

ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН ПРИ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

О. М. Шумило, О. М. Кононова, К. Ю. Бараболя

Одеський національний морський університет

***Анотація:** У роботі запропоновано вирішення проблеми визначення оптимального розміру додаткової секції, яке є складовою частиною модернізації пасажирських лайнерів. Основою метою модернізації є підвищення конкурентоспроможності судноплавної компанії.*

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

PROSPECTS OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF PASSENGER VESSELS DURING THE MODERNIZATION

O. M. Shumylo, O. M. Kononova, K. Yu. Barabolya

Odessa National Maritime University

***Abstract:** 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.*

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

Вступ. Світовий пасажирський флот на сучасному етапі свого розвитку нараховує за різними оцінками чотириста пасажирських суден, що є авангардом міжнародної туристичної індустрії, які можуть розміщати на борту орієнтовно 650 тисяч пасажирів, залучаючи до цього майже 220 тисяч членів екіпажів. Протягом наступного десятиріччя 36 компаній, які займаються круїзним бізнесом, замовили суднобудівним компаніям ще 118 суден, включаючи океанські лайнери, загальною вартістю 65 млрд. дол. США, середній їх дедвейт складає 97726 тон, а пасажиромісткість – 2440 пасажирів.

Аналіз основних досліджень, публікацій. За даними авторитетного інтернет-порталу [1, 2] спостерігається стабільний розвиток круїзної галузі за останні 30 років – відслідковується стабільний тренд щодо збільшення пасажиропотоку за останні 30 років, що в середньому склало 3,073 млн. пасажирів, або 25,085 %. Це спонукало компанії розробляти і реалізовувати суднобудівну програму, спрямовану на побудову нових суден зі збільшенням водотоннажності і пасажиромісткості, що віддзеркалюється в дослідженнях Всесвітньої круїзної асоціації (Cruise Lines International Association – CLIA).

Виклад основного матеріалу. Для задоволення зростаючого попиту на круїзи судноплавна компанія, враховуючи досить високу конкретність ринку,

повинна виробити стратегію свого розвитку: а) побудова нового судна; б) придбання бувшого у використанні судна; в) модернізація власних суден компанії; г) оренда суден (фрахт) у інших компаній.

Модернізація круїзного флоту – напрямок, який є досить актуальним серед судовласників [3], оскільки з урахуванням вартості спорудження круїзних лайнерів вартість модернізації може досягати від 10 % до 30 % від її початкового значення. При цьому буде отримано судно з оновленими, наближеними до нового судна, характеристиками, разом з тим – зі збільшеною кількістю пасажирів на 15...20 % і дохідністю бізнесу.

На сучасному етапі розвитку судноплавної галузі модернізація флоту, і круїзного флоту зокрема, включає наступні етапи: реновація, переобладнання і модернізація СЕУ [3, с.169–172].

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

Особливу роль у модернізації суден відіграє переобладнання зі збільшенням розміру судна, так як в дійсності створюється нове судно, що може відрізнитися від первинного зразка головними розмірами, морехідними якостями, технічними, економічними і безпековими характеристиками і показниками.

Границі подовження пасажирських суден мають дещо інші підґрунтя і тлумачення – вони пов’язані з розмірами довжини зони загоряння. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі SOLAS-74 зі змінами станом на 24.05.2018 р. у відповідності до Глави II-2 «Конструкція протипожежний захист, виявлення і гасіння пожежі» і правила 3 встановлює, що максимальна довжина, на яку може збільшитися судно згідно вимогам конвенції SOLAS-74 становить від 40 м до 48 м.

Відомо, що прибуток компанії визначається як

$$P = R - C,$$

де P – прибуток компанії від експлуатації судна;

R – дохід компанії від експлуатації судна;

C – капітальні і експлуатаційні витрати компанії.

Разом з тим, слід відмітити, що прибуток судна складає до модернізації

$$P_1 = R_1 - C_1, \text{ і після модернізації } P_2 = R_2 - C_2.$$

Це дає можливість визначити прибуток (ефект) від проведення модернізації

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

(1)

який визначається як різниця додаткового доходу ΔR і додаткових витрат ΔC від її проведення.

Оптимальний пошук довжини додаткової секції будемо проводити ґрунтуючись на додатковій кількості кают $n_{кт}^Д$, що розміщуються вздовж діаметральної площини судна, і величина $n_{кт}^Д$ визначить оптимальну довжину додаткової секції судна

$$l_{сек} = b_k n_{кт}^Д, \quad (2)$$

де b_k – ширина додаткової каюти.

Разом з цим отримаємо можливість усереднено оцінити кількість пасажирів, що розміщуються в додатковій секції

$$\Delta N_{пас}^Д = q_{кт}^Д n_{кт}^Д k_p^Д z_{п} \quad (3)$$

де $q_{кт}^Д$ – прогнозована кількість пасажирів в одній каюті додаткової секції;

$k_p^Д$ – кількість рядів кают на одній палубі;

$z_{п}$ – кількість палуб на судні.

Додатковий дохід визначається кількістю пасажирів, яких може прийняти судно

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n \left(m_{кти}^Д \Delta N_{пас}^Д (C_{бті} + C_{срві}) \right) = \sum_{i=1}^n \left(m_{кти}^Д q_{кт}^Д n_{кт}^Д k_p^Д z_{п} (C_{бті} + C_{срві}) \right), \quad (4)$$

де $m_{кти}^Д$ – кількість кают i -го класу, які виготовлені в додатковій секції судна;

$\Delta N_{пасі}^Д$ – усереднена кількість додаткових пасажирів в каюті i -го класу; $C_{бті}$ – вартість білету каюти i -го класу; $C_{срві}$ – вартість додаткових сервісів і послуг, який отримує пасажир каюти i -го класу – ресторани, екскурсії, магазини, кінотеатри, Спа-салони та інш.

Додаткові витрати судна при його подовженні будемо визначати за залежністю

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

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

Витрати $\Delta C_{сарех}$ – вартість проведення модернізації круїзного судна будемо оцінювати за залежністю [7]

$$\Delta C_{сарех} = C_H^Д + C_{ор}^Д + C_{дг}^Д + C_E^Д + GE + S + ES, \quad (6)$$

де $C_H^Д$ – вартість виготовлення додаткової секції корпусу; $C_{ок}^Д$ – вартість проведення робіт з оздоблення додаткових кают; $C_{дг}^Д$ – вартість встановлення (заміни) додаткових дизель-генераторів; $C_E^Д$ – вартість встановлення (заміни)

додаткового обладнання; GE – загальні витрати на виробництво (модернізацію);
 S – прибуток верфі; ES – додаткові витрати.

Вартість виготовлення додаткової секції лайнера [7]

$$C_H = CA_c + CF_c, \quad (7)$$

де CA_c – вартість матеріалу; CF_c – вартість виробництва.

$$CA_c = G_c m_{st} = G n_{кт}^D b_{кт} m_{st}, \quad (8)$$

G_c – вага додаткової секції корпусу; m_{st} – вартість одиниці конструкційної сталі;
 G – питома вага секції по ширині каюти.

Вартість виробництва [7]

$$CF_c = Hh_c m_{hH}, \quad (9)$$

де Hh_c – необхідна кількість людино-годин; m_{hH} – вартість застосування людської сили

$$Hh_c = LI_1 C_1 + LI_2 n_{кт}^D k_p^D z_{п} \quad (10)$$

де LI_1 – трудомісткість (labor intensity), кількість часу, що витрачається на виробництво одиниці продукції (в даному випадку секції корпусу), людино-годин/тон; LI_2 – трудомісткість оздоблювальних робіт кают додаткової секції,

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

Вартість проведення оздоблювальних робіт в додаткових каютах

$$C_{ор}^D = CK n_{кт}^D k_p^D z_{п} \quad (12)$$

де CK – вартість оздоблення і обладнання однієї каюти.

Заміна дизель-генераторів відбувається за умови визначення потрібних електроенергетичних потужностей модернізованого судна і 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 і визначається в залежності від нової довжини судна, числа кают (загальної кількості пасажирів).

Таким чином вартість встановлення додаткових дизель-генераторів визначається як

$$C_{дг}^D = \begin{cases} 0, & \text{якщо виконується умова (13)} \end{cases} \quad (14)$$

А – вартість встановлення нових дизель-генераторів згідно каталогу фірми-виробника.

До переліку додаткового обладнання, що прогнозується встановити на судні в результаті модернізації, слід віднести інженерне устаткування і комунікації для: кондиціонування (обігрів і охолодження); водопостачання (опріснення, підготовка води питної і для миття (washing water)); водовідведення («сірої» і «чорної» води); переробку і утилізацію сміття; рухально-рульовий комплекс (РРК); сервіси на борту судна (ресторани, бари, торговельно-розважальні центри).

Для обігріву і охолодження кают на судах використовуються кондиціонери. Теплова потужність кондиціонерів, що використовується для обігріву кают додаткової секції, визначається за формулою

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

де $V_{\text{кт}}^{\text{д}}$ – об'єм каюти в додатковій секції, м³; V_{cor} – об'єм коридорів, м³; Δt_k – найбільша різниця температур в каюті і 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) кают, кВт;

$Q_1 = A_{\text{кт}} h q 10^{-3}$, де $A_{\text{кт}}$ – площа каюти, м²; h – висота стелі, м; q – коефіцієнт освітленості; Q_2 – тепловитрати, що йдуть від пасажирів, 0,1...0,3 кВт; Q_3 – тепловитрати, що йдуть від побутової техніки, 0,2...0,5 кВт.

Заміна кондиціонерів відбувається за умови

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

Отже, вартість встановлення додаткових кондиціонерів визначається як

$$C_{\text{кн}}^{\text{д}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо виконується умова (17)} \end{cases} \quad (18)$$

В – вартість встановлення нових кондиціонерів згідно каталогу фірми-виробника.

Водопостачання пасажирів додаткової секції потребує наступних операцій: опріснення, підготовка води питної і для миття (washing water). Норми водопостачання на добу питної води: згідно усереднених вимог провідних класифікаційних товариств – для 75...100 л/людина, води для миття – для 150...200 л/людина, стокові води складають біля 300 л/людина. Кількість додаткової прісної води визначається за залежністю

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

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

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

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

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

$$C_{\text{воу}}^{\text{Д}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо виконується умова (20)} \end{cases} \quad (21)$$

D – вартість встановлення нової (або модернізації старої) водоопріснювальної установки згідно каталогу фірми-виробника.

Збільшення розмірів судна здійснює вагомий вплив на його маневрові характеристики і отже – на рухально-рульовий комплекс (РРК). Так, при використанні звичайних обтічних рулів їх площа при збільшенні довжини судна буде визначатися традиційно за формулою

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

де μ – коефіцієнт, що залежить, від призначення судна;
 $L_{\perp\perp\text{М}}$ – відстань між перпендикулярами модернізованого судна, м;
 $T_{\text{М}}$ – осадка модернізованого судна, м.

Тоді вартість виготовлення нових рушіїв

$$C_{\text{ЕРП}} = \gamma_{\text{РП}} A_{\Sigma\text{М}} = \gamma_{\text{РП}} \mu (L_{\perp\perp} + n_{\text{кт}}^{\text{Д}} b_{\text{кт}}^{\text{Д}}) T_{\text{М}}, \quad (23)$$

де $\gamma_{\text{РП}}$ – питома вартість виготовлення рулів і рульових пристроїв, гр. од./м².

Оцінку тяги, що створюють підрулюючі пристрої, можна провести, користуючись рекомендаціями компанії Lips [17]

$$T_{\text{ЕМ}} = 50 A_{\text{УМ}} + 150 A_{\text{ЛМ}}, \quad (24)$$

де $A_{\text{УМ}}$ – величина площі проєкцій надводної частини на діаметральну площину, м²; $A_{\text{ЛМ}}$ – величина площі проєкцій підводної частини на діаметральну площину, м².

Цей вираз можна переписати, застосовуючи значення площі додаткової вставки на діаметральну площину

$$T_{\text{ЕМ}} = 50 \left(A_{\text{УМ}} + H_{\text{н}}^{\text{Д}} n_{\text{кт}}^{\text{Д}} b_{\text{кт}}^{\text{Д}} \right) + 150 \left(A_{\text{ЛМ}} + T_{\text{м}} n_{\text{кт}}^{\text{Д}} b_{\text{кт}}^{\text{Д}} \right), \quad (25)$$

де H_n^D – 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 носить комплексний характер, що можна відобразити виразом [17]

$$E_m = E_m(n_{кт}^D) = E_m(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n), \quad (26)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots, \varepsilon_n$ – параметри роботи РРК, що характеризують його ефективність при виконанні n маневрів [17]. Тільки після такої оцінки може бути прийнято рішення щодо проєктування підрулювальних пристроїв з новими характеристиками. Це складає окрему задачу оптимізації РРК більш нижчого рівня загальної розмірної модернізації суден.

Визначання величини загальних витрат на модернізацію GE ґрунтується на досвіді конкретного суднобудівного підприємства. Ці витрати за рекомендацією [7] орієнтовно складають 90 % від вартості праці, затраченої на суднобудівне виробництво в частині проведення модернізації

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

Прибуток верфі складає близько 5 % від вартості праці на донному виробництві $S = 0,05 CF_c$. Додаткові витрати ES складають приблизно до 10 % від загальних витрат

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

Витрати ΔC_{orex} розраховуються за рівнянням

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

де $\Delta C_{зп}$ – збільшення фінансування на підвищення заробітної плати (основної і додаткової) екіпажу, включаючи персонал обслуговування, $\Delta C_{вх}$ – збільшення витрат на харчування пасажирів і екіпажу; $\Delta C_{пд}$ – збільшення податків у зв'язку зі збільшенням пасажиромісткості і водотонажності судна; $\Delta C_{пл}$ – додаткові витрати на збільшення генерації енергії і паливо; $\Delta C_{інв}$ – збільшення витрат на малоцінний і швидкозношуваний матеріал; $\Delta C_{рем}$ – зростання витрат на ремонт і технічне обслуговування; $\Delta C_{ам}$ – збільшення амортизаційних виплат; $\Delta C_{прт}$ – підвищення величини портових зборів; $\Delta C_{коф}$ – зростання витрат на комплексне обслуговування флоту.

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

$$\Delta C_{зп} = \sum_{i=1}^p \frac{\Delta N_{пас}^D}{K_{norma}} S_{st} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{кт}^D n_{кт}^D}{K_{norma}} S_{st}, \quad (30)$$

де K_{norma} – нормативний коефіцієнт, що встановлює кількість членів екіпажу в залежності від кількості пасажирів;

S_{st} – грошова ставка заробітної плати членів екіпажу відповідного фаху;

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

Додаткові витрати на харчування визначають як

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

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

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

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

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

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

При будь-яких видах модернізації, що стосуються корпусу, класифікаційні товариства вимагають перевірку його на міцність. Ця перевірка повинна здійснювалися за критеріями: експлуатаційної (втомної) міцності, за граничним станом на згин, за граничним станом на зріз.

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

$$\frac{K_b |M_{B1}| + K_{TB1} |M_{TB1}|}{W_1} 10^3 \leq \sigma_A, \quad (33)$$

де M_{B1} – хвильовий згинальний момент на відомій висоті хвилі h , який залежить від квадрату довжини судна [12], тобто

$$M_{B1} = f(L_m^2) = f((L_c + l_{ск})^2) = f\left((L_c + n_{кт}^D b_{кт})^2\right), \text{ кН}\cdot\text{м};$$

M_{TB1} – величина згинального моменту на тихій воді, яка визначається за

відомою залежністю $M_{TB1} = K_{TB} g D L_m = K_{TB} g D (L_c + n_{кт}^D b_{кт})$, кН·м;

W_1 – осьовий момент опору небезпечного перерізу корпусу, см³;

K_b – коефіцієнт впливу високочастотних напружень;

K_{TB1} – коефіцієнт, що визначає розтягнуті повздовжні зв'язки корпусу на тихій воді;

σ_A – допустимі напруження при розрахунку на опір втомі.

Визначення оптимальної довжини секції ґрунтується на створенні відповідної математичної моделі. Математична модель задачі з оптимізації традиційно включає три елемента: цільову функцію, обмеження і 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, що визначається кількістю кают уздовж діаметральної площини.

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

$$\Delta P(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) = \left[\sum_{i=1}^n \left(m_{\text{кт}i}^{\text{д}} q_{\text{кт}}^{\text{д}} n_{\text{кт}}^{\text{д}} k_{\text{р}}^{\text{д}} z_{\text{п}} (c_{\text{бті}} + c_{\text{срві}}) \right) - \right. \\ \left. - (C_{\text{н}}^{\text{д}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + C_{\text{ор}}^{\text{д}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + C_{\text{дт}}^{\text{д}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + C_{\text{е}}^{\text{д}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + GE(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + S(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \right. \\ \left. ES(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + (\Delta C_{\text{за}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{ва}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{па}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{па}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{на}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \right. \\ \left. + \Delta C_{\text{рем}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{ам}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{прт}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}}) + \Delta C_{\text{коф}}(n_{\text{кт}}^{\text{д}})) \right] \rightarrow \quad . \quad (34)$$

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 вимог класифікаційних товариств (33)–(34).

Граничні умови, які накладаються на задачу оптимізації враховують область допустимих значень змінної $n_{\text{кт}}^{\text{д}}$, яка пов'язана з допустимою довжиною додаткової секції – $1 \leq n_{\text{кт}}^{\text{д}} \leq \frac{[L_{\text{с}}]}{b_{\text{кт}}}$, про що йшла мова 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. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://cruisemarketwatch.com/passenger-origins>.
2. Cruise Lines International Association (CLIA). Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.cruising.org.au>.
3. Гундобин А. А., Финкель Г. Н. Размерная модернизация и переоборудование судов: монография. Ленинград: Судостроение, 1977. 192 с.
4. Нормы прочности морских судов. Регистр СССР: Ленинград, 1991. С. 91.
5. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила классификации и постройки морских судов часть II. Корпус. НД № 2-020101-095. Санкт-Петербург 2017. Электронный аналог печатного издания, утвержденного 30.09.16.
6. DNV GL. Rules for classification rules for classification ships. Edition October 2015. Part 5. Ship types. Chapter 4. Passenger ships. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt5Ch4.pdf>.

7. Centre for Marine Technology and Ocean Engineering. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/EN/SD-1.3.2-Cost%20Estimate.pdf>.
8. Гофман А. Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник. Ленинград: Судостроение, 1988. 359.

Шумило Олександр Миколайович к.т.н., професор ОНМУ, проректор з НОР, доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації Одеського національного морського університету. ORCID ID: 0000-0003-0574-1954.

Кононова Ольга Миколаївна к.т.н., старший викладач кафедри машинознавства Одеського національного морського університету. ORCID ID: 0000-0003-0574-1954.

Бараболя Кристина Юріївна аспірант кафедри судноремонту Одеського національного морського університету.