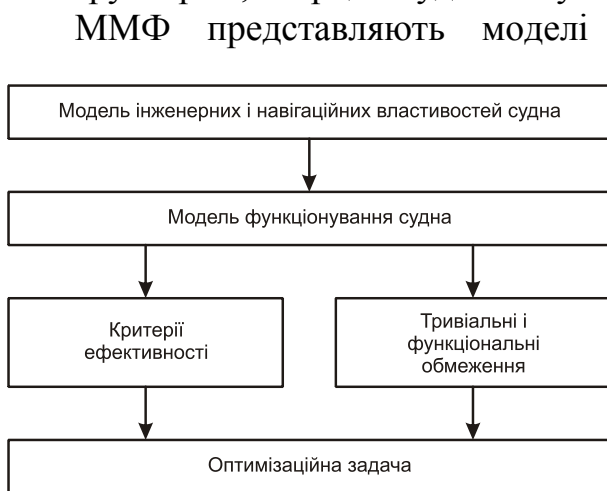


Рисунок 3 – Метод визначення головних розмірень і характеристик ББС і СС ЗП

ММФ представляють моделі експлуатації ББС або СС. Виходячи з особливостей схем експлуатації й характеристик функціональних операцій, які виконуються, вони визначають провозоспроможність і показники ефективності ББС і СС за досліджуваний період.

Постановка оптимізаційної задачі дозволяє визначити цільову функцію (у даному методі цільова функція зводиться до знаходження мінімального терміну окупності  $T_0$  при різних варіаціях  $C_b$  й реального діапазону експлуатаційних швидкостей  $V_s$ , з визначенням оптимального значення  $C_b$ ).

Реалізація методу починається з вибору головних розмірень. Для СВП і СЗП оптимальними є головні розмірення, які максимально використовують фактичні шляхові умови, у таких суден експлуатаційні витрати на одну тону перевезеного вантажу нижче (розмірення надбудови, кількість екіпажу, состав суднових пристроїв і систем практично ті ж самі, що й на інших суднах); доходи вище (перевозиться більше вантажу); під час перевезення однакового обсягу вантажу зменшуються витрати на портові збори через меншу кількість кругових рейсів.

Для досліджуваних ББС і СС ЗП («Дніпро-макс» класу) шляхові обмеження, так звані тривіальні обмеження на розмірення судна, для суден розглянутого класу «жорсткіше» за функціональні обмеження по безпеці плавання.

Для перевірки габаритної довжини  $L_m$  состава для конкретного (найбільш крутого) повороту річки на планованій ділянці експлуатації рекомендується

використовувати формулу, запропоновану Г.І. Вагановим  $L_m \leq 0,5 \cdot b \cdot \left( \sqrt{\frac{R}{B_c}} - \frac{c}{v_p} \right)$ , де

$b$  – ширина суднового ходу при повороті річки, м;  $R$  – фактичний радіус

закруглення, м;  $B_c$  – габаритна ширина состава, м;  $c$  – швидкість плину на повороті, км/год;  $v_p$  – розрахункова швидкість проходження составом розглянутої ділянки, км/год.

Мінімальна висота надводного борту  $F_{min}$  розраховується за Правилами КТ або згідно до Міжнародної Конвенції про вантажну марку залежно від обраного класу судна. Як правило, для суден змішаного ріка-море плавання висоту борта  $D$  призначають в межах 5 – 6,5 м, у будь-якому разі  $D \geq d + F_{min}$ .

Перехід від габаритних значень довжини  $L_m$  до різних варіацій для самохідних суден змішаного плавання на початковому етапі проектування можна здійснювати через коефіцієнти, наведені в таблиці 1,  $L$  – довжина розрахункова,  $L_{pp}$  – довжина між перпендикулярами по літню вантажну ватерлінію (ЛВВЛ),  $L'$  – довжина по ватерлінію при річковій осадці,  $L'_{pp}$  – довжина між перпендикулярами по ватерлінію при річковій осадці.

Таблиця 1 – Співвідношення довжин самохідних СЗП

	$L/L_{pp}$	$L'/L'_{pp}$	$L_m/L$	$L_m/L_{pp}$	$L_m/L'$	$L_m/L'_{pp}$
Середнє значення	1,0236	1,0132	1,0150	1,0389	1,0249	1,0386

Для несамохідних СЗП рекомендується здійснювати перехід до розрахункової довжини, приймаючи  $L_m/L = 1,0105$ .

Рекомендується передбачати приблизно по 10 – 15 см з кожного борту на привальний брус, таким чином, розрахункова ширина  $B = B_m - 0,2$ .

Крім визначення головних розмірних важливим є перевірка їх співвідношень:  $L/B$  впливає на ходовість,  $B/d$  – на остійність,  $D/d$  – на непотоплюваність (характеризує запас плавучості),  $L/D$  – на загальну поздовжню міцність,  $B/D$  – на поперечну міцність. Останні дві характеристики регламентуються Правилами КТ. Для сучасних СЗП:  $L/B = 5,5 \div 8,5$ ,  $B/d = 3,26 \div 5,35$ ,  $D/d = 1,15 \div 1,40$ ,  $L/D = 15,1 \div 27,0$ ,  $B/D = 2,65 \div 3,30$ .

Далі виконуються розрахунки навантаження мас і водотоннажності порожнього судна (за формулами, які наведені у четвертому розділі).

Вантажомісткість  $W$  кожної із секцій состава визначається або через питомі вантажомісткості  $q_i$ , або індивідуально за умови наявності даних розмірних вантажної зони, включаючи висоту комінгса, якщо він передбачається.

Для суховантажних СЗП при осадці по ЛВВЛ  $q_2 = 1,00 + 3,75 \cdot 10^{-5} LBD'_1$ , м<sup>3</sup>/т.  
 Для суховантажних СЗП при осадці в річці (3,60 м)  $q_1 = 1,39 + 5,27 \cdot 10^{-5} LBD'_1$ , м<sup>3</sup>/т.  
 Для суховантажних СЗП при осадці в річці (3,20 м)  $q_{11} = 1,12 + 5,27 \cdot 10^{-5} LBD'_1$ , м<sup>3</sup>/т.  
 Для несамохідних суховантажних СЗП  $q'_{11} = 1,31 + 5,27 \cdot 10^{-5} LBD'_1$ , м<sup>3</sup>/т, де  $D'_1$  – наведена висота борту з урахуванням розвинених надпалубних конструкцій вантажної зони (без урахування надбудови й рубки), м.

Довжину вантажної зони можна визначати за допомогою регресійної залежності  $L_{ГП} = 0,005 \cdot LBD' + 14,23$ .

