

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**О. В. Бондаренко, О. І. Кротов,
В. І. Сорокін**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять
з дисципліни "Основи проектування суден"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2005

УДК 629.12.011.22

Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Основи проектування суден". – Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.

Кафедра теорії та проектування суден

У вказівках викладено методику складання і розв'язання рівнянь мас судна, вибору співвідношень головних розмірів і коефіцієнтів повноти форми корпусу, розрахунку головних розмірів, вантажомісткості й удиферентування судна, розрахунку мінімально допустимої висоти надводного борту і розрахунку основних техніко-експлуатаційних характеристик судна.

Призначені для студентів, що навчаються за освітньо-професійними програмами бакалаврів зі спеціальності 8.100201 "Кораблі та океанотехніка".

Рецензент канд. техн. наук, доц. Л.О. Матвеев

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Навантаження мас і визначення координат центра ваги судна-прототипу	5
2. Рівняння мас у функції водотоннажності	7
3. Алгебраїчне рівняння мас у функції головних розмірів..	8
4. Рівняння мас у диференціальній формі	10
5. Розрахунок співвідношень головних розмірів судна	12
6. Розрахунок коефіцієнтів повноти, головних розмірів та ординат теоретичного креслення	16
7. Еюра ємності і розрахунок вантажомісткості	19
8. Розрахунок величини мінімального надводного борту ..	23
9. Розробка корабельних кривих для проектування теоретичного креслення традиційним методом	27
10. Побудова теоретичного креслення методом рисування ..	31
11. Удиферентування судна переміщенням палива	33
12. Розрахунок побудовної вартості серійного судна, елементів рейсу і кількості суден на лінії	36
13. Розрахунок експлуатаційних і питомих зведених витрат ..	39
Список літератури	43
Додаток. Порядок виконання й оформлення звітів до занять	44

ВСТУП

Метою виконання робіт на практичних заняттях з дисципліни "Основи проектування суден" є ознайомлення студентів (майбутніх бакалаврів-кораблебудівників) з прийомами визначення головних елементів судна в початковій стадії проектування, закріплення лекційного матеріалу та одержання навичок використання ЕОМ для вирішення практичних задач проектування суден.

Для кращого засвоєння понятійної суті матеріалу автори вважають за доцільне подати також традиційні прийоми та методи початкових етапів проектування судна.

Практичні заняття з курсу лекцій побудовані таким чином, щоб у процесі виконання відповідних практичних робіт підготувати студентів до курсового проектування.

1. НАВАНТАЖЕННЯ МАС І ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ВАГИ СУДНА-ПРОТОТИПУ

На цьому практичному занятті ставиться *задача*: ознайомитися із суднами-прототипами, вивчити нормативну розбивку навантаження мас на розділи, групи, статті, а також виконати проектну розбивку навантаження на розділи та отримати навички в обчисленні центра мас (ЦВ) судна.

Заняття розраховане на 4 години, з яких протягом 2 годин практична робота виконується в аудиторії і 2 години відводяться на самостійну роботу.

Навантаженням мас називається сума мас, які складають водотоннажність судна. Розрізняють *нормативне* і *проектне* навантаження мас, яке складається з укрупнених статей. Кожен елемент нормативного навантаження мас код, масу і координати ЦВ. Для зручності навантаження записується в таблиці.

Розглядають *водотоннажність повну* D (з повним вантажем, паливом і забезпеченням, тобто з дедвейтом DW) та *водотоннажність порожнем*

$$D_{\text{пор}} = D - DW. \quad (1.1)$$

Відповідно до вимог Регістру судноплавства [8] у розрахунках остійності, непотоплюваності, ходовості і міцності виділяють також інші види навантаження: водотоннажність з 10 % запасів (палива й забезпечення) і 100 % вантажу, 50 % запасів з повним вантажем, без вантажу з 10 % запасів тощо.

Як видно з (1.1), повна водотоннажність судна визначається як сума водотоннажності порожнем і дедвейту. Відповідно до галузевого стандарту у водотоннажність порожнем включаються такі розділи: корпус, устаткування суднове, системи, енергетична установка, електроенергосистеми, озброєння, твердий баласт, запас водотоннажності, постійні рідкі вантажі, забезпечення суднове і майно.

