

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ПОДОВЖЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН У ПРОЦЕСІ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

О.М. Шумило

к. т. н., професор, проректор з навчально-організаційної роботи,  
доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-0574-1954

### Анотація

**Вступ.** Світовий круїзний ринок демонструє впевнене зростання. Це спонукає судноплавні компанії розробляти та реалізовувати стратегії щодо збільшення пасажиромісткості флоту, однією з яких є модернізація наявних суден. **Метою** дослідження є створення математичної моделі визначення розмірів і пасажиромісткості шляхом додавання додаткової секції в модельному перерізі судна. **Результати.** У роботі запропоновано вирішення проблеми визначення оптимального розміру додаткової секції, що є складовою частиною модернізації пасажирських лайнерів. Основною метою модернізації є підвищення конкурентоспроможності судноплавної компанії. У зв'язку із цим проведено ретельний аналіз стану круїзного ринку, за результатами якого виявлено сталу динаміку його зростання. Обґрунтовано доцільність модернізації пасажирських суден як засобу оновлення флоту компанії. Визначено показники, що впливають на конкурентоспроможність судноплавної компанії, які пропонується формулювати з огляду на технічні та економічні показники конкретного судна, визначені на етапах проектування й експлуатації. Здійснено оцінку факторів, що характеризують стан та основні тренди розвитку світового пасажирського флоту, кількість перевезених пасажирів, загальну характеристику пасажирського флоту (водотоннажність і пасажиромісткість), усереднену вартість спорудження лайнерів та основні тенденції щодо їх зростання. Розглянуто основні стратегії розвитку круїзних компаній, при цьому особливу увагу приділено модернізації як системному процесу вдосконалення, підвищення ринкової конкурентоздатності круїзних суден шляхом застосування проектно-конструкторських, технологічних і фінансово-економічних заходів та процедур. Проведено комплексну оцінку факторів конкурентоспроможності флоту круїзних компаній, що є підґрунтям для проведення їх модернізації. Ці фактори включають технічні й економічні аспекти, аналіз яких дасть змогу комплексно оцінити напрям здійснення модернізації. У морській індустрії є декілька підходів до модернізації: реновація, переобладнання, модернізація суднової енергетичної установки. У статті розглядається застосування переобладнання зі збільшенням розміру (водотоннажності) шляхом виготовлення та встановлення додаткової секції по мідель-шпангоуту. Визначення оптимальних розмірів (пасажиромісткості) цієї вставки становить основне завдання роботи. Для цього отримано рівняння для визначення ефекту (прибутку) від модернізації, яке прийнято за цільо-

ву функцію. Як обмеження застосовано рівняння щодо вартості модернізації, установки нового обладнання, операційних витрат, міцності корпусу з дотриманням вимог класифікаційних товариств. **Висновки.** У роботі запропоновано модель проведення розмірної модернізації круїзного судна з визначенням довжини додаткової секції за критерієм забезпечення найбільшої прибутковості.

**Ключові слова:** пасажирські судна, модернізація, додаткова секція, оптимізація, обмеження, критерії.

#### DETERMINATION OF OPTIMAL SIZES OF EXTENSION OF PASSENGER VESSELS IN THE THEIR MODERNIZATION

**O.M. Shumylo**

Ph.D., Professor, Vice-Rector for Research,  
Associate Professor of Marine Power Plants and Technical Operation,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-0574-1954

#### **Summary**

**Introduction.** The world cruise market is showing steady growth. This encourages shipping companies to develop and implement strategies to increase the passenger capacity of the fleet, one of which is the modernization of existing vessels. The **aim** of the study is to create a mathematical model for determining the size and passenger capacity by adding an additional section in the model section of the ship. **Results.** The paper proposes a solution to the problem of determining the optimal size of the additional section, which is part of the modernization of passenger liners. The main purpose of modernization is to increase the competitiveness of the shipping company. As a result, a thorough analysis of the state of the cruise market was carried out, as a result of which the dynamics of its growth was revealed. The expediency of modernization of passenger ships as a means of renewing the company's fleet is substantiated. The indicators influencing the competitiveness of the shipping company are determined, which are proposed to be formulated based on the technical and economic indicators of a particular vessel, determined at the stages of design and operation. The factors characterizing the state and main trends in the development of the world passenger fleet, the number of transported passengers, the general characteristics of the passenger fleet (tonnage and passenger capacity), the average cost of liner construction and the main trends in their growth. The main strategies for the development of cruise companies are considered, including special attention to modernization as a systemic process of improvement, increasing market competitiveness, cruise ships through the use of design, technological and financial and economic measures and procedures. A comprehensive assessment of the factors of competitiveness of the fleet of cruise companies, which is the basis for their modernization. These factors include technical and economic aspects, the analysis of which will allow a comprehensive assessment of the direction of modernization. There are several approaches to modernization: renovation, re-equipment, modernization of ship power plants in the maritime industry. The article considers the use of re-equipment with increasing size (capacity) – by making and installing an additional section on the middle frame. To do this, we obtained an equation to determine the effect (profit) from

the modernization, which is taken as the target function. The constraints on the cost of modernization, installation of new equipment, operating costs, strength of the case in compliance with the requirements of classification societies are used as restrictions.

**Conclusions.** The paper proposes a model of dimensional modernization of a cruise ship with the determination of the length of the additional section according to the criterion of ensuring the highest profitability.

**Key words:** passenger ships, modernization, additional section, optimization, restrictions, criteria.

**Вступ.** Світовий пасажирський флот на сучасному етапі свого розвитку налічує за різними оцінками чотириста пасажирських суден, які є авангардом міжнародної туристичної індустрії та можуть розміщати на борту орієнтовно 650 тисяч пасажирів із залученням для цього майже 220 тисяч членів екіпажів. Упродовж наступного десятиріччя 36 компаній, які займаються круїзним бізнесом, замовили суднобудівним компаніям ще 118 суден, зокрема океанські лайнери, загальною вартістю 65 млрд дол. США; середній їх дедвейт становить 97 726 тонн, а пасажиромісткість – 2440 пасажирів.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Згідно з даними авторитетного інтернет-порталу [1] та багатьох досліджень [3–6] спостерігається стабільний розвиток круїзної галузі в останні 30 років. Як показано в таблиці 1, простежується стабільний тренд щодо збільшення пасажиропотоку за останні 30 років, що в середньому становило 3,073 млн пасажирів, або 25,085 %.

Таблиця 1

**Кількість пасажирських перевезень на круїзних суднах**

Роки	Перевезено, млн пасажирів	Зростання	
		абсолютне, млн пасажирів	відносне, %
1990	3,774	–	–
1995	4,721	0,947	20,0
2000	7,214	2,493	34,25
2005	11,180	3,966	35,47
2010	16,30	5,120	31,40
2015	19,377	3,0710	16,80
2020	22,218	2,841	12,78

Це спонукало компанії розробляти та реалізовувати суднобудівну програму, спрямовану на побудову нових суден зі збільшенням водотоннажності й пасажиромісткості, що віддзеркалюється в дослідженнях Всесвітньої круїзної асоціації (Cruise Lines International Association – CLIA) [2] (див. табл. 2).

Зростання круїзної галузі спостерігається на всіх основних ринках Північної Америки, Європи, Південно-Східної Азії (насамперед Китаю та Японії). Ця тенденція з дуже високою ймовірністю зберігатиметься й у майбутньому.

Як показано в таблиці 2, найбільша кількість суден валовою місткістю до 40 тис. GT має середній вік 26 років, 40–69 тис. GT – 19,7 років, 69–93 тис. GT – 13,6 років. До того ж відстежується чітка тенденція спорудження нових суден більшої водотоннажності й пасажиромісткості.

Таблиця 2

**Характеристика круїзного флоту**

Характеристика лайнерів	<i>Круїзні лайнери місткістю GT (gross tonnage)</i>				
	до 40 тис.	40–69 тис.	69–93 тис.	93–143 тис.	понад 143 тис.
кількість	125	40	74	52	8
середній вік	26	19,7	13,6	7,7	5,6
середня кількість пасажирів	470	1382	2145	3102	4239

Водночас варто підкреслити, що круїзні лайнери є надзвичайно дорогими у виготовленні [1–6]. Їхня орієнтовна усереднена вартість наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

**Усереднена вартість спорудження пасажирських лайнерів**

№ з/п	<i>Пасажиромісткість лайнерів</i>	<i>Середня вартість, млн дол. США</i>
1	до 500	260
2	від 500 до 1000	394
3	від 1000 до 2000	442
4	від 2000 до 3000	555
5	від 3000 до 4000	734
6	від 4000 до 5000	937
7	більше 5000	1310

Для підтвердження викладених даних наведемо п'ятірку найдорожчих суден:

- 1) Allure of the Seas – 1,5 млрд дол. США;
- 2) Oasis of the Seas – 1,4 млрд дол. США;
- 3) Symphony of the Seas – 1,35 млрд дол. США;
- 4) Harmony of the Seas – 1,35 млрд дол. США;
- 5) Norwegian Epic – 1,2 млрд дол. США.

**Формування цілей статті.** Метою дослідження є створення математичної моделі визначення розмірів і пасажиромісткості судна шляхом додавання додаткової секції в його модельному перерізі.

**Виклад основного матеріалу.** Для задоволення зростаючого попиту на круїзи судноплавна компанія, з огляду на досить високу конкурентність ринку, повинна виробити стратегію свого розвитку – вибрати з таких варіантів:

- а) побудова нового судна;
- б) придбання вживаного судна;
- в) модернізація власних суден компанії;
- г) оренда суден (фрахт) в інших компаніях.

Вибір кожної стратегії потребує прискіпливого техніко-економічного аналізу з урахуванням оцінки фінансових можливостей компанії та зручності залучення кредитних ресурсів.

Побудова нових суден зумовлюється переважно критерієм економічності з урахуванням зростаючих вимог до рівня безпеки (судноплавства та пасажирів), комфорту, екологічності й енергоефективності.

Високий рівень конкуренції та зростаючий попит змушує судновласників, особливо крупні компанії, зосереджуватися на спорудженні нових лайнерів за індивідуальними проектами, які ґрунтуються на передових технологіях у суднобудуванні й морській інженерії, сфокусовані на задоволенні зростаючого попиту на відповідний рівень комфорту, сервісу, безпеки, цінової політики. З іншого боку, для придбання нових суден характерне залучення значних фінансових ресурсів із досить вагомим рівнем передплати, який досягає близько 60 % від загальної вартості лайнера.

Модернізація круїзного флоту – це напрям, що є досить актуальним серед судновласників [6–10], оскільки з огляду на вартість спорудження круїзних лайнерів (див. табл. 3) вартість модернізації може досягати від 10 % до 30 % від її початкового значення. При цьому буде отримано судно з оновленими, наближеними до нового судна характеристиками, причому зі збільшеною кількістю пасажирів (на 15–20 %) та дохідністю бізнесу.

Як переконливий приклад модернізації щодо збільшення пасажиромісткості можна навести роботи, проведені компанією MSC для її чотирьох лайнерів: «MSC Armonia» (58625 GT, 2001 року будівництва), «MSC Sinfonia» та «MSC Lyrica» (59058 GT, 2003 року будівництва), «MSC Opera» (59058 GT, 2004 року будівництва); три судна компанії «Star Cruises»: «Star Breeze», «Star Legend», «Star pride»; судно «Enchantment of the seas» компанії «Royal Caribbean»; судно «Costa Classica» компанії «Costa Cruises» (1994 року будівництва).

Вживані судна (*second-hand ships*) зазвичай купують невеликі компанії через відносно невисоку їх вартість (порівняно з новими). Ціна на ринку *second-hand* суден формується під впливом п'яти факторів: віку судна, фрахтових ставок, інфляції, прогнозів та очікувань власників круїзного бізнесу, ціни на металевий брухт у разі їх утилізації.

Крім того, варто зазначити, що вживані судна можуть бути введені в експлуатацію в найкоротший термін, на відміну від нових суден, період проектування й побудови яких може тривати до трьох років.

Серед перелічених програм розвитку компанії модернізація заслуговує на особливу увагу, оскільки в разі підвищення кількості пасажирів зменшується собівартість перевезень і збільшується дохідність, підвищується рівень комфортабельності й сервісу, надійність суднових технічних засобів і безпека мореплавання з наближенням комплексних характеристик вживаного судна до аналогічного нового, тобто всі фактори, що підвищують конкурентоздатність бізнесу круїзної компанії.

Далі необхідно акцентувати на понятті «модернізація». Так, економічний словник надає таке тлумачення: «Модернізація (англ. *modernization*) – удосконалення, поліпшення об'єкта, приведення у відповідність до нових вимог ринку». Це визначення модернізації стосовно морських суден можна інтерпретувати як системний процес удосконалення, підвищення ринкової конкурентоздатності круїзних суден шляхом застосування проектно-конструкторських, технологічних, фінансово-економічних заходів і процедур. На сучасному етапі розвитку судноплавної галузі модернізація флоту, зокрема круїзного, включає такі етапи, як реновація, переобладнання та модернізація суднової енергетичної установки [11, с. 169–172].

Поняття «реновація» (від лат. *renovatio*) у морській практиці має значення «процес покращення, оновлення, реконструкції, реставрації корпусу без зміни (порушення) загальної структури». Після завершення процедур з оновлення (реставрації) корпусу передбачається його огляд класифікаційним товариством, за позитивних результатів планується видання спеціального сертифіката – hull renovation, який засвідчує рівні реновації 1SS, 2SS, 3SS, що визначаються віком поновлювальних робіт (відповідність стану корпусу після 5, 10 та 15 років експлуатації відповідно).

Основна сутність переобладнання полягає у збільшенні водотоннажності (дедвейта), що здійснюється шляхом одновірного, двовірного чи тривірного підвищення розмірів.

Модернізація суднової енергетичної установки виконується з метою відшкодування її фізичного та морального старіння. Під модернізацією суднової енергетичної установки будемо розуміти проведення комплексу технічних заходів, що спрямовані на її вдосконалення, щоб суднова енергетична установка відповідала сучасним вимогам і рівню технічного процесу в суднової енергетиці [11].

З огляду на те, що кожне пасажирське судно має низку індивідуальних характеристик, які можуть слугувати факторами для прийняття рішення щодо започаткування модернізації, судновласнику бажано мати оціночні критерії, які дають змогу обґрунтовувати рішення щодо проведення модернізації. Перелік таких факторів схематично зображено на рис. 1.

Як уже зазначалося, модернізація шляхом переобладнання та подовження відкриває шлях до збільшення числа пасажирів, нових комфортабельних кают, зон відпочинку, розваг і сервісів. Таке переобладнання здійснюється установкою нової секції по мідель-шпангоуту (див. рис. 2).

Міжнародна суднобудівна галузь за сторічний період проведення модернізації суден накопичила величезний проєктно-конструкторський, технологічний, фінансово-економічний досвід, який був поширений на судна майже всіх типів і конструкцій. Суттєвим підґрунтям для проведення модернізації є стандарти Міжнародної морської організації, правила й вимоги класифікаційних товариств, що спираються на досвід наукових досліджень і конструкторських розробок у цій сфері.

Особливу роль у модернізації суден відіграє переобладнання зі збільшенням розміру судна, оскільки насправді створюється нове судно, яке може відрізнитися від первинного зразка головними розмірами, морехідними якостями, технічними, економічними й безпековими характеристиками та показниками.

Збільшення розміру судна може бути проведене трьома основними способами: одновірне збільшення, двовірне збільшення, тривірне збільшення [11, с. 10]. Основним рішенням одновірного збільшення корпусної конструкції суден є їх подовження. Ця процедура застосовується для суден різних типів, до 2000-х років у такий спосіб здебільшого відбувалося переобладнання суховантажних суден. За умов перенесення центру світового суднобудування в Китай і Південну Корею значно зменшено собівартість будівництва нових суден, а отже, і терміни їх окупності. Таким чином, було суттєво зменшено попит на проведення модернізаційних робіт.

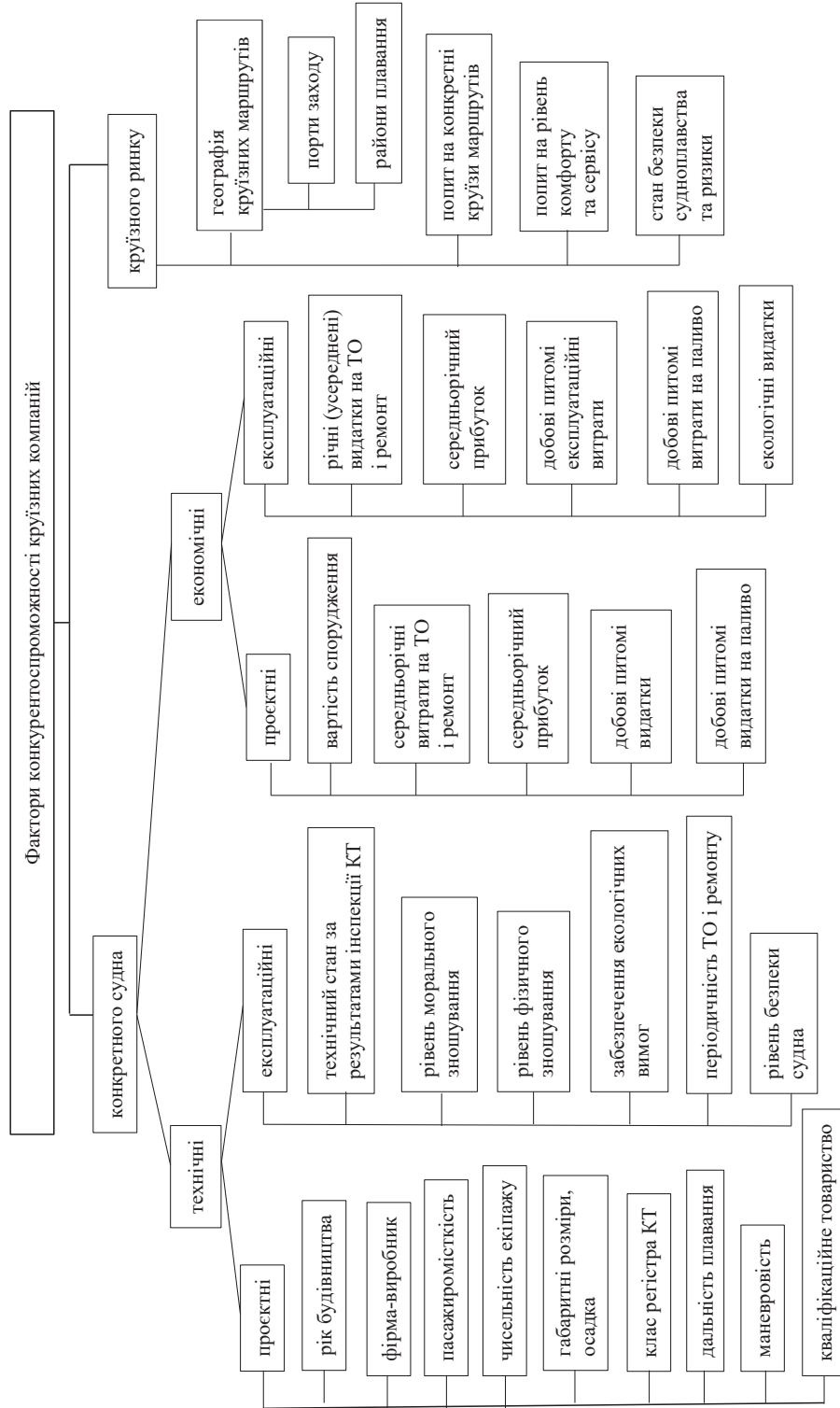


Рис. 1. Фактори, що впливають на конкурентоспроможність морських круїзних компаній

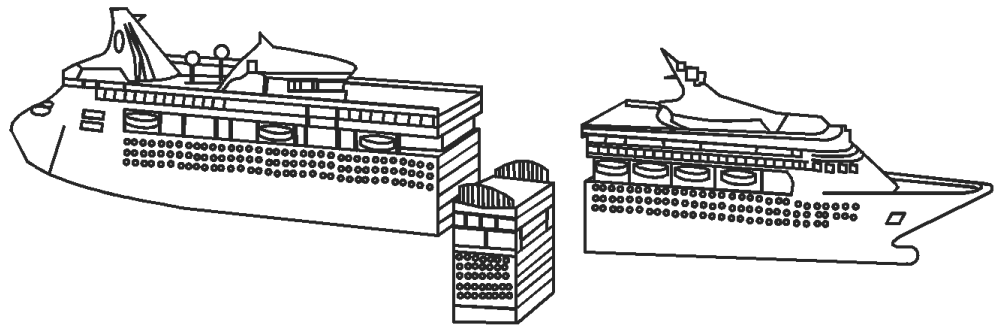


Рис. 2. Модернізація круїзного лайнера з вставкою додаткової секції

Примітка: виконано автором особисто на підставі матеріалів, оприлюднених компанією ROYAL CARIBIAN та класифікаційним товариством DET NORSKE VERITAS.

Зовсім інша картина спостерігається, коли розглядається питання щодо модернізації пасажирських суден, оскільки через значну вартість спорудження ці проекти є досить актуальними. У розгляді цієї науко-технічної проблеми загалом варто підкреслити, що більшість круїзних суден протягом життєвого циклу підлягають модернізації, причому низка з них – неодноразово.

Унаслідок аналізу даних щодо характеристик подовження морських суден торговельного флоту [11, с. 11–13] можна зробити висновок, що для суден довжиною від 50 до 100 м абсолютне збільшення коливається в межах 10–25 м, а відносне – 10–25 %; для суден довжиною, що більша ніж 100 м, – 15–32 м та 1–20 % відповідно.

Межі подовження пасажирських суден мають дещо інше підґрунтя й тлумачення – вони пов'язані з розмірами довжини зони загоряння. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі SOLAS-74 зі змінами станом на 24 травня 2018 року у Главі II-2 «Конструкція протипожежний захист, виявлення та гасіння пожежі» у правилі 3 проголошує: «Головні вертикальні зони, на які корпус надбудови та рубки судна розділені покриттям класу А, середня довжина й ширина такої зони на будь-якій палубі, як правило, не перевищують 40 м. <...> Вогнестійкі конструкції або конструкції класу А, що утворюється переборками й палубами, повинні виготовлятися зі сталі або іншого матеріалу». Правило 9 цього ж розділу документа присвячене проблемі локалізації пожежу: «Довжина та ширина головних вертикальних зон може плануватися до максимальної величини в 48 м, якщо площа вертикальної зони становить не більше ніж 1600 м<sup>2</sup> на будь-якій палубі». Таким чином, максимальна довжина, на яку може збільшитися судно, згідно з вимогами конвенції SOLAS-74, становить від 40 м до 48 м.

Конвенція SOLAS-74 у правилі II-2/1.3.2 вимагає, що до прийняття рішення про проведення модернізації необхідно обов'язково залучити державні морські адміністрації (державну адміністрацію прапора), оскільки ремонти, переробки, модернізації, які суттєво змінюють розміри судна чи розміри пасажирських приміщень або суттєво збільшують термін служби судна й обладнання, повинні відповідати вимогам до суден, побудованих на 1 липня 2012 року або після цієї дати, у тому обсязі, який адміністрація вважає обґрунтованим (реальним). Переобладнання судна шляхом подовження є основним видом модернізації,



оскільки при цьому збільшуються розміри судна, тому й залучення державних морських адміністрацій є важливою та обов'язковою процедурою. Крім того, під час розмірної модернізації обов'язково необхідно враховувати ще одне правило Конвенції SOLAS-74 – «безпечне повернення в порт» (Safe Return to Port – SRtP), яке прийняте резолюцією IMO MSC 216/82, що набрала чинності 1 липня 2010 року. Це правило вимагає, щоб пасажирські судна довжиною 120 м або з трьома чи більше вертикальними зонами проєктувалися з метою поліпшення оцінки виживання. Це означає, що в разі затоплення або надзвичайної ситуації (наприклад, пожежі) пасажирів та екіпаж можуть безпечно залишатися на борту судна, доки воно рухається в порт власним ходом. Також цим правилом визначається поріг, за якого екіпаж повинен мати можливість повернутися в порт, не виключаючи евакуацію пасажирів.

Наступний етап щодо обґрунтування подовження ґрунтується на забезпеченні загальної і місцевої міцності корпусу. Зміна його довжини викликає зміну зовнішніх навантажень – сил і моментів сил. Для орієнтовної оцінки розрахункового моменту від згину корпусу, що виникає в перетині мідель-шпагоуту, традиційно використовується залежність

$$M = \frac{D L}{K},$$

де  $D$  – водотоннажність судна, кН;

$L$  – довжина судна, м;

$K$  – числовий коефіцієнт.

Оцінка міцності корпусу здійснюється кожним класифікаційним товариством за відповідною методикою як обов'язкова процедура забезпечення його роботоздатності. Як приклад такої оцінки можна застосувати стандарт загальної міцності громадянських суден [13].

Загальна роботоздатність корпусної конструкції модернізованого судна повинна бути оцінена за критерієм міцності. Загальна міцність корпусу визначається нормами міцності морського судна [12–14]:

– за критерієм втомної (експлуатаційної) міцності від багатоциклового навантаження моментом згину в разі хвилювання та за тихої води;

– за граничним станом на згин від дії максимально можливої алгебраїчної суми розрахункових значень хвильового згинного моменту, згинного моменту від удару хвиль і згинного моменту в разі прогибу й перегибу судна на вершині розрахункової хвилі;

– за граничним станом на зріз у разі дії максимально можливої алгебраїчної суми розрахункових значень перерізувальних сил.

Для того щоб здійснити узагальнений аналіз впливу подовження судна на його міцність, необхідно безпосередньо звернутися до стандарту повздовжньої міцності морських суден [15], відповідно до якого момент опору еквівалентного бруса в перерізі по мідель-шпангоуту повинен бути не меншим, ніж величина

$$W = BTf(L),$$

де  $B$  – ширина судна, м;

$T$  – осадка, м;

$f(L)$  – функція довжини судна, що збільшується з ростом довжини, м.

З точністю до 2 % можна прийняти, що  $f(L) = 8L^{5/3}$ . З урахуванням цього отримаємо

$$W = 8BTL^{5/3}.$$

Якщо довжина судна збільшується від початкової довжини  $L_0$  до необхідної  $L$ , потрібний момент опору збільшується на величину  $\left(\frac{L}{L_0}\right)^{5/3}$ .

Якщо в розрахунках буде підтверджено, що корпус судна не має надлишкову міцність, а площа перерізу повздовжніх зав'язків під час подовження не змінюється, осадку судна варто знизити пропорційно величині  $\left(\frac{L}{L_0}\right)^{5/3}$ . За надлишкової повздовжньої міцності корпус може бути подовжено до величини  $L = \left(\frac{W_0}{8BT_0}\right)^{3/5}$  без зміни осадки та без підсилення еквівалентного бруса [11, с. 84].

У тому випадку, коли осадка  $T$  зберігається, приріст моменту опору, що вимагається кваліфікаційним товариством, може бути визначено за рівнянням

$$\Delta W = \left[ \left(\frac{L}{L_0}\right)^{5/3} - 1 \right] W_0,$$

де  $W_0$  – момент опору еквівалентного бруса судна до його подовження [11, с. 84].

Відомо, що прибуток компанії визначається так:

$$P = R - C,$$

де  $P$  – прибуток компанії від експлуатації судна;

$R$  – дохід компанії від експлуатації судна;

$C$  – капітальні та експлуатаційні витрати компанії.

Водночас варто зауважити, що прибуток судна до модернізації становить

$$P_1 = R_1 - C_1,$$

а після модернізації –

$$P_2 = R_2 - C_2.$$

Це дає можливість визначити прибуток (ефект) від проведення модернізації:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_2 - P_1 = (R_2 - C_2) - (R_1 - C_1) = \\ &= ((R_1 + \Delta R) - (C_1 + \Delta C)) - (R_1 - C_1) = \Delta R - \Delta C, \end{aligned} \quad (1)$$

який визначається як різниця додаткового доходу  $\Delta R$  та додаткових витрат  $\Delta C$  від її проведення.

Оптимальний пошук довжини додаткової секції будемо проводити з опертям на додаткову кількість кают  $n_{кт}^n$ , що розміщуються вздовж діаметральної площини судна, і величина  $n_{кт}^n$  визначить оптимальну довжину додаткової секції судна:

$$l_{сек} = b_k n_{кт}^n, \quad (2)$$

де  $b_k$  – ширина додаткової каюти.

Водночас отримаємо можливість усереднено оцінити кількість пасажирів, що розміщуються в додатковій секції:

$$\Delta N_{\text{пас}}^{\text{д}} = q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}} k_{\text{р}}^{\text{д}} z_{\text{п}}^{\text{д}}, \quad (3)$$

де  $q_{\text{кт}}^{\text{д}}$  – прогнозована кількість пасажирів в одній каюті додаткової секції;  
 $k_{\text{р}}^{\text{д}}$  – кількість рядів кают на одній палубі;  
 $z_{\text{п}}^{\text{д}}$  – кількість палуб на судні.

Додатковий дохід визначається кількістю пасажирів, яку може прийняти судно:

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n (m_{\text{кт}i}^{\text{д}} \Delta N_{\text{пас}i}^{\text{д}} (C_{\text{бт}i} + C_{\text{срв}i})) = \sum_{i=1}^n (m_{\text{кт}i}^{\text{д}} q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}} k_{\text{р}}^{\text{д}} z_{\text{п}}^{\text{д}} (C_{\text{бт}i} + C_{\text{срв}i})), \quad (4)$$

де  $m_{\text{кт}i}^{\text{д}}$  – кількість кают  $i$ -го класу, які виготовлені в додаткові секції судна;  
 $\Delta N_{\text{пас}i}^{\text{д}}$  – усереднена кількість додаткових пасажирів у каюті  $i$ -го класу;  
 $C_{\text{бт}i}$  – вартість білету каюти  $i$ -го класу;  
 $C_{\text{срв}i}$  – вартість додаткових сервісів і послуг, які отримує пасажир каюти  $i$ -го класу (ресторани, екскурсії, магазини, кінотеатри, SPA-салони тощо).

Додаткові витрати судна в разі його подовження будемо визначати за залежністю

$$\Delta C = \Delta C_{\text{сарех}} + \Delta C_{\text{опех}}, \quad (5)$$

де  $\Delta C_{\text{сарех}}$  – капітальні витрати судна на модернізацію;  
 $\Delta C_{\text{опех}}$  – збільшення операційних витрат судна після модернізації.

Витрати  $\Delta C_{\text{сарех}}$  – вартість проведення модернізації круїзного судна – будемо оцінювати за залежністю [16]

$$\Delta C_{\text{сарех}} = C_{\text{Н}}^{\text{д}} + C_{\text{оп}}^{\text{д}} + C_{\text{ДГ}}^{\text{д}} + C_{\text{Е}}^{\text{д}} + GE + S + ES, \quad (6)$$

де  $C_{\text{Н}}^{\text{д}}$  – вартість виготовлення додаткової секції корпусу;  
 $C_{\text{ок}}^{\text{д}}$  – вартість проведення робіт з оздоблення додаткових кают;  
 $C_{\text{ДГ}}^{\text{д}}$  – вартість встановлення (заміни) додаткових дизель-генераторів;  
 $C_{\text{Е}}^{\text{д}}$  – вартість встановлення (заміни) додаткового обладнання;  
 $GE$  – загальні витрати на виробництво (модернізацію);  
 $S$  – прибуток верфі;  
 $ES$  – додаткові витрати.

Вартість виготовлення додаткової секції лайнера [16] становить

$$C_{\text{Н}} = CA_{\text{с}} + CF_{\text{с}}, \quad (7)$$

де  $CA_{\text{с}}$  – вартість матеріалу;  
 $CF_{\text{с}}$  – вартість виробництва.

$$CA_{\text{с}} = G_{\text{с}} m_{\text{ст}} = \gamma_G n_{\text{кт}}^{\text{д}} b_{\text{кт}} m_{\text{ст}}, \quad (8)$$

де  $G_{\text{с}}$  – вага додаткової секції корпусу;  
 $m_{\text{ст}}$  – вартість одиниці конструкційної сталі;  
 $\gamma_G$  – питома вага секції по ширині каюті.

Вартість виробництва [16] становить

$$CF_{\text{с}} = Hh_{\text{с}} m_{\text{HH}}, \quad (9)$$

де  $Hh_{\text{с}}$  – необхідна кількість людино-годин;  
 $m_{\text{HH}}$  – вартість застосування людської сили

$$Hh_{\text{с}} = LI_1 C_1 + LI_2 n_{\text{кт}}^{\text{д}} k_{\text{р}}^{\text{д}} z_{\text{п}}^{\text{д}}, \quad (10)$$

де  $LI_1$  – трудомісткість (labor intensity), кількість часу, що витрачається на виробництво одиниці продукції (у цьому випадку секції корпусу), людино-годин/тон;

$LI_2$  – трудомісткість оздоблювальних робіт кают додаткової секції,

$$Hh_c = LI_1 \gamma_G n_{кт}^d b_{кт} + LI_2 n_{кт}^d k_p^d z_{п} = n_{кт}^d (LI_1 \gamma_G b_{кт} + LI_2 k_p^d z_{п}). \quad (11)$$

Вартість проведення оздоблювальних робіт в додаткових каютах становить

$$C_{оп}^d = CK n_{кт}^d k_p^d z_{п}, \quad (12)$$

де  $CK$  – вартість оздоблення й обладнання однієї каюти.

Заміна дизель-генераторів відбувається за умови визначення потрібних електроенергетичних потужностей модернізованого судна та порівняння з фактичними енергетичними можливостями судна, тобто у випадку, якщо буде дотримано нерівність

$$P_{DG\Sigma\phi} \geq P_{DG\Sigma M} = \frac{P_{режМ}(n_{кт}^d)}{0,8}, \quad (13)$$

де  $P_{режМ}$  – сумарне значення потужності, що споживається приймачами в розрахунковому режимі (визначається залежно від нової довжини судна, числа кают (загальної кількості пасажирів)).

Таким чином, вартість встановлення додаткових дизель-генераторів визначається як

$$C_{дг}^d = \begin{cases} 0, & \text{якщо виконується умова (13)} \\ A - \text{вартість встановлення нових дизель-генераторів} \\ & \text{згідно з каталогом фірми-виробника.} \end{cases} \quad (14)$$

До переліку додаткового обладнання, яке прогнозується встановити на судні в результаті модернізації, варто віднести інженерне устаткування та комунікації для таких процесів:

- кондиціонування (обігрів та охолодження);
- водопостачання (опріснення, підготовка води питної та для миття (washing water));
- водовідведення («сірої» і «чорної» води);
- переробки й утилізації сміття;
- рухально-рульового комплексу (РРК);
- сервісів на борту судна (ресторани, бари, торговельно-розважальні центри).

Для обігріву й охолодження кают на суднах використовуються кондиціонери. Теплова потужність кондиціонерів, що використовуються для обігріву кают додаткової секції, визначається за формулою

$$P_{кн.т}^d = \frac{V_{кт\Sigma}^d \Delta t_k}{860} = \frac{(V_{кт}^d n_{кт}^d k_p^d z_{п} + V_{cor}) \Delta t_k}{860}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

де  $V_{кт}^d$  – об'єм каюти в додатковій секції, м<sup>3</sup>;

$V_{cor}$  – об'єм коридорів, м<sup>3</sup>;

$\Delta t_k$  – найбільша різниця температур у каюті та назовні, °С.

Додаткова потужність кондиціонерів, яка витрачається на охолодження кают і приміщень нової (вставної) секції корпусу, розраховується за залежністю

$$P_{\text{кн.хол}}^{\text{д}} = n_{\text{кт}}^{\text{д}} k_{\text{р}}^{\text{д}} z_{\text{п}} (Q_1 + Q_2 + Q_3), \quad (16)$$

де  $Q_1$  – потужність кондиціонера для порожніх кают (приміщень), кВт;

$Q_1 = A_{\text{кт}} h q 10^{-3}$ , де  $A_{\text{кт}}$  – площа каюти, м<sup>2</sup>;  $h$  – висота стелі, м;  $q$  – коефіцієнт освітленості;

$Q_2$  – тепловотоки, що йдуть від пасажирів, 0,1–0,3 кВт;

$Q_3$  – тепловотоки, що йдуть від побутової техніки, 0,2–0,5 кВт.

Заміна кондиціонерів відбувається за умови

$$\begin{cases} (P_{\text{кн.т}}^{\text{р}} + P_{\text{кн.т}}^{\text{д}}) \geq P_{\text{кн.т}}^{\text{ф}} \\ (P_{\text{кн.хол}}^{\text{р}} + P_{\text{кн.хол}}^{\text{д}}) \geq P_{\text{кн.хол}}^{\text{ф}} \end{cases}. \quad (17)$$

Отже, вартість встановлення додаткових кондиціонерів визначається як

$$C_{\text{кн}}^{\text{д}} = \begin{cases} 0, \text{ якщо виконується умова (17)} \\ B - \text{вартість встановлення нових кондиціонерів} \\ \text{згідно з каталогом фірми-виробника.} \end{cases} \quad (18)$$

Водопостачання пасажирів додаткової секції потребує таких операцій, як опріснення, підготовка води питної та для миття (washing water). Норми водопостачання на добу питної води, згідно з усередненими вимогами провідних класифікаційних товариств, становлять 75–100 л/людина, води для миття – 150–200 л/людина, стокові води становлять приблизно 300 л/людина. Кількість додаткової прісної води визначається за залежністю

$$V_{\text{вод}}^{\text{д}} = (220 \dots 300) N_{\text{пас}}^{\text{д}} = (220 \dots 300) q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}} k_{\text{р}}^{\text{д}} z_{\text{п}}, \text{ л/доба}. \quad (19)$$

За результатами розрахунку  $V_{\text{вод}}^{\text{д}}$  визначається спроможність водоопріснювальної установки щодо забезпечення суднових потреб за результатами модернізації судна

$$PD_{\text{пс}} \geq PD_{\text{ф}} + V_{\text{вод}}^{\text{д}}, \text{ л/добу}, \quad (20)$$

де  $PD_{\text{пс}}$  – паспортна продуктивність водоопріснювальної установки, л/добу;

$PD_{\text{ф}}$  – фактична продуктивність водоопріснювальної установки до модернізації, л/добу.

Якщо нерівність (15) не виконується, проводиться заміна опріснювальної установки на більш продуктивну. Отже, вартість встановлення додаткових кондиціонерів визначається як

$$C_{\text{воу}}^{\text{д}} = \begin{cases} 0, \text{ якщо виконується умова (20)} \\ D - \text{вартість встановлення нової} \\ \text{(або модернізації старої) водоопріснювальної установки} \\ \text{згідно з каталогом фірми-виробника.} \end{cases} \quad (21)$$

Збільшення розмірів судна здійснює вагомий вплив на його маневрові характеристики, а отже, і на рухально-рульовий комплекс. Так, у разі використання звичайних обтічних рулів їх площа за збільшення довжини судна буде визначатися традиційно за формулою

$$A_{\Sigma\text{М}} = \mu L_{\perp\text{М}} T_{\text{М}} = \mu (L_{\perp} + l_{\text{ск}}) T_{\text{М}} = \mu (L_{\perp} + n_{\text{кт}}^{\text{д}} b_{\text{кт}}) T_{\text{М}}, \quad (22)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт, що залежить від призначення судна;

$L_{\perp M}$  – відстань між перпендикулярами модернізованого судна, м;

$T_M$  – осадка модернізованого судна, м.

Тоді вартість виготовлення нових рушіїв становитиме

$$C_{EPH} = \gamma_{PH} A_{EM} = \gamma_{PH} \mu (L_{\perp} + n_{KT}^n b_{KT}) T_M, \quad (23)$$

де  $\gamma_{PH}$  – питома вартість виготовлення рулів і рульових пристроїв, гр. од./м<sup>2</sup>.

Оцінку тяги, яку створюють підрулюючі пристрої, можна провести з огляду на рекомендації компанії Lips [17]:

$$T_{EM} = 50 A_{YM} + 150 A_{LM}, \quad (24)$$

де  $A_{YM}$  – величина площі проєкцій надводної частини на діаметральну площину, м<sup>2</sup>;

$A_{LM}$  – величина площі проєкцій підводної частини на діаметральну площину, м<sup>2</sup>.

Цей вираз можна переписати із застосуванням значення площі додаткової вставки на діаметральну площину:

$$T_{EM} = 50 (A_{YM} + H_n^n n_{KT}^n b_{KT}) + 150 (A_{LM} + T_M n_{KT}^n b_{KT}), \quad (25)$$

де  $H_n^n$  – висота надводної частини судна з додатковою секцією;

$T_M$  – осадка модернізованого судна.

Значення сили  $T_{EM}$  за виразом (20) впливає на ефективність роботи рухально-рульового комплексу судна  $E$ , яка має комплексний характер, що можна відобразити таким виразом [17]:

$$E_M = E_M (n_{KT}^n) = E_M (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n), \quad (26)$$

де  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$  – параметри роботи ДРК, що характеризують його ефективність під час виконання  $n$  маневрів [17].

Тільки після такої оцінки може бути прийнято рішення щодо проєктування підрулювальних пристроїв із новими характеристиками. Це становить окреме завдання оптимізації ДРК більш нижчого рівня відповідно до загальної розмірної модернізації суден.

Визначення величини загальних витрат на модернізацію  $GE$  ґрунтується на досвіді конкретного суднобудівного підприємства. Ці витрати за рекомендацією [17] орієнтовно становлять 90 % від вартості праці, затраченої на суднобудівне виробництво в частині проведення модернізації, зокрема

$$GE = 0,9CF_c. \quad (27)$$

Прибуток верфі становить приблизно 5 % від вартості праці на донному виробництві  $S = 0,05CF_c$ .

Додаткові витрати  $ES$  становлять приблизно до 10 % від загальних витрат:

$$ES = 0,1GE. \quad (28)$$

Витрати  $\Delta C_{orex}$  розраховуються за рівнянням

$$\Delta C_{orex} = \Delta C_{зп} + \Delta C_{вх} + \Delta C_{пд} + \Delta C_{пл} + \Delta C_{інв} + \Delta C_{рем} + \Delta C_{ам} + \Delta C_{прг} + \Delta C_{коф}, \quad (29)$$

де  $\Delta C_{зп}$  – збільшення фінансування на підвищення заробітної плати (основної і додаткової) екіпажу, зокрема персоналу обслуговування;

$\Delta C_{вх}$  – збільшення витрат на харчування пасажирів та екіпажу;

$\Delta C_{\text{пд}}$  – збільшення податків у зв'язку зі збільшенням пасажиромісткості й водотоннажності судна;

$\Delta C_{\text{пл}}$  – додаткові витрати на збільшення генерації енергії та паливо;

$\Delta C_{\text{інв}}$  – збільшення витрат на малоцінний і швидкозношуваний матеріал;

$\Delta C_{\text{рем}}$  – зростання витрат на ремонт і технічне обслуговування;

$\Delta C_{\text{ам}}$  – збільшення амортизаційних виплат;

$\Delta C_{\text{прт}}$  – підвищення величини портових зборів;

$\Delta C_{\text{коф}}$  – зростання витрат на комплексне обслуговування флоту.

Фінансування  $\Delta C_{\text{зп}}$  можна визначити за виразом

$$\Delta C_{\text{зп}} = \sum_{i=1}^p \frac{\Delta N_{\text{пас}}^{\text{д}}}{K_{\text{норма}}} S_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}}}{K_{\text{норма}}} S_{\text{ст}}. \quad (30)$$

де  $K_{\text{норма}}$  – нормативний коефіцієнт, що встановлює кількість членів екіпажу залежно від кількості пасажирів;

$S_{\text{ст}}$  – грошова ставка заробітної плати членів екіпажу відповідного фаху;

$p$  – кількість груп спеціалістів визначеного фаху, які залучаються для обслуговування пасажирів  $\Delta N_{\text{пас}}^{\text{д}}$ .

Додаткові витрати на харчування визначають як

$$\Delta C_{\text{вх}} = S_{\text{хр}}^{\text{пас}} q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}}, \quad (31)$$

де  $S_{\text{хр}}^{\text{пас}}$  – усереднена вартість харчування одного пасажирів.

Прогнозоване збільшення податків, що спочуються судноплавною компанією, пропонується розраховувати за виразом

$$\Delta C_{\text{пд}} = k_{\text{пд}} q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}}, \quad (32)$$

де  $k_{\text{пд}}$  – коефіцієнт пропорційності, що отримується шляхом обробки статистичних даних діяльності компанії; він встановлює пропорційний зв'язок величини податків і кількості пасажирів.

Аналогічно виразу (27) можна знайти додаткові витрати, які відмічені в рівнянні (28).

Першочерговим фактором, який необхідно забезпечити під час модернізації судна, є міцність корпусу. За будь-яких видів модернізації, що стосуються корпусу, класифікаційні товариства вимагають перевірку його на міцність. Ця перевірка повинна здійснюватися за критеріями експлуатаційної (втомної) міцності, граничного стану на згин і перегин, граничного стану на зріз.

Перевірка за критерієм експлуатаційної (втомної) міцності виконується за залежністю [12]:

$$\frac{K_b |M_{\text{в1}}| + K_{\text{ТВ1}} |M_{\text{ТВ1}}|}{W_1} 10^3 \leq \sigma_A, \quad (33)$$

де  $M_{\text{в1}}$  – хвильовий згинальний момент на відомій висоті хвилі  $h$ , який залежить від квадрату довжини судна [12], тобто:

$$M_{\text{в1}} = f(L_m^2) = f((L_c + l_{\text{ск}})^2) = f((L_c + n_{\text{кт}}^{\text{д}} b_{\text{кт}})^2), \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$M_{\text{ТВ1}}$  – величина згинального моменту на тихій воді, яка визначається за відомою залежністю  $M_{\text{ТВ1}} = K_{\text{ТВ}} gDL_m = K_{\text{ТВ}} gD(L_c + n_{\text{кт}}^{\text{д}} b_{\text{кт}})$ , кН·м;

$W_1$  – осьовий момент опору небезпечного перерізу корпусу, см<sup>3</sup>;

$K_b$  – коефіцієнт впливу високочастотних напружень;

$K_{ТВ1}$  – коефіцієнт, що визначає розтягнуті повздовжні зв'язки корпусу на тихій воді;

$\sigma_A$  – допустимі напруження під час розрахунку на опір втомі.

Перевірка загальної міцності за граничним станом повинна показати, що в разі прогину й перегину корпусу судна на хвилі в завантаженому стані відношення граничного моменту за згину корпусу до найбільшого розрахункового згинального моменту задовольняє вимогу

$$K_{\phi} = \frac{M_{гр}}{M_B + M_y + M_{ТВ}} \geq K_{min} K_k, \quad (34)$$

де  $M_{гр}$  – граничний згинальний момент, який також перебуває в залежності від нової довжини судна, кН·м;

$M_B$  – максимальний хвильовий згинальний момент на відомій висоті хвилі  $h$ , який залежить від квадрату довжини судна [12], кН·м;

$M_{ТВ}$  – найбільша величина згинального моменту на тихій воді, яка визначається за відомою залежністю  $M_{ТВ} = K_{ТВ} gDL_m = K_{ТВ} gD(L_c + n_{кт}^d b_{кт})$ , кН·м;

$K_{min}$  – мінімальний коефіцієнт запасу міцності;

$K_k$  – коефіцієнт корекції навантаження.

Перевірку за граничним станом корпусу на зріз здійснюється за умови

$$\frac{N_{гр}}{N_{зм} + N_{ТВ}} \geq 1, 2, \quad (35)$$

де  $N_{гр}$  – гранична величина перерізуючої сили для поперечного перерізу корпусу, кН;

$N_{зм}$  – змінний складник перерізуючої сили, кН;

$N_{ТВ}$  – максимально можлива в поперечному перерізі корпусу перерізуюча сила від навантаження судна на тихій воді.

Визначення оптимальної довжини секції ґрунтується на створенні відповідної математичної моделі. Математична модель задачі з оптимізації традиційно включає три елементи: цільову функцію, обмеження та граничні умови. Як критерій побудови цільової функції застосовуємо прибуток, який отримає судноплавна компанія від експлуатації модернізованого судна. Таким чином, задача оптимального визначення довжини додаткової секції лайнера визначається кількістю кают вздовж діаметральної площини.

Отже, модель задачі оптимального визначення довжини додаткової секції круїзного судна з урахуванням рівнянь (1), (5), (6) буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta P(n_{кт}^d) = & \left[ \sum_{i=1}^n (m_{ктi}^d q_{ктi}^d n_{ктi}^d k_p^d z_{пi} (C_{бти} + C_{срви})) - \right. \\ & - ((C_H^d(n_{кт}^d) + C_{ор}^d(n_{кт}^d) + C_{ДГ}^d(n_{кт}^d) + C_E^d(n_{кт}^d) + GE(n_{кт}^d) + \\ & + S(n_{кт}^d) + ES(n_{кт}^d)) + (\Delta C_{зп}(n_{кт}^d) + \Delta C_{вх}(n_{кт}^d) + \Delta C_{пд}(n_{кт}^d) + \\ & + \Delta C_{пл}(n_{кт}^d) + \Delta C_{інв}(n_{кт}^d) + \Delta C_{рем}(n_{кт}^d) + \Delta C_{ам}(n_{кт}^d) + \\ & \left. + \Delta C_{прт}(n_{км}^d) + \Delta C_{коф}(n_{кт}^d)) \right] \rightarrow \max \end{aligned} \quad (36)$$

Обмеження для цільової функції (36) утворюють групи рівнянь, які враховують:



- вартість проведення модернізації (7)–(12);
- вартість установки додаткового обладнання (13)–(32);
- операційні витрати (30)–(32);
- виконання умов забезпечення міцності корпусу як функції довжини корпусу згідно з вимогами класифікаційних товариств (33)–(34).

Граничні умови, які накладаються на задачу оптимізації, враховують область допустимих значень змінної  $n_{кт}^n$ , яка пов'язана з допустимою довжиною додаткової секції ( $1 \leq n_{кт}^n \leq \frac{[l_c]}{b_{кт}}$ ), про що вже йшлося раніше.

**Висновки.** У роботі запропонована модель проведення розмірної модернізації круїзного судна з визначенням довжини додаткової секції за критерієм забезпечення найбільшої прибутковості.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Cruise Market Watch. URL: <https://cruisemarketwatch.com/passenger-origins>
2. Cruise Lines International Association (CLIA). URL: <https://www.cruising.org.au>
3. Det Norske Veritas Holding AS (“DNV Holding”). URL: <https://www.dnv.com>
4. Chiotopoulos A., Wuersig G.-M., Ellefsen A. Retrofitting cruise ships to LNG by elongation. *SAFETY4SEA*. 2014. URL: <https://safety4sea.com/retrofitting-cruise-ships-to-lng-by-elongation-2/>
5. Жихарева В. В. Современные тенденции развития рынка круизного судоходства. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті* : збірник наукових праць. Одеса : ОНМУ, 2012. № 39. С. 153–167.
6. Боровик С. С. Аналіз стану і перспективи розвитку світового круїзного флоту. *Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на ринку міжнародного судноплавства* : монографія / О. Г. Шибает, О. Л. Дрожжин, Н. В. Судник та ін. Одеса : Купрієнко С. В., 2018. С. 38–45.
7. Сёмин А. А. Проектирование и эксплуатация пассажирских судов внутреннего смешанного плавания по критерию комфортабельности : монография. Киев : Лира-К, 2020. 190 с.
8. Егоров А. Г. Влияние работ по переоборудованию круизных пассажирских судов на формирование помещений для пассажиров и экипажа. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2020. Вип. 1 (61). С. 29–54.
9. Егоров А. Г. Оценка влияния старения флота и модернизаций на общую пассажировместимость речных круизных пассажирских судов. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2020. Спецвыпуск № 1. С. 149–153.
10. Егоров А. Г. Анализ возможности реализации инновационных решений на модернизированных и конверсионных речных круизных

- пассажи́рских суда́х. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2019. Спецвыпуск № 1. С. 240–246. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-S-I-240-246
11. Лазарев А. Н., Марченко С. С. Теоретические аспекты модернизации судов смешанного «река – море» плавания. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. 2016. Вып. 1 (35). С. 76–84. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-modernizatsii-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya/viewer>
  12. Гундобин А. А., Финкель Г. Н. Размерная модернизация и переоборудование судов : монография. Ленинград : Судостроение, 1977. 192 с.
  13. Нормы прочности морских судов. Регистр СССР. Ленинград, 1991. 91 с.
  14. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов (часть II). Корпус. НД № 2-020101-095. Санкт-Петербург, 2017. 229 с.
  15. DNV GL. Rules for classification rules for classification ships. Edition October 2015. Part 5. Ship types. Chapter 4. Passenger ships. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt5Ch4.pdf>
  16. Міжнародна конвенція про вантажну марку : міжнародний документ від 5 квітня 1966 р. (набув чинності для України 25 січня 1994 р.) / *Верховна Рада України*. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896\\_007#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_007#Text)
  17. Centre for Marine Technology and Ocean Engineering. URL: <http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/EN/SD-1.3.2-Cost%20Estimate.pdf>
  18. Гофман А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна : справочник. Ленинград : Судостроение, 1988. 359 с.

## REFERENCES

1. Cruise Market Watch. Retrieved from: <https://cruisemarketwatch.com/passenger-origins> [in English]
2. Cruise Lines International Association (CLIA). Retrieved from: <https://www.cruising.org.au> [in English]
3. Det Norske Veritas Holding AS (“DNV Holding”). Retrieved from: <https://www.dnv.com> [in English]
4. Chiotopoulos, A., Wuersig, G.-M., Ellefsen, A. (2014). Retrofitting cruise ships to LNG by elongation. *SAFETY4SEA*. Retrieved from: <https://safety4sea.com/retrofitting-cruise-ships-to-lng-by-elongation-2/> [in English]
5. Zhikhareva, V. V. (2012). Current trends in the development of the cruise shipping market [Sovremennye tendentsii razvitiya rynka kruiznogo sudokhodstva]. *Rozvytok metodiv upravlinniu ta hospodariuvannia na transporti: zbirnyk naukovykh prats – Development of methods of*

- management and administration of transport: a collection of scientific papers*. Odesa : ONMU, no. 39, pp. 153–167. [in Russian]
6. Borovyk, S. S. (2018). Analysis of the state and prospects of the world cruise fleet [Analiz stanu i perspektyvy rozvytku svitovoho kruiznoho flotu]. *Orhanizatsiia transportnoho protsesu ta upravlinnia robotoiu flotu na rynku mizhnarodnoho sudnoplavstva: monohrafiia – Organization of transport process and fleet management in the international shipping market: monograph* / O. H. Shybaiev, O. L. Drozhzhyn, N. V. Sudnyk et al. Odesa : Kupriienko S. V., pp. 38–45. [in Ukrainian]
  7. Semin, A. A. (2020). Design and operation of passenger ships of inland mixed navigation according to the criterion of comfort: monograph [Proektirovanie i ekspluatatsiya passazhirskikh sudov vnutrennego smeshannogo plavaniya po kriteriyu komfortabel'nosti: monografiya]. Kyiv : Lira-K. [in Russian]
  8. Egorov, A. G. (2020). Influence of work on the re-equipment of cruise passenger ships on the formation of accommodation for passengers and crew [Vliyanie rabot po pereoborudovaniyu kruiznykh passazhirskikh sudov na formirovanie pomeshcheniy dlya passazhirov i ekipazha]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu – Bulletin of Odessa National Maritime University*, iss. 1 (61), pp. 29–54. [in Russian]
  9. Egorov, A. G. (2020). Assessment of the impact of fleet aging and modernization on the overall passenger capacity of river cruise passenger ships [Otsenka vliyaniya stareniya flota i modernizatsiy na obshchuyu passazhirovmost' rechnykh kruiznykh passazhirskikh sudov]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra – Proceedings of the Krylovsky State Scientific Center*, no. 1, pp. 149–153. [in Russian]
  10. Egorov, A. G. (2019). Analysis of the possibility of implementing innovative solutions on modernized and conversion river cruise passenger ships [Analiz vozmozhnosti realizatsii innovatsionnykh resheniy na modernizirovannykh i konversionnykh rechnykh kruiznykh passazhirskikh sudakh]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra – Proceedings of the Krylovsky State Scientific Center*, no. 1, pp. 240–246. DOI: 10.24937/2542-2324- 2019-1-S-I-240-246 [in Russian]
  11. Lazarev, A. N., & Marchenko, S. S. (2016). Theoretical aspects of the modernization of ships of mixed “river – sea” navigation [Teoreticheskie aspekty modernizatsii sudov smeshannogo “reka – more” plavaniya]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova – Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov*, iss. 1 (35), pp. 76–84. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-modernizatsii-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya/viewer> [in Russian]

12. Gundobin, A. A., & Finkel', G. N. (1977). Dimensional modernization and re-equipment of ships: monograph [Razmernaya modernizatsiya i pereoborudovanie sudov: monografiya]. Leningrad : Sudostroenie. [in Russian]
13. Norms of strength of sea vessels. Register of the USSR [Normy prochnosti morskikh sudov. Registr SSSR] (1991). Leningrad. [in Russian]
14. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Vessels (Part II). Frame. ND № 2-020101-095 [Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov (chast' II). Korpus. ND № 2-020101-095] (2017). Saint Petersburg. [in Russian]
15. DNV GL. Rules for classification rules for classification ships. Edition October 2015. Part 5. Ship types. Chapter 4. Passenger ships. Retrieved from: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt5Ch4.pdf> [in English]
16. Verkhovna Rada of Ukraine (1994). International Trademark Convention: international document of April 5, 1966 (entered into force for Ukraine on January 25, 1994) [Mizhnarodna konventsiiia pro vantazhnu marku: mizhnarodnyi dokument vid 5 kvitnia 1966 r. (nabuv chynnosti dlia Ukrainy 25 sichnia 1994 r.)]. Retrieved from: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896\\_007#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_007#Text) [in Ukrainian]
17. Centre for Marine Technology and Ocean Engineering. Retrieved from: <http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/EN/SD-1.3.2-Cost%20Estimate.pdf> [in English]
18. Gofman, A. D. (1988). Propulsion-steering complex and vessel maneuvering: reference book [Dvizhitel'no-rulevoy kompleks i manevrirovaniye sudna: spravochnik]. Leningrad : Sudostroenie. [in Russian]