Ширину вантажної зони  $B_{ГП}$  рекомендується приймати як  $(0,77 \div 0,85) \cdot B$ . Висота комінгсів  $h_K$  для сучасних суховантажних СЗП перебуває в діапазоні  $h_K = 1,2 \div 3,6$  м, для суховантажних СЗП, близьких до максимальних габаритів ВВШ («Дніпро-макс», «Волго-Дон макс» клас)  $h_K = 3,3 \div 3,6$  м.

Функціональні обмеження мореплавності по безпеці плавання, пов'язані із забезпеченням міцності й остійності (положення  $z_g$ ) состава або составного судна, виражаються через регресійні залежності вагового навантаження самохідних і несамохідних СВП і СЗП, які побудовані на основі обробки даних по СВП і СЗП нового покоління, спроектованих МІБ і іншими проектними організаціями.

Суховантажні самохідні судна-штовхачі й несамохідні баржі ЗП, на відміну від буксирів-штовхачів, характеристики яких визначаються за прототипом, мають надлишкову остійність за винятком перевезення зерна. При завантаженні зерном, щоб уникнути появи вільних поверхонь, передбачається необхідна Правилами КТ кількість поперечних перегородок (відображається при визначенні статті навантаження  $P_{mk}$ ). Вимоги Правил КТ до непотоплюваності відсутні (побічно враховується через визначення  $F_{min}$ ), передбачається, що у випадку затоплення, состав буде перебувати в розчепленому стані. Непотоплюваність (ймовірнісний індекс розподілу на відсіки) сучасних суховантажних СЗП забезпечується розміщенням баластових цистерн у подвійних бортах і установкою поперечних перегородок. Їхня вага також враховується при використанні регресійних залежностей для складових вагового навантаження самохідних і несамохідних СВП і СЗП нового покоління.

Морська частина лінії експлуатації досліджуваних ББС і СС незначна й проходить у прибережних районах, тому параметри хитавиці контролюються за допомогою критерію прискорення згідно до призначеного класу КТ, а навантаження від заливання й слемінга – за допомогою вимог Правил КТ до місцевої міцності.

Оцінка швидкості руху ББС і СС здійснюється на підставі підходів Б.В. Богданова з відповідними уточненнями на основі статистики по новим проектам.

Розрахунки буксирувального опору  $R_t$  виконуються для порожнього й завантаженого варіантів, як у річці, так і в морі (для СЗП). Для одиночної баржі й судна-штовхача – за відомою формулою  $R_t = \frac{\rho}{2} \cdot \zeta \cdot \Omega \cdot v^2$ , кН, де  $\zeta$  – коефіцієнт опору,  $\Omega$  – змочена поверхня для завантаженої баржі або судна-штовхача, м<sup>2</sup>. Коефіцієнт опору  $\zeta = \zeta_{mp} + \zeta_{ост} + \zeta_{выст} + \zeta_{аэро}$ , де  $\zeta_{mp}$  – коефіцієнт опору тертя,  $\zeta_{ост}$  – коефіцієнт залишкового опору,  $\zeta_{выст}$  – коефіцієнт, який враховує шорсткості, нерівності й виступаючі частини,  $\zeta_{аэро}$  – аеродинамічна надбавка.

За даними випробувань для сучасних обводів СЗП, приймається  $\zeta_{аэро} = 0,01 \cdot 10^{-3}$ ,  $\zeta_{выст} = 0,044 \cdot 10^{-3}$  (для двогвинтових суден).

Коефіцієнт опору тертя  $\zeta_{mp}$  визначається за формулою Прандтля-Шліхтінга

$$\zeta_{mp} = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}. \text{ Коефіцієнт залишкового опору } \zeta_{ocm} \text{ визначається через базисний}$$

$$\text{коефіцієнт залишкового опору } \zeta'_{ocm} \quad \zeta_{ocm} = \zeta'_{ocm} \cdot \left[ \left( \frac{5 \cdot B}{L} \right)^{5/4} + \left( \frac{3 \cdot d}{B} \right)^{1/2} - 1 \right] - \text{ для}$$

несамохідних і самохідних суден СЗП із простими обводами корпуса)

$$\zeta_{ocm} = \zeta'_{ocm} \cdot \left[ \left( \frac{5,5 \cdot B}{L} \right)^{5/4} + \left( \frac{4,5 \cdot d}{B} \right)^{1/2} - 1 \right] - \text{ зі складними обводами, які значно}$$

впливають на обтікання корпусу рідиною (висока ймовірність відриву потоку), де

$$\zeta'_{ocm} = (\zeta'_{ocm})_{0,80} + 10 \cdot [(\zeta'_{ocm})_{0,90} - (\zeta'_{ocm})_{0,80}] \cdot (C_b - 0,80). \quad \text{При} \quad Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} < 0,16:$$

$$(\zeta'_{ocm})_{0,90} = 2,25 \cdot 10^{-3} + 10^{-2} \cdot (Fr - 0,10); \quad (\zeta'_{ocm})_{0,80} = 1,0 \cdot 10^{-3} + 3,33 \cdot 10^{-3} \cdot (Fr - 0,10).$$

$$\text{При} \quad Fr \geq 0,16: \quad (\zeta'_{ocm})_{0,90} = 2,85 \cdot 10^{-3} + 3,83 \cdot 10^{-2} \cdot (Fr - 0,16);$$

$$(\zeta'_{ocm})_{0,80} = 1,2 \cdot 10^{-3} + 1,17 \cdot 10^{-2} \cdot (Fr - 0,16).$$

Після визначення буксирувального опору  $R_t$  знаходиться буксирувальна потужність  $P_t$  для всього розглянутого діапазону швидкостей  $P_t = R_t \cdot v$ , кВт.

Якщо розраховується СС, то буксирувальні потужності судна-штовхача й баржі/барж підсумуються з урахуванням коефіцієнта зчалу  $P_t^c = \sum P_{ti} \cdot C_z$ , де  $C_z$  – коефіцієнт зчалу, приведений у четвертому розділі.

Номінальна потужність  $N$  судна-штовхача для швидкості 10,0 – 10,5 вуз визначається за допомогою регресійної залежності  $N/\Delta = 0,29 - 3,7 \cdot 10^{-6} LBD_1'$ , кВт/т.

Після визначення основних характеристик у ММНВС передбачається визначення обсягу перевезеного за розрахунковий період (рік) вантажу (розрахунки провозоспроможності у рамках ММФ). У роботі наведені актуальні моделі розрахунків провозоспроможності: на основі «вертушки», яка включає в себе один буксир-штовхач і кілька барж, для перевезення вантажів з порту в порт; самохідне судно-штовхач і одна баржа для перевезення вантажів з річкових портів на рейдово-перевантажувальні комплекси (РПК); буксир-штовхач і баржа для перевезення вантажів з річкових портів у порти морські або іншого річкового басейну, або на РПК; буксир-штовхач і дві баржі для перевезення вантажів з річкових портів на РПК.

Використовується детермінована модель експлуатації суден «Дніпро-макс» класу під реальну лінію з відомою номенклатурою вантажів і партійністю протягом усієї навігації. Ця ж модель може бути використана як частина стохастичної імітаційної моделі.

До складу кожної моделі входить визначення часу кругового рейсу  $T_p^i$ , яке враховує як ходовий час із урахуванням простоїв (проходження вузькостей, шлюзів, мостів, рух у нічний час на ВВШ, вплив погодних умов, хвилювання), так і стоянковий час у портах.

Коефіцієнт реалізації швидкості в моделях експлуатації  $K_{реал} = 1$  (для розрахунків без врахування втрати швидкості на хвилюванні й на річковій ділянці в літню навігацію), для врахування хвилювання:  $K_{реал} = 1 - \frac{\Delta v_{волн} \cdot k_{волн}}{100}$ , де  $k_{волн}$  – ймовірність появи хвиль 3% забезпеченості 1 – 3 м на морській ділянці  $k_{волн} = 0,51 \cdot \frac{L_{мор}^1}{L_{мор}^1 + L_{реч}^1}$  в літню навігацію ( $P(h_{3\%}) = 100\% - 45\% - 4\% = 51\%$  для хвилювання з  $h_{3\%} = 1 - 3$  м),  $L_{мор}^1$  – довжина морської ділянки в літню навігацію, миль,  $L_{реч}^1$  – довжина річкової ділянки в літню навігацію, миль;  $k_{волн} = 0,53$  в зимову навігацію ( $P(h_{3\%}) = 100\% - 27\% - 20\% = 53\%$  для хвилювання з  $h_{3\%} = 1 - 3$  м);  $\Delta v_{волн}$  – втрата швидкості на хвилюванні в % (на основі відкоригованого рішення проф. Квона)  $\Delta v_{волн} = BC \cdot \alpha \cdot \mu \cdot \frac{\Delta v}{v} 100\%$ , де  $BC$  – поправочний коефіцієнт на «надповноту» (наведений у роботі для діапазону швидкостей);  $\alpha$  – корекційний коефіцієнт Квона, який враховує завантаження судна й базовий  $C_b$  (наведений у роботі для стану з вантажем й у баласті);  $\mu$  – коефіцієнт впливу напрямку хвилювання (наведений у роботі для різних курсових кутів);  $\frac{\Delta v}{v} 100\%$  – втрата швидкості на хвилюванні (наведена в роботі, враховує інтенсивність хвилювання й об'ємну водотоннажність судна).

Після визначення провозоспроможності виконується розрахунок економіки, який включає: оцінку будівельної вартості ББС або СС (з врахуванням поправки на різні  $C_b$ ), розрахунки експлуатаційних витрат (запропоновані залежності для складових витрат шляхом обробки статистичних даних по витратам судноплавних компаній), визначення річних доходів, розрахунки грошових потоків від роботи судна, розрахунки критеріїв ефективності.

У якості цільової функції оптимізаційної задачі оцінки економічної ефективності ББС або СС прийнято дисконтований термін окупності проекту  $T_o$ .

Критерієм ефективності  $T_o(C_b; V_S) = \min$  є мінімальний термін окупності при варіаціях  $C_b$  й експлуатаційних швидкостей  $V_S$  у розглянутих діапазонах значень цих незалежних змінних, характерних для суден «Дніпро-макс» класу.

Також визначаються додаткові критерії ефективності реалізації проекту: продуктивність праці екіпажа ББС або СС; продуктивність 1 т вантажопідйомності за добу експлуатації в період літньої навігації; продуктивність 1 т вантажопідйомності за добу експлуатації в період зимової навігації; фондвіддача; собівартість перевезення 1 т вантажу; собівартість 1 т-милі; прибуток за експлуатаційний період; прибуток за життєвий цикл.

Для можливості застосування розроблених математичних моделей були оцінені адекватність, чутливість і стійкість ММІНВС і стійкість ММФ.

**У четвертому розділі** розглядаються технічні й навігаційні особливості ММІНВС і ММФ. Отримано залежності для постатейного визначення вагового

навантаження несамохідних і самохідних СЗП, уточнено регресійні залежності для проектування корпусів вантажних самохідних СЗП нового покоління, виконано аналіз шляхових умов, основних експлуатаційних обмежень на Дніпрі й наведені результати експериментального визначення коефіцієнта зчалу СС ЗП із  $C_b = 0,930$  «Дніпро-макс» класу.

Водотоннажність в порожньому стані для суховантажних СЗП визначається за формулою:

$$\Delta_{нор} = p_{mk} \cdot L \cdot B \cdot D_1' \cdot C_B + \left( (p_{нр} + p_{об}) + 2 \cdot \left( \frac{\sum_1^a \ell_n \cdot h_n + \sum_1^b \ell_p \cdot h_p}{L} \right) \cdot n_{эк} \right) +$$

$$+ (p_{лн} + p_{нф}) \cdot L + (p_{ов} + p_{ок} + p_{уз} + p_y + p_{ос}) \cdot (L \cdot B \cdot D_1)^{2/3} + \frac{p_{сэу} \cdot N_e}{n} +$$

$$+ (0,03 \div 0,05) \cdot \Delta_{нор}$$

Водотоннажність в порожньому стані для несамохідних суден розраховується за формулою:  $\Delta_{нор} = P_{mk} + P_y + P_{ос} + P_{сэу} + \Delta_{нор}^3$ , де  $\Delta_{нор}^3$  – запас водотоннажності.

Для СВП і СЗП вибір головних розмірень повністю визначається шляховими умовами, тобто, фактично, концепція «макс» є оптимальною при перевезеннях масових вантажів. На основі аналізу шляхових умов можна рекомендувати для самохідного судна-штовхача ЗП «Дніпро-макс» класу габаритну довжину 140 – 150 м (довжину вантажної секції ББС не більш 120 м). Габаритна довжина состава не повинна перевищувати 270 м. Габаритну ширину судна може бути прийнято в межах 16,0 – 17,2 м (залежно від наявності додаткових підрулюючих пристроїв). Надводний габарит судна може бути рівним або менше 16,7 м (для роботи із Дніпра не вище Запоріжжя). Для роботи вище Запоріжжя до Кременчука – 14,5 м. Для роботи вище Кременчука – 12,8 м. Для роботи вище Запоріжжя без очікування розведення Кременчуцького й Дніпропетровського двох'ярусного мостів – 8,57 м. Робочий теоретичний діапазон осадок судна «Дніпро-макс» класу змінюється в межах 3,00 – 4,50 м (рекомендується враховувати при плануванні роботи судна як на експортно-імпортних, так і на внутрішніх, каботажних перевезеннях).

Враховано вплив основних обмежень для експлуатації ББС і СС на ВВШ України, включаючи розрахунок ширини ходової смуги, яку займає состав на повороті річки. Для составів «Дніпро-макс» класу, передбачуваних до експлуатації за схемою 1+1 (судно-штовхач і баржа), габаритною довжиною 260 м і шириною 17,2 м ширини ходових смуг на повороті річки не перевищують ширину судового ходу.

Отримано коефіцієнт зчалу самохідного судна-штовхача й баржі «Дніпро-макс» класу з  $C_b = 0,930$  за даними модельних випробувань в дослідному басейні ОНМУ (див. рисунок 4). Коефіцієнт зчалу  $C_z$  СС залежно від числа  $Fr$  (для всього составного судна)  $C_z = 0,259 + 32,64Fr - 493,25Fr^2 + 2179,5Fr^3$ . При  $Fr > 0,07$  (для



всього составного судна) спостерігається значне поліпшення взаємодії корпусів самохідного судна-штовхача й баржі.

У п'ятому розділі наведені практичні й теоретичні результати розв'язку оптимізаційної задачі.

Визначені основні варіанти експлуатації ББС і СС «Дніпро-макс» класу:

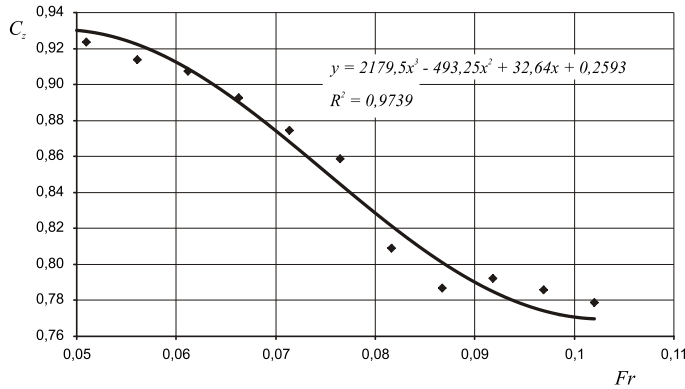


Рисунок 4 – Коефіцієнт зчалу  $C_z$  составного судна змішаного плавання

- на основі моделі «вертушка», яка включає в себе один буксир-штовхач і кілька барж, для перевезення вантажів з порту в порт (розрахункова лінія в основну літню навігацію Світловодськ – Ізмаїл).
- буксир-штовхач і баржа для перевезення вантажів з річкових портів у порти морські або іншого річкового басейну, або на РПК (модель «самохідне судно», розрахункова лінія в основну літню навігацію Світловодськ – Ізмаїл).

- самохідне судно-штовхач і одна баржа для перевезення вантажів з річкових портів на РПК (розрахункова лінія в літню навігацію Світловодськ – банку Трутаєва).

Виконано розрахунки для цих варіантів. Для цієї мети розроблено програмний комплекс «Днерго-макс», який дозволяє вирішувати оптимізаційну задачу – визначати оптимальні значення коефіцієнта загальної повноти  $C_b$  для різних експлуатаційних швидкостей і умов експлуатації.

Для моделі «вертушка» на лінії Світловодськ – Ізмаїл залежність оптимального значення  $C_b$  на річкову осадку від числа Фруда  $Fr$  (для діапазону швидкостей 5 – 12 вуз) для вартості дизельного палива MGO близько 500 \$/т і 1000 \$/т наведено на рисунку 5. Для моделі «самохідне судно» на лінії Світловодськ – Ізмаїл – на рисунку 6. Для составного судна на лінії Світловодськ – РПК (банка Трутаєва) – на рисунку 7.

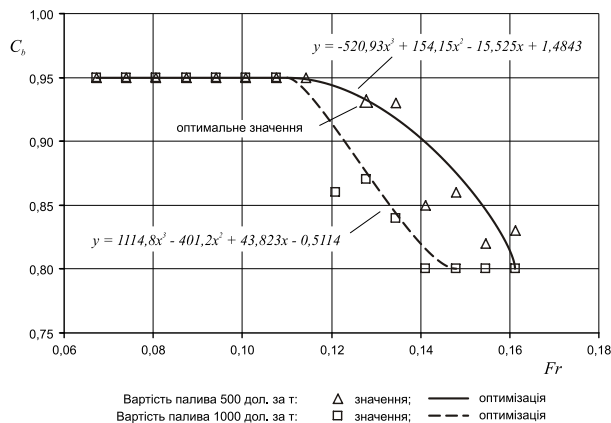
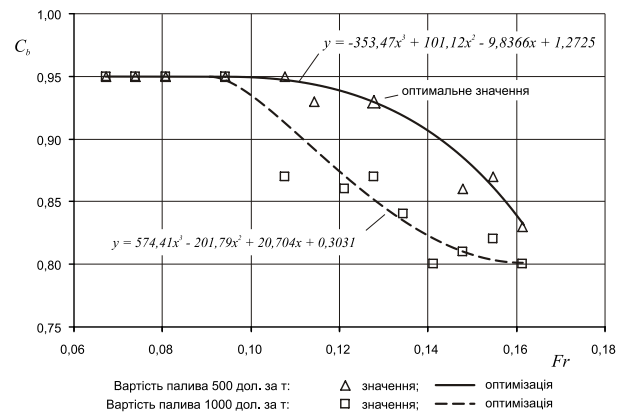
Оптимальні значення коефіцієнта загальної повноти наведені в таблиці 2.

Найбільш ефективним для стандартних швидкостей на ВВШ 8,5 – 10 вуз для ББС «Дніпро-макс» класу, який експлуатується за моделлю «вертушка» і «самохідне судно» на лінії «Світловодськ – Ізмаїл», і для составного судна «Дніпро-макс» класу на лінії «Світловодськ – банка Трутаєва (РПК)», є  $C_b = 0,930$  на річкову осадку 3,2 м. Рекомендованою швидкістю для трьох варіантів є 9,5 вуз із урахуванням хвилювання. Термін окупності для моделі «вертушка» становить 7,90 років, для моделі «самохідне судно» – 8,39 років, для составного судна – 6,23 роки.

Найбільш реалізованим виглядає концепт составного судна «Дніпро-макс» класу, тому що реалізація «вертушки», та й взагалі барже-буксирного состава, вимагає гарантованих, постійних вантажопотоків з розвиненим логістичним ланцюжком, що в теперішній час проблематично.

Таблиця 2 – Оптимальні значення коефіцієнта загальної повноти  $C_b$ 

$Fr$	Вартість палива	
	Існуюча (500 \$/т)	1000 \$/т
	Модель «вертушка»	
$Fr \leq 0,11$	0,950	0,950
$Fr > 0,11$	$C_b^{opt} = 1,484 - 15,53Fr + 154,2Fr^2 - 520,9Fr^3$	$C_b^{opt} = (43,82 - 401,2Fr + 1114,8Fr^2)Fr - 0,511$
	Модель «самохідне судно»	
$Fr \leq 0,09$	0,950	0,950
$Fr > 0,09$	$C_b^{opt} = 1,273 - 9,84Fr + 101,1Fr^2 - 353,5Fr^3$	$C_b^{opt} = 0,303 + 20,70Fr - 201,8Fr^2 + 574,4Fr^3$
	Составне судно, яке працює на РПК	
$Fr \leq 0,07$	0,950	0,950
$Fr > 0,07$	$C_b^{opt} = 1,234 - 11,91Fr + 167,5Fr^2 - 793,4Fr^3$	$C_b^{opt} = 33,13Fr - 362,2Fr^2 + 1181,4Fr^3$

Рисунок 5 – Залежність оптимального значення  $C_b$  від числа  $Fr$  (для всього составу) по фінансовому результату  $P$  за рік роботиРисунок 6 – Залежність оптимального значення  $C_b$  від числа  $Fr$  (для всього составу) по фінансовому результату  $P$  за рік роботи

Існуюче СС, яке складається із самохідного судна-штовхача проекту 19620 і баржі проекту 90035, має загальну вантажопідйомність у річці на осадку 3,2 м близько 4000 т. Пропонований концепт СС перевозить на осадку 3,2 м близько 9700 т, тобто в 2,4 рази більше за кожний рейс.

У додатках наведені: існуюча класифікація ББС і СС; дані по вантажопотоках річкових і морських портів України; основні характеристики існуючих суден-прототипів; дані по основних існуючих зчіпних пристроях; ідентифікація й наслідки небезпек, які сприяли аваріям і катастрофам СВП і СЗП, включаючи ББС; основні характеристики досліджуваних суден і аналіз корпусних конструкцій існуючих сучасних СЗП; дані аналізу шляхових умов Дніпра; опис і аналіз основних обмежень для експлуатації ББС і СС на ВВШ України; рекомендації із проведення натурних випробувань побудованого ББС або СС «Дніпро-макс» класу; дані розрахунків критеріїв економічної ефективності; опис програмного комплексу «Днерго-тах»;

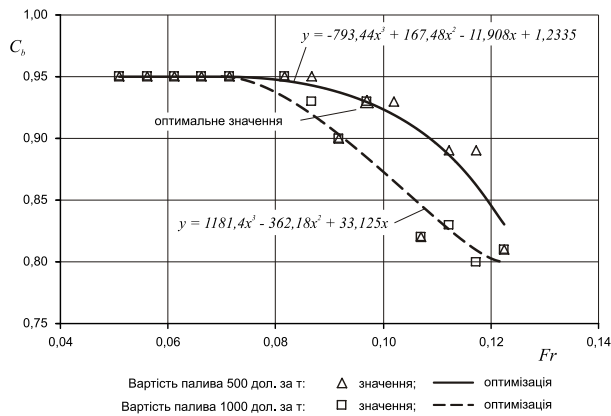


Рисунок 7 – Залежність оптимального значення  $C_b$  від числа  $Fr$  (для всього составного судна) по фінансовому результату  $C_b$  за рік роботи

дані модельних випробувань СС «Дніпро-макс» класу з  $C_b = 0,930$ ; акти впровадження результатів дисертації.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ Й ВИСНОВКИ

Запропонований у дисертаційній роботі метод визначення головних розмірень і характеристик ББС і СС ЗП «Дніпро-макс» класу, з визначенням оптимальних значень коефіцієнтів загальної повноти для різних експлуатаційних швидкостей дозволяє вітчизняним судновласникам по-новому оцінювати й порівнювати вантажоперевезення по річці з виходом в

море з іншими видами вантажоперевезень. Уже в 2014 році різко виріс вантажопотік на Дніпрі, і вітчизняні судновласники з вантажовласниками почали цікавитися сучасними розробками в області річкових і змішаного ріка-море плавання суден для України.

1. Аналіз комерційних умов показує, що стосовно до дніпровського регіону можна чекати збільшення вантажопотоків за рахунок зменшення обсягів перевезень залізницею й автопотягами.

2. Виконано аналіз шляхових умов ББС і СС ЗП «Дніпро-макс» класу. Проаналізовані вимоги до габаритної довжини, ширини судна, до осадки; обмеження по надводному габариту й експлуатаційні умови північно-західного району Чорного моря й річки Дніпро.

3. Аналіз технічного стану існуючого флоту СВП і СЗП України показує, що подальша його експлуатація пов'язана зі значними ризиками. Середній вік усіх транспортних суден, які перебувають під наглядом РУ – 35,0 років. Спостерігається стійкий ріст аварійності для суден старше 13 років з піками аварій для віків 22 – 25 років і 30 – 34 роки. Для досліджуваних суден найбільшу небезпеку можуть представляти: за технічним станом – порушення непроникності відсіків (фактичне забезпечення непроникності корпусних конструкцій), яке відбувається в результаті вантажних операцій і навігаційних помилок (контакти зі стінками шлюзів, посадки на мілину й т. ін.), корозійних зношень; за людським фактором – порушення Правил технічної експлуатації екіпажем (у тому числі, порушення Інструкцій із завантаження), помилки прогнозу погоди, неякісна робота берегових служб.

Звертає на себе увагу більший в порівнянні із загальною статистикою відсоток катастроф ББС (46% проти 30%), особливо пов'язаних з ушкодженням корпусу. Пояснюється це тим, що «дешева» вантажна секція (баржа), найчастіше, залишається без чинного спостереження з боку судновласників, берегових служб і наглядових органів. Слід також зазначити, що мали місце катастрофи, пов'язані із затопленням ББС у зчепленому стані. Основні причини – перевантаження баржі,

порушення умов і району плавання й, як наслідок, перекидання. Наведені рекомендації із проектування окремих елементів конструкцій корпусів.

4. Аналіз можливості застосування існуючих зчіпних пристроїв показує, що зчіпний пристрій необхідно обирати під кожну конкретну лінію й побажання Замовника, з урахуванням конструктивних обмежень самих зчіпних пристроїв.

Для змішаних ріка-море перевезень із відносно великими морськими переходами рекомендується використовувати напівжорсткі зчіпні пристрої.

Для змішаних ріка-море перевезень із упором на річкову частину, наприклад, для лінії Дніпр – Очаків (банка Трутаєва), рекомендується використовувати «річкові» напівжорсткі зчіпні пристрої типу «О» у сукупності зі сталевими тросами, розрахованими на відповідні навантаження (з обмеженнями по висоті хвилі 2 м при плаванні в Дніпро-Бузькому лимані).

5. Виділено основні принципові відмінності ББС і СС від самохідних суден. Основна перевага цих суден – у реалізації ефективних, у порівнянні із самохідними, схем доставки вантажів у порти призначення. Якщо судноплавна компанія має відповідні гарантії на постійний вантажопотік, або є, по сумісництву, і вантажовласником, то в таких випадках реалізація переваг составів очевидна при правильній організації роботи всіх ланок логістичного ланцюжка.

6. Вперше отримано коефіцієнт зчалу самохідного судна-штовхача й баржі «Дніпро-макс» класу з  $C_b = 0,930$  при спільній експлуатації шляхом проведення модельних випробувань в дослідному басейні. При  $Fr > 0,07$  (для всього составного судна) спостерігається значне поліпшення взаємодії корпусів самохідного судна-штовхача й баржі.

7. Розроблено метод визначення оптимальних головних розмірних характеристик ББС і СС ЗП, у тому числі, – для експлуатації в річковій і морській водотранспортних системах України, який включає ММІНВС, ММФ і оптимізаційну задачу.

ММІНВС, за допомогою розробленої сукупності регресійних залежностей і використаних залежностей теорії корабля, зв'язує головні розмірення ББС і СС із показниками інженерних і морехідних властивостей цих транспортних комплексів.

У результаті аналізу металоемності вперше отримані залежності для постатейного визначення вагового навантаження несамохідних і самохідних СЗП, удосконалені регресійні залежності для проектування корпусів вантажних самохідних СЗП нового покоління. Функціональні обмеження мореплавності за безпекою плавання, пов'язані із забезпеченням міцності й остійності (положення  $z_g$ ) ББС або СС, виражаються через регресійні залежності вагового навантаження самохідних і несамохідних СВП і СЗП, побудовані на основі обробки даних по СВП і СЗП нового покоління, спроектованих МІБ і іншими проектними організаціями. Непотоплюваність (ймовірнісний індекс розподілу на відсіки) сучасних суховантажних СЗП забезпечується розміщенням баластових цистерн у подвійних бортах і установкою поперечних перегородок. Їх вага враховується при використанні регресійних залежностей для складових вагового навантаження самохідних і несамохідних СВП і СЗП нового покоління. Удосконалені також регресійні залежності для визначення потужності головних двигунів самохідних

суден, питомої вантажомісткості суховантажних суден. За результатами модельних випробувань і досвіду експлуатації самохідних СЗП із  $C_b = 0,930$  одержала подальший розвиток методика визначення буксирувального опору й буксирувальної потужності ББС і СС ЗП.

ММФ представляють моделі експлуатації ББС або СС. Виходячи з особливостей схем експлуатації й характеристик виконуваних функціональних операцій, вони визначають провозоспроможність і показники ефективності ББС і СС за досліджуваний період.

Вперше отримані формули для визначення часу кругового рейсу для різних моделей експлуатації ББС і СС ЗП. Удосконалені залежності для визначення втрати швидкості на морській ділянці для СЗП із великою повнотою. У результаті аналізу вітро-хвильової обстановки північно-західного району Чорного моря вперше отримані ймовірності появи хвиль 3% забезпеченості висотою від 1 до 3 м на морській ділянці в літню й зимову навігації, які враховувалися при визначенні коефіцієнта реалізації швидкості в рейсі. Шляхом обробки статистичних даних витрат судноплавних компаній, які оперують флотом СЗП, отримані вдосконалені залежності для складових експлуатаційних витрат.

Результати оцінки адекватності, чутливості й стійкості ММНВС і ММФ дозволяють зробити висновок про можливість використання розробленого методу.

8. У якості цільової функції оптимізаційної задачі оцінки економічної ефективності ББС або СС прийнято дисконтований термін окупності проекту  $T_o$ . При цьому критерієм ефективності  $T_o(C_b; V_S) = \min$  з'явився мінімальний термін окупності при варіаціях  $C_b$  й експлуатаційних швидкостей  $V_S$  у розглянутих діапазонах значень цих незалежних змінних, характерних для суден «Дніпро-макс» класу.

9. Розроблено програмний комплекс «Днепро-макс», який дозволяє вирішувати оптимізаційну задачу – визначати оптимальні значення  $C_b$  для різних експлуатаційних швидкостей і умов експлуатації.

10. Визначені основні варіанти експлуатації ББС і СС «Дніпро-макс» класу. Виконані розрахунки для цих варіантів.

11. Для суден «Дніпро-макс» класу оптимальним значенням коефіцієнта загальної повноти є  $C_b = 0,930$  на річкову осадку до 3,6 м при експлуатаційній швидкості на річці 9,5 вуз.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні наукові професійні видання:

1. Егоров А.Г. Анализ сцепных устройств для толкания морских и речных составов [Текст] / А.Г. Егоров // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вип. 3 (42). – С. 54-71.
2. Егоров А.Г. Исследование влияния условий реки Днепр на выбор главных размерений барже-буксирных составов и составных судов [Текст] / А.Г. Егоров // Проблеми техніки, 2015. – № 1. – С. 10-21.
3. Егоров А.Г. Классификация толкаемых составов водного транспорта [Текст] / А.Г. Егоров // Проблеми техніки, 2013. – № 3. – С. 76-92.

4. Егоров А.Г. Математическая модель определения главных характеристик составных судов [Текст] / А.Г. Егоров // Морской Вестник, 2015. – № 2 (54). – С. 85-89.
5. Егоров А.Г. Модели эксплуатации составов смешанного река-море плавания [Текст] / А.Г. Егоров // Морской Вестник, 2015. – № 1 (53). – С. 101-107.
6. Егоров А.Г. Определение весовой нагрузки нефтеналивных судов смешанного плавания в начальной стадии проектирования [Текст] / Н.Г. Валько, А.Г. Егоров // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 2 (33). – С. 39-46.
7. Егоров А.Г. Определение весовой нагрузки судов смешанного «река-море» плавания нового поколения в начальной стадии проектирования [Текст] / А.Г. Егоров // Морской Вестник, 2013. – № 4 (48). – С. 19-22.
8. Егоров А.Г. Определение главных размерений барже-буксирного состава смешанного плавания «Днепро-макс» класса [Текст] / А.Г. Егоров // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вип. 3 (39). – С. 37-61.
9. Егоров А.Г. Определение оптимального значения коэффициента полноты и эксплуатационной скорости составов и составных судов смешанного река-море плавания [Текст] / А.Г. Егоров // Морской Вестник, 2015. – № 3 (55). С. 19-24.
10. Егоров А.Г. Основные принципы проектирования судов смешанного река-море плавания [Текст] / Г.В. Егоров, А.Г. Егоров // Shipbuilding and Marine Infrastructure, 2014. – № 2 (2). – С. 48-62.
11. Егоров А.Г. Оценка эффективности эксплуатации перспективного барже-буксирного состава «Днепро-макс» класса [Текст] / А.Г. Егоров // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 3 (36). – С. 35-54.
12. Егоров А.Г. Постатейное определение весовой нагрузки сухогрузных судов смешанного река-море плавания нового поколения в начальной стадии проектирования [Текст] / А.Г. Егоров // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – № 3. – С. 4-8.
13. Егоров А.Г. Формализованная оценка безопасности судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания [Текст] / А.Г. Егоров // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2012. – Выпуск 67 (351). – С. 41-54.
14. Егоров А.Г. Анализ причин и последствий аварий судов внутреннего и смешанного плавания за 1991-2010 годы [Текст] / А.Г. Егоров // Проблеми техніки, 2011. – № 1. – С. 3-30.
15. Предпосылки создания и концепты нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания для Украины [Текст] / Г.В. Егоров, С.Н. Баскаков, А.Г. Егоров, И.Н. Бойко, В.А. Нильва // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 2 (35). – С. 12-44.

**Праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:**

16. Егоров А.Г. Главные характеристики корпусов судов «Днепро-макс» класса [Текст] / А.Г. Егоров // Труды НТК по СМК памяти акад. Ю.А. Шиманского. – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2013. – С. 34-36.
17. Егоров А.Г. Исследование перспективного барже-буксирного состава «Днепро-макс» класса [Текст] / А.Г. Егоров // Труды НТК по СМК памяти проф. П.Ф. Папковича. – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2012. – С. 44-45.

18. Єгоров О.Г. Концепт сучасного барже-буксирного складу для перевезень сухих вантажів з Дніпра на Дунай [Текст] / О.Г.Єгоров // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2014. – С. 97.
19. Єгоров А.Г. Концепты сухогрузных судов река-море для Днепра и Дуная [Текст] / А.Г. Егоров // Порты Украины, 2012. – № 9 (121). – С. 14-18.
20. Єгоров А.Г. Определение весовой нагрузки несамоходных судов внутреннего и смешанного плавания на начальной стадии проектирования [Текст] / А.Г. Егоров // Материалы Всеукраинской научно-техн. конф. с межд. уч. «Современные технологии проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта судов, морских технических средств и инженерных сооружений» – Николаев: НУК, 2015. – С. 28-29.
21. Єгоров А.Г. Особенности современных барже-буксирных составов внутреннего и смешанного плавания [Текст] / А.Г. Егоров // Материалы IV междун. научно-техн. конф. «Инновации в судостроении и океанотехнике» – Николаев: НУК, 2013.– С. 84-85.
22. Єгоров А.Г. Оценка эффективности эксплуатации перспективного барже-буксирного состава «Днепро-макс» класса [Текст] / А.Г. Егоров // Материалы III междун. научно-техн. конф. «Инновации в судостроении и океанотехнике» – Николаев: НУК, 2012. – С. 94-95.
23. Єгоров О.Г. Проекти перспективних барже-буксирних составів і составних суден річкового і змішаного ріка-море плавання для України [Текст] / О.Г. Єгоров // Тези доповідей XII Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2015. – С. 146-147.
24. Egorov A.G. Casualty Risk Investigation for Hulls of Inland Vessels and River-sea Going Vessels [Text] / A.G. Egorov, A.E. Nilva // Proc. of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS' 2013). – Changwon city, South Korea, 2013. – Vol. 1 – P. 368-375.
25. Egorov A.G. Definition of weight loadings of modern mixed river-sea navigation dry-cargo vessels on initial design stage [Text] / A.G. Egorov // Proc. of Twelfth Intern. Conf. on marine sciences and technologies (Black Sea' 2014). – Varna, Bulgaria, 2014. – 56-60 p.
26. Egorov A.G. Determination of «Dnieper-Max» class vessels main particulars [Text] / A.G. Egorov // Proc. of the 29<sup>th</sup> Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM' 2015). – Vladivostok, Russia, 2015. – 488-495 p.
27. Egorov A.G. Main characteristics of «Dnieper-max» class vessels [Text] / A.G. Egorov // Proc. of Twelfth Intern. Conf. on marine sciences and technologies (Black Sea' 2014). – Varna, Bulgaria, 2014. – 68-73 p.

#### АНОТАЦІЯ

*Єгоров О. Г.* Вибір оптимальних характеристик составних суден і барже-буксирних составів змішаного плавання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 – конструювання та будування суден. – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2015.

Метою дисертаційної роботи є розробка методу визначення оптимальних головних розмірних і характеристик барже-буксирних составів і составних суден змішаного плавання (ББС і СС ЗП), у тому числі для експлуатації в річковій і морській водотранспортних системах України.

Для досягнення цієї мети на основі застосування методів корекційно-регресійного аналізу й спеціально поставленого авторського експерименту розроблена математична модель інженерних і навігаційних властивостей ББС і СС ЗП, у тому числі для використання в річковій і морській водотранспортних системах України, яка зв'язує ці властивості із оптимальними головними розмірними й основними характеристиками, які визначаються для розглянутих об'єктів.

У результаті аналізу структури водних шляхів, погодних умов експлуатації суден на цих водних шляхах і застосування методу моделювання детермінованих водотранспортних операцій розроблена математична модель функціонування ББС і СС ЗП, яка забезпечує визначення ефективності їх експлуатації, формує тривіальні й функціональні обмеження оптимізаційної задачі.

Оптимізаційна задача, результатом розв'язку якої є теоретичне обґрунтування оптимальних характеристик ББС і СС ЗП, зведена до знаходження мінімального терміну окупності при варіаціях коефіцієнта загальної повноти й реальних експлуатаційних швидкостей ББС і СС ЗП.

Розроблено програмний комплекс «Днерго-тах», який дозволяє визначати оптимальні значення їх головних розмірних і характеристик. Визначені основні варіанти експлуатації ББС і СС «Дніпро-макс» класу. Для суден «Дніпро-макс» класу оптимальним значенням коефіцієнта загальної повноти є  $C_b = 0,930$  на річкову осадку до 3,6 м при експлуатаційній швидкості на річці 9,5 вуз.

*Ключові слова:* барже-буксирний состав, составне судно, район плавання, головні розмірні, основні характеристики, функціонування, модель експлуатації, критерії ефективності, оптимізація.

## АННОТАЦИЯ

*Егоров А. Г.* Выбор оптимальных характеристик составных судов и барже-буксирных составов смешанного плавания. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 – конструирование и постройка судов. – Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2015.

Целью диссертационной работы является разработка метода определения оптимальных главных размерений и характеристик барже-буксирных составов и составных судов смешанного плавания (ББС и СС СП), в том числе, – для эксплуатации в речной и морской водотранспортной системах Украины.

Для достижения этой цели на основе применения методов коррекционно-регрессионного анализа и специально поставленного авторского эксперимента разработана математическая модель инженерных и навигационных свойств ББС и



СС СП, в том числе, – для использования в речной и морской воднотранспортной системах Украины, которая связывает эти свойства с искомыми оптимальными главными размерениями и основными характеристиками рассматриваемых объектов.

В результате исследований получены зависимости для постатейного определения весовой нагрузки несамоходных и самоходных судов смешанного плавания (ССП), уточнены регрессионные зависимости для проектирования корпусов грузовых самоходных СП нового поколения. Функциональные ограничения мореходности по безопасности плавания, связанные с обеспечением прочности и остойчивости (положение  $z_g$ ) состава или составного судна, учитываются регрессионными зависимостями весовой нагрузки самоходных и несамоходных СП, построенными на основе обработки данных по уже находящимся в эксплуатации СП, спроектированных Морским Инженерным Бюро и другими проектными организациями. Непотопляемость (вероятностный индекс деления на отсеки) современных сухогрузных СП обеспечивается размещением балластных цистерн в двойных бортах и установкой поперечных переборок. Их вес учитывается при использовании регрессионных зависимостей для составляющих весовой нагрузки самоходных и несамоходных СП нового поколения. Получены также регрессионные зависимости для определения мощности главных двигателей самоходных судов, удельной грузместимости сухогрузных судов. Уточнено определение буксировочного сопротивления и буксировочной мощности ББС и СП с большими коэффициентами полноты  $C_b$  по результатам модельных испытаний и опыта эксплуатации самоходных судов смешанного плавания с  $C_b = 0,930$ . Получен коэффициент счала  $C_z$  СП с  $C_b = 0,930$ .

В результате анализа структуры водных путей, погодных условий эксплуатации судов на этих водных путях и применения метода моделирования детерминированных воднотранспортных операций разработана математическая модель функционирования ББС и СП, которая обеспечивает определение эффективности их эксплуатации, формирует тривиальные и функциональные ограничения оптимизационной задачи.

Получены формулы для определения времени кругового рейса для всех моделей эксплуатации. Усовершенствованы зависимости для определения потери скорости на морском участке для СП с большой полнотой. В результате анализа ветро-волновой обстановки северо-западного района Черного моря получены вероятности появления волн 3% обеспеченности высотой от 1 до 3 м на морском участке в летнюю и зимнюю навигации, которые учитывались при определении коэффициента реализации скорости. Путем обработки статистических данных по расходам судоходных компаний, оперирующих флотом СП, получены усовершенствованные зависимости для составляющих эксплуатационных расходов.

Оптимизационная задача, результатом решения которой является теоретическое обоснование оптимальных характеристик ББС и СП, сведена к нахождению минимального срока окупаемости при вариациях коэффициента общей полноты и реальных эксплуатационных скоростей ББС и СП.

Как итог – разработан программный комплекс «Днепро-макс», позволяющий отыскивать оптимальные значения их главных размерений и характеристик, определены основные варианты эксплуатации БС и СС «Днепро-макс» класса, выполнены расчеты для этих вариантов. Для судов «Днепро-макс» класса оптимальным значением коэффициента общей полноты явился  $C_b = 0,930$  на речную осадку до 3,6 м при эксплуатационной скорости на реке 9,5 уз.

*Ключевые слова:* барже-буксирный состав, составное судно, район плавания, главные размерения, основные характеристики, функционирование, модель эксплуатации, критерии эффективности, оптимизация.

## SUMMARY

*Egorov A. G.* Choice of optimal characteristics of river-sea integrated vessels and tug-barge combinations. – As manuscript.

Ph.D. thesis in Engineering Sciences in specialty 05.08.03 – design and construction of vessels. – National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Nikolayev, 2015.

The purpose of thesis research is development of method of optimal principal dimensions and characteristics of river-sea tug-barge combinations and integrated vessels (RS TBC and IV) definition including for operation in river and sea water transport systems of Ukraine.

For achievement of purpose on the basis of application of correctional-regression analysis methods and specially set up author's experiment mathematical model of engineering and navigation properties of RS TBC and IV including for use in river and sea water transport systems of Ukraine is developed. Model makes connection between these properties and sought-for optimal principal dimensions and general characteristics of investigated objects.

As a result of waterways structure analysis, weather operating conditions of vessels on these waterways and application of simulation method of deterministic water transport operations mathematical model of RS TBC and IV functioning which provides definition of their operation efficiency, generates trivial and functional restrictions of optimization task is developed.

Optimization task, result of which is theoretical justification of RS TBC and IV optimal characteristics, is traced to finding of minimal payback period at different variations of block coefficient and real range of service speeds of RS TBC and IV.

Program complex «Dnepro-max» which allows finding up of optimal values of principal dimensions and general characteristics is developed. The main operation models of RS TBC and IV «Dnepro-max» class are defined. Calculations for these models are executed. For «Dnepro-max» class optimal value of block coefficient is  $C_b = 0,930$  on river draught up to 3,6 m with service speed on river is of 9,5 kn.

*Keywords:* tug-barge combination, integrated vessel, sailing area, principal dimensions, general characteristics, functioning, operation model, efficiency criteria, optimization.

Замовлено. Підписано до друку 25.12.2015.  
Формат А5 (148×210 мм). Папір офсетний. Друк трафаретний.  
Гарнітура «Таймс». Тираж \_\_\_ прим. Замовлення № \_\_\_

---

Друк: \_\_\_\_\_,  
Індекс, м. \_\_\_\_\_, вул. \_\_\_\_\_;  
тел. \_\_\_\_\_,  
E-mail: \_\_\_\_\_