Позначаючи кожний укрупнений розділ проектного навантаження літерою P з відповідним індексом, для водотоннажності порожнем $D_{\text{пор}}$ можна записати [1–3]

$$D_{\text{пор}} = P_{\text{к}} + P_{\text{о}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\text{з.в}} + P_{\text{б}},$$

де $P_{\text{к}}$ – маса корпусу; $P_{\text{о}}$ – маса обладнання; $P_{\text{ЕУ}}$ – маса енергетич-

ної установки (ЕУ); $P_{з.в}$ – маса запасу водотоннажності; P_6 – маса твердого баласту.

У дедвейт включаються змінні вантажі: забезпечення (провізія, екіпаж з багажем, вода питна і технічна); вантаж, що перевозиться; паливо; змінні рідкі вантажі і рідкий баласт, тобто з урахуванням укрупнених складових

$$DW = P_з + P_п + P_{р.б} + P_в,$$

де $P_з$ – маса забезпечення; $P_п$ – маса палива, води, мастила; $P_{р.б}$ – маса рідкого баласту; $P_в$ – маса вантажу (задана вантажопідйомність).

Завдання. Для судна-прототипу, яке підбирається за завданням на практичні роботи, записати в табл. 1.1 маси укрупнених розділів з координатами їх ЦВ.

Таблиця 1.1

Найменування розділу навантаження	Маса P , т	Плечі, м		Моменти, т·м	
		X	Z	PX	PZ
Корпус	$P_к$				
Обладнання	$P_о$				
Енергетична установка	$P_{ЕУ}$				
Паливо	$P_п$				
Забезпечення	$P_з$				
Вантаж	$P_в$				
Запас водотоннажності	$P_{з.в}$				
Баласт рідкий	$P_{р.б}$				
Сума	Σ_1			Σ_2	Σ_3

Сума мас Σ_1 елементів навантаження в табл. 1.1 визначає водотоннажність, а суми статичних моментів Σ_2 і Σ_3 дозволяють визначати координати ЦМ судна:

$$D = \Sigma_1; X_g = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}; Z_g = \frac{\Sigma_3}{\Sigma_1}. \quad (1.2)$$

Використовуючи формули (1.2), далі слід розрахувати координати X_g і Z_g для судна-прототипу з повним вантажем і повними запасами забезпечення й палива. Значення цих координат будуть використовуватися в подальших розрахунках.

2. РІВНЯННЯ МАС У ФУНКЦІЇ ВОДОТОННАЖНОСТІ

На цьому практичному занятті ставиться *задача*: визначити водотоннажність і значення розділів навантаження мас, використовуючи дані судна-прототипу. *Метою роботи* є отримання студентами навичок у складанні і розв'язанні рівняння мас.

Практичне заняття складається з двох завдань і розраховане на 4 години, з яких протягом 2 годин практична робота виконується в аудиторії і 2 години відводяться на самостійну роботу. *Завдання* на практичну роботу: 1) розрахувати вимірники мас і скласти рівняння мас проекту судна; 2) розв'язавши рівняння мас, отримати значення водотоннажності, визначити маси розділів і перевірити правильність розв'язку рівняння.

Рівняння мас у функції водотоннажності дозволяє визначити водотоннажність проекту судна на початковій стадії проектування.

Кожен член рівняння мас являє собою вираз для визначення маси окремої складової навантаження. У цьому виразі використовуються вимірники і модулі. *Вимірником* маси називається коефіцієнт пропорційності маси розділу навантаження обраному модулю. *Модулями* можуть бути: водотоннажність D або $D^{2/3}$, потужність головного двигуна N_e , кубічний модуль LBH або $(LBH)^{2/3}$, добуток потужності

ЕУ на час переходу з одного порту до іншого, тобто $N_e \frac{Z}{v_e}$, де Z – дальність плавання; N_e – експлуатаційна потужність ЕУ; v_e – експлуатаційна швидкість.

У цій практичній роботі, використовуючи дані судна-прототипу, необхідно розрахувати вимірники мас розділів навантаження (дані прототипу позначені рискою): корпусу $a_k = \bar{P}_k / \bar{D}$; обладнання $q_o = \bar{P}_o / \bar{D}^{2/3}$; енергетичної установки $q_{EU} = \bar{P}_{EU} / \bar{N}_{вп}$ ($\bar{N}_{вп}$ – потужність ЕУ на випробуваннях); запасу водотоннажності $a_{з.в} = \bar{P}_{з.в} / \bar{D}$ (приймається в межах 0,01...0,02); палива $q_{п} = \bar{P}_{п} \bar{v}_e / \bar{N}_e \bar{Z}$; забезпечення $a_3 = \bar{P}_3 / \bar{D}$.

Для складання і розв'язання рівняння мас необхідно розрахувати адміралтейські коефіцієнти $C_{вп}$ і C_e для швидкості ходу на випробуваннях та експлуатаційної швидкості відповідно:

$$C_{вп} = \frac{\bar{D}^{2/3} \bar{v}_{вп}^3}{\bar{N}_{вп}}; \quad C_e = \frac{\bar{D}^{2/3} \bar{v}_e^3}{\bar{N}_e},$$

де $\bar{D}$ – водотоннажність прототипу; $\bar{N}_{\text{вп}}, \bar{N}_{\text{е}}$ – потужність ЕУ прототипу на випробуваннях та експлуатаційна відповідно.

Як відомо з попередньої роботи, водотоннажність проекту судна дорівнює сумі мас розділів навантаження:

$$D = P_{\text{к}} + P_{\text{о}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\text{п}} + P_{\text{з}} + P_{\text{з.в}} + P_{\text{р.б}} + P_{\text{в}}.$$

Якщо виразити кожний розділ навантаження через вимірники мас, потужність ЕУ, дальність плавання, адміралтейські коефіцієнти і початкові дані завдання $v_{\text{вп}}, v_{\text{е}}, Z, P_{\text{в}}$ і $P_{\text{р.б}}$, алгебраїчне рівняння мас будемо мати у вигляді

$$D(1 - a_{\text{к}} - a_{\text{з.в}} - a_{\text{з}}) = D^{2/3} \left(q_{\text{о}} + q_{\text{ЕУ}} \frac{v_{\text{вп}}^3}{C_{\text{вп}}} + q_{\text{п}} \frac{v_{\text{е}}^2}{C_{\text{е}}} Z \right) + P_{\text{в}} + P_{\text{р.б}}. \quad (2.1)$$

Після підстановки відомих величин у (2.1) і деяких перетворень будемо мати

$$nD - mD^{2/3} - P_{\text{в}} - P_{\text{р.б}} = 0. \quad (2.2)$$

Рівняння мас (2.2) можна записати як

$$nD - mD^{2/3} - P_{\text{в}} - P_{\text{р.б}} = F(D)$$

і розв'язати його методом підбору такого значення D , щоб значення $F(D)$ було близьким до нуля, або іншими відомими методами [1–3, 6, 10].

Масу рідкого баласту $P_{\text{р.б}}$, якщо він приймається при повній водотоннажності (100 % вантажу і 100 % запасів), у рівняння мас слід включати як задану величину, взявши її за прототипом.

Визначивши водотоннажність D і підставивши її в рівняння (2.1), далі необхідно визначити маси розділів $P_{\text{к}}, P_{\text{з.в}}, P_{\text{з}}, P_{\text{ЕУ}}, P_{\text{п}}, P_{\text{о}}$.

Якщо $\sum P_i + P_{\text{в}} + P_{\text{р.б}} = D$, то рівняння мас розв'язане вірно.

3. АЛГЕБРАЇЧНЕ РІВНЯННЯ МАС У ФУНКЦІЇ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ

На цьому практичному занятті ставиться *задача*: визначити розділи навантаження мас з використанням співвідношень головних розмірів і коефіцієнта загальної повноти та розв'язати рівняння мас у функції головних розмірів

проекту судна. *Мета роботи* – одержати навички у складанні і розв'язанні рівняння мас у функції головних розмірів.

Практичне заняття розраховане на 4 години і складається з двох практичних робіт. *Завдання* на практичні роботи: 1) розрахувати вимірники мас та інші складові рівняння мас; 2) скласти і розв'язати рівняння мас, визначити окремі розділи навантаження мас.

Як відомо, рівняння мас у функції головних розмірів дозволяє точніше визначити водотоннажність судна, розподілити масове навантаження по розділах і за наявності співвідношень головних розмірів та коефіцієнта загальної повноти визначити головні розміри проекту судна. Це рівняння є рівнянням другого наближення [1–3, 10].

Виконуючи *першу практичну роботу*, слід використати дані судна-прототипу і визначити вимірники мас за розділами навантаження: корпусу $q_k = \bar{P}_k / (\bar{\delta}_n \bar{L} \bar{B} \bar{H})$; обладнання $q_o = \bar{P}_o / (\bar{L} \bar{B} \bar{H})^{2/3}$; ЕУ $q_{\text{ЕУ}} = \bar{P}_{\text{ЕУ}} / \bar{N}_{\text{ВП}}$; запасу водотоннажності $a_{3.В} = \bar{P}_{3.В} / \bar{D}$ (або $a_{3.В} = 0,01...0,02$); забезпечення $q_3 = \bar{P}_3 / \bar{D}^{2/3}$; палива $q_{\text{п}} = f(N_e, \text{тип СЕУ})$.

Питомі витрати палива $q_{\text{п}}$ визначаються за паспортними даними головного двигуна, який обирається в залежності від потужності, що обчислюється за адміралтейською формулою у практичній роботі № 2.

У *другій практичній роботі* слід скласти і розв'язати рівняння мас другого наближення.

Якщо виразити кожний розділ навантаження через головні розміри, вимірники мас, потужність ЕУ, дальність плавання, швидкість ходу тощо після перетворень рівняння мас можна отримати у вигляді [1–3, 10]

$$D \left(1 - a_{3.В} - 0,966 q_k \frac{\delta_{\text{п}} H}{\delta T} \right) = \quad (3.1)$$

$$= D^{2/3} \left[q_o \left(\frac{H}{T} \frac{1}{\gamma \delta} \right)^{2/3} + q_{\text{ЕУ}} \frac{v_{\text{ВП}}}{C_{\text{ВП}}} + k_{\text{м.з}} k_{\text{д}} q_{\text{п}} \frac{v_e^2}{C_e} Z + q_3 \right] + P_{\text{в}}.$$

Якщо в разі повного завантаження судно буде мати рідкий баласт, то його теж записують у це рівняння. У формулі (3.1) позначено

також: $k_{м.з} = 1,2$ – коефіцієнт морського запасу; $k_d = 1,15$ (для універсальних суховантажних суден – УСС) і $1,2$ (для танкерів) – коефіцієнт, що враховує витрати палива на роботу допоміжних двигунів. Адміралтейські коефіцієнти $C_{вп}$ і C_e слід визначити так, як у практичній роботі № 2.

Після підстановки всіх відомих величин у (3.1) і перетворень маємо

$$nD - mD^{2/3} - P_b = 0. \quad (3.2)$$

Рівняння мас (3.2) розв'язується так само, як у попередній роботі.

Визначивши водотоннажність D і підставивши в рівняння (3.1), слід розрахувати значення мас розділів P_k , $P_{з.в}$, P_o , $P_{ЕУ}$, $P_{п}$ і P_z . Якщо $\sum P_i + P_b = D$, то рівняння мас розв'язане вірно.

Водотоннажність судна порожнем розраховується за формулою

$$D_{пор} = P_k + P_o + P_{ЕУ} + P_{з.в}.$$

Значення D і $D_{пор}$ використовуються в подальшому при визначенні головних розмірів та удиферентуванні проекту судна.

4. РІВНЯННЯ МАС У ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІЙ ФОРМІ

На цьому практичному занятті ставиться *задача*: за допомогою рівняння мас у диференціальній формі змінити характеристики судна-прототипу таким чином, щоб вони відповідали всім вимогам завдання на проектування судна. *Мета роботи* – одержати навички в складанні і розв'язанні рівнянь мас у диференціальній формі.

Практичне заняття розраховане на 2 години. *Завдання* на практичну роботу – скласти і розв'язати диференціальне рівняння мас з використанням даних судна-прототипу.

Диференціальне рівняння мас за наявності близького судна-прототипу дозволяє знайти водотоннажність проекту судна, яке відрізняється від судна-прототипу вантажопідйомністю, швидкістю ходу, дальністю плавання, вимірниками мас та іншими характеристиками.

Загальний вигляд диференціального рівняння мас у формі Нормана [1, 2, 6, 10] такий:

$$dD = \eta_H \{dP + [dF]_0\}, \quad (4.1)$$

де dD – повний приріст водотоннажності.

Водотоннажність проекту визначається через водотоннажність судна-прототипу $\bar{D}$ і dD як

$$D = \bar{D} + dD. \quad (4.2)$$

Таким чином, щоб визначити водотоннажність проекту судна, треба розрахувати коефіцієнт Нормана η_H , приріст незалежних умовно постійних величин dP і приріст усіх змінних мас $[dF]_0$, обумовлених зміною швидкості, дальності плавання, вимірників мас, пропульсивних та інших характеристик судна-прототипу у відповідності до завдання на проектування судна.

Виконуючи цю практичну роботу, слід спочатку на основі даних по навантаженню мас судна-прототипу розрахувати коефіцієнт Нормана

$$\eta_H = \frac{1}{1 - \left(\frac{\bar{P}_K + \bar{P}_{3.B}}{\bar{D}} + \frac{2}{3} \frac{\bar{P}_{EY} + \bar{P}_\Pi + \bar{P}_O + \bar{P}_3}{\bar{D}} \right)}.$$

Оскільки $[dF]_0 = \sum [dP_i]_0$, далі необхідно обчислити приріст $[dP_i]_0$ кожного розділу навантаження мас. У цій роботі прирости слід визначати методом скінченних різниць за формулами [1, 2, 6, 10]: маси корпусу – $[dP_K]_0 = (a_K - \bar{a}_K) \bar{D}$; маси запасу водотоннажності –

$[dP_{3.B}]_0 = (a_{3.B} - \bar{a}_{3.B}) \bar{D}$; маси обладнання – $[dP_O]_0 = (q_O - \bar{q}_O) \bar{D}^{2/3}$; ма-

си енергетичної установки – $[dP_{EY}]_0 = \left(q_{EY} \frac{v_{\text{ВП}}^3}{C_{\text{ВП}}} - \bar{q}_{EY} \frac{\bar{v}_{\text{ВП}}^3}{\bar{C}_{\text{ВП}}} \right) \bar{D}^{2/3}$;

маси палива – $[dP_\Pi]_0 = \left(k_{\text{М.З}} k_D q_\Pi \frac{v_e^2}{C_e} Z - \bar{k}_{\text{М.З}} \bar{k}_D \bar{q}_\Pi \frac{\bar{v}_e^2}{\bar{C}_e} \bar{Z} \right) \bar{D}^{2/3}$; маси за-

безпечення – $[dP_3]_0 = (q_3 - \bar{q}_3) \bar{D}^{2/3}$.

Приріст умовно постійних мас dP для вантажного судна дорівнює приросту вантажопідйомності dP_B :

$$dP = dP_B = P_B - \overline{P}_B.$$

Таким чином, визначивши всі складові рівняння (4.1), водотоннажність проекту можна обчислити за виразом (4.2).

Складові навантаження мас проекту судна можуть бути обчислені за формулами типу

$$P_i = \overline{P}_i + [dP_i]_0 + k \frac{\overline{P}_i}{D} dD,$$

де $k = 2/3$, якщо P_i визначається через $D^{2/3}$, і $k = 1$ – в інших випадках.

Повну водотоннажність проекту можна також отримати за формулою

$$D_1 = \sum P_i + P_B.$$

Якщо розрахунки виконані вірно і виконуються умови різниці прототипу від проекту за швидкістю ходу не більше 4...5 % та за всіма іншими характеристиками не більше 20 %, то D_1 повинно відрізнятись від D як

$$D_1 = D \pm (0,005...0,01)D.$$

5. РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОШЕНЬ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА

Від співвідношень головних розмірів залежать експлуатаційні, навігаційні і виробничо-економічні якості суден. Знаючи співвідношення головних розмірів, водотоннажність і коефіцієнт загальної повноти, можна однозначно визначити головні розміри судна.

На цьому практичному занятті реалізується *задача* визначення співвідношень головних розмірів судна H/T , B/T і L/B , які забезпечують вантажомісткість, непотоплюваність, остійність і ходовість проекту судна. *Метою роботи* є отримання студентами навичок у розв'язанні рівнянь місткості, непотоплюваності та остійності.

Практичне заняття розраховане на 4 години і складається з двох практич-

них робіт. *Завдання* на практичні роботи: 1) розрахувати значення H/T , яке забезпечує вантажомісткість і потрібний запас плавучості проекту, використовуючи рівняння місткості і непотоплюваності; 2) використовуючи розраховане значення H/T і $\zeta_g = \bar{Z}_g / \bar{H}$, визначити співвідношення B/T , яке забезпечить потрібну остійність (рівняння остійності) і плавність бортової хита виці судна заданого типу.

Рівняння місткості. У разі розташування машинного відділення в середній частині судна проблем з його удиферентуванням не виникає. У цій роботі буде розв'язуватися рівняння місткості для кормового варіанта розташування машинного відділення і визначатися відношення H/T з урахуванням удиферентування судна.

Для цього в рівняння місткості разом з питомою навантажувальною кубатурою вантажу μ_v (питомою вагою γ_v), коефіцієнтом утилізації $\eta_v = \bar{P}_v / \bar{D}$, коефіцієнтом заповнення трюмів k_i або v для танків (приймаються за статистичними даними) вводиться коефіцієнт використання довжини судна під його вантажну частину $\eta_d = \bar{L}_{тр} / \bar{L}_{\perp\perp}$.

Обчислення виконуються за формулами [2, 5, 10]:

$$\text{для суховантажних суден} - \left(\frac{H}{T} \right)_{мс} \geq \mu_v \frac{k_{в.ч} \gamma \delta \eta_v}{k_i \delta_{п} \eta_d} + \frac{H_{п.д.}}{T};$$

$$\text{для танкерів} - \left(\frac{H}{T} \right)_{мс} \geq \frac{k_{в.ч}}{1-v} \frac{\gamma}{\eta_d} \left[\frac{\eta_v}{\gamma_v} (1+C) + \frac{\eta_{р.б}}{\gamma_{р.б}} \right] + \frac{H_{п.д.}}{T},$$

де $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ – питома вага морської води; $\delta_{п} = \bar{\delta} \frac{T}{H} + 1,05 \bar{\alpha} \left(1 - \frac{T}{H} \right) -$

коефіцієнт повноти об'єму судна до верхньої палуби (ВП); $k_{в.ч} = 1,01$ – коефіцієнт виступаючих частин корпусу; $v = 0,05$ – коефіцієнт, що враховує недолив і набір танка; γ_v – питома вага вантажу (задається); $C = 0,02$ – коефіцієнт, який враховує наявність відстійних танків; $\eta_{р.б} = \bar{P}_{р.б} / \bar{D}$ – коефіцієнт утилізації водотоннажності по баласту; $\gamma_{р.б} = 1,025 \text{ т/м}^3$; $H_{п.д.}/T = 0,16$ – відносна висота подвійного дна.

Рівняння непотоплюваності. Співвідношення H/T впливає на величину запасу плавучості, який поряд з поділом судна на водо-

непроникні відсіки забезпечує його непотоплюваність. У зв'язку з цим співвідношення H/T слід розрахувати і за умови забезпечення необхідного запасу плавучості, задаючи відносну довжину затопленого відсіку $l_{зт}$, коефіцієнт проникності $\mu_V = 0,6$ і параметри середнього поперечного перерізу відсіку β і k_ω .

Рівняння непотоплюваності має такий вигляд [2, 5, 10]:

$$\left(\frac{H}{T}\right)_{\text{нпт}} \geq \frac{\beta k_\omega \mu_V}{\frac{\alpha k_{\alpha L}}{l_{зт}} - 1} + 1.$$

У цьому рівнянні коефіцієнт розширення корпусу від вантажної ватерлінії (ВВЛ) до верхньої палуби розраховується за наближеною формулою

$$k_{\alpha L} = 0,5 \left[1 + (1,07 \mu_B \eta_B + 0,16)^{\frac{0,98}{\sqrt{\delta}} - 1} \right] \geq 1.$$

З двох отриманих значень H/T обирається більше і використовується для подальших розрахунків.

Рівняння остійності. Початкова остійність забезпечується правильним вибором співвідношення B/T і відносною метацентричною висотою h/B за умов забезпечення достатньої остійності і необхідної плавності бортової хитавиці [1, 2, 5, 10] за формулою

$$\frac{B}{T} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_p \alpha^2}{3\delta} \left(\zeta_g \frac{H}{T} - 0,5 \left(\frac{\alpha}{\delta}\right)^{0,5} \right)}}{\frac{k_p}{6} \frac{\alpha^2}{\delta}}.$$

У цій формулі значення відносної метацентричної висоти h/B вибирається шляхом зіставлення її значень зі значеннями, отриманими за статистичними даними $(h/B)_{\text{стат}}$ і за даними судна-прототипу

$$\frac{\bar{h}}{\bar{B}} = \frac{\bar{r} + \bar{Z}_c + \bar{Z}_g}{\bar{B}} \quad \text{з тим, щоб це значення не перевищувало граничне}$$

значення по заданому періоду хитавиці $\tau \left(\frac{h}{B} \right)_{\max} \leq \frac{C^2 B}{\tau^2}$; значення ве-

личини C може бути визначене за формулою $C = \frac{2}{3} \sqrt{1,05 \frac{\alpha^2}{\delta} + 4 \zeta_g^2 \left(\frac{H}{B} \right)^2}$;

значення k_p може бути вибране в залежності від форми носової гілки вантажної ватерлінії:

$$k_p = \begin{cases} 0,74 + 0,8\alpha - 0,55\alpha^2 & \text{для опуклої ватерлінії;} \\ 0,6 + 1,2\alpha - 0,8\alpha^2 & \text{для S-подібної ватерлінії.} \end{cases}$$

Величини α , δ , ζ_g , H/B можна взяти за судном-прототипом.

За умови необхідності зменшення опору води рухові судна на початкових стадіях проектування необхідно правильно вибрати відносну довжину судна l та інші параметри форми корпусу. Знаючи величину l , з рівняння плавучості можна визначити відношення L/B , яке повинно і забезпечити добру ходовість судна, тобто зменшення залишкового опору:

$$\frac{L}{B} = \sqrt[3]{l^3 \delta \frac{T}{B} k_{B, \text{ч}} \gamma}.$$

Виконуючи *першу практичну роботу*, слід з використанням даних судна-прототипу і завдання розрахувати для заданого типу судна співвідношення $(H/T)_{\text{мс}}$, яке забезпечує вантажомісткість. Значення питомої навантажувальної кубатури вантажу μ_v і питомої ваги вантажу γ_v визначаються завданням на практичні заняття. Розв'язуючи рівняння непотоплюваності, відносну довжину затопленого відсіку слід умовно прийняти для суховантажних суден $l_{\text{зт}} = 0,16$, а для танкерів – довжину танка в залежності від наявності повздовжніх перебірок.

Розв'язуючи у *другій практичній роботі* рівняння остійності відносно B/T , слід вибрати значення h/B таким чином, щоб період хитавиці для суховантажних суден $\tau \geq 13$ хв, а для танкерів $\tau \geq 15$ хв.

Для визначення відношення L/B необхідно визначити відносну довжину l за судном-прототипом: $l = \bar{L}_{\perp\perp} / \sqrt[3]{\bar{D}/\gamma}$ – або за рекомендованими формулами [2, 3, 5, 10], наприклад $l = 7,2 \left(\frac{v}{v+2} \right)^2$, де v – швидкість, вуз.

Розраховане значення L/B треба зіставити з $\bar{L}/B$, пояснити причину розбіжності їх значень та обрати таке відношення L/B , щоб у судна з більшою швидкістю воно було більшим.

6. РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ ПОВНОТИ, ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ТА ОРДИНАТ ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ

Цим практичним заняттям завершується цикл розрахунків водотоннажності і головних розмірів проекту судна. На ньому розв'язується *задача* правильного вибору коефіцієнтів повноти, визначення головних розмірів та ординат теоретичного креслення (ТК). *Метою роботи* є отримання студентами навичок у визначенні коефіцієнтів форми корпусу, головних розмірів проектованого судна та у використанні ЕОМ для виконання розрахунків ординат ТК.

Заняття розраховане на 2 години і складається з однієї практичної роботи. *Завдання* на практичну роботу – розрахувати значення коефіцієнтів: загальної повноти δ , повноти площі ватерлінії α , повноти площі мідель-шпангоута β , а також головних розмірів проекту судна.

Для визначення коефіцієнтів повноти корпусу судна існує багато статичних формул, розрахунки за якими можуть привести до множини значень коефіцієнтів повноти при однаковому числі Фруда (Fr), з якої досить складно вибрати необхідне значення.

Визначаючи коефіцієнт загальної повноти δ у функції числа Fr , можна використати наступні формули, рекомендовані в технічній літературі:

для транспортних суден [2, 3, 5, 6, 10]

$$\delta = 1,23 - 2,44Fr, \quad \text{якщо } Fr = 0,16 \dots 0,26;$$

$$\delta = 1,23 - 2,44Fr + 0,14(10Fr - 2,3)^3, \quad \text{якщо } Fr = 0,16 \dots 0,30;$$

для всіх швидкісних груп

$$\delta = 1 - \frac{0,47}{1 + 100 \exp(-24Fr)}.$$

Коефіцієнт повздовжньої повноти φ можна розрахувати за формулою

$$\varphi = 1 - \frac{0,41}{1 + 100 \exp(-25Fr)}.$$

Інші коефіцієнти повноти звичайно визначаються у функції δ або ϕ . Так, коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута β визначається як

$$\beta = \frac{\delta}{\phi}.$$

Коефіцієнт повноти площі вантажної ватерлінії α можна розрахувати за формулою

$$\alpha = a\phi^{\frac{2}{3}},$$

$$\text{де } a = \begin{cases} 1,06 & \text{– шпангоути V-подібні;} \\ 1,04 & \text{– шпангоути UV-подібні;} \\ 1,01 & \text{– шпангоути U-подібні.} \end{cases}$$

Форма шпангоутів призначається в залежності від числа Fr :
 для тихохідних суден ($Fr < 0,25$) – U-подібні;
 для середньошвидкісних ($0,25 \leq Fr \leq 0,3$) – UV-подібні;
 для швидкісних ($Fr > 0,3$) – V-подібні.

Визначивши за цими або іншими формулами коефіцієнти повноти δ , α , β для проекту судна, необхідно зіставити їх з коефіцієнтами судна-прототипу у функції чисел Fr і $\overline{Fr}$ (табл. 6.1).

Приймаючи значення коефіцієнтів δ , α , β в табл. 6.1, слід мати на увазі, що при більшому значенні Fr проекту коефіцієнти повноти для нього повинні бути меншими, ніж у судна-прототипу, і навпаки – якщо число Fr має менше значення, то коефіцієнти приймаються більшими.

Остаточню обирати коефіцієнти повноти слід після перевірки їх взаємозв'язку за коефіцієнтом зв'язку коефіцієнтів [2, 6, 10]:

$$KЗК = \frac{\alpha\beta}{\delta} = 1,16 \pm 0,16.$$

Якщо розрахований коефіцієнт КЗК виходить за визначені межі, то необхідно змінити значення δ , α або β , враховуючи від-

носну швидкість ходу та опір води з тим, щоб змінювання коефіцієнтів привело до зменшення цього опору.

Розрахунок ординат ТК виконується на ЕОМ за програмою LS-19 інтерполяційним методом [1]. Для цього в ЕОМ уведено масиви ординат шпангоутів суден-прототипів та їх коефіцієнти повноти. Під час розрахунку ординат на кожному i -му шпангоуті та j -й ватерлінії інтерполяція виконується між відповідними масивами ординат двох суден-прототипів, у яких δ_1 менше, а δ_2 більше від заданого значення коефіцієнта проекту δ , за формулою

$$y_{ij} = y_{2ij} - k_y (y_{2ij} - y_{1ij}).$$

При цьому коефіцієнт інтерполяції k_y розраховується у функції коефіцієнтів δ , δ_1 , δ_2 наступним чином:

$$k_y = \frac{\delta_2 - \delta}{\delta_2 - \delta_1}.$$

Виконуючи практичну роботу, слід спочатку визначити числа Fr для експлуатаційної швидкості проекту і судна-прототипу:

$$Fr = \frac{0,514 v_e}{\sqrt{gL}}; \quad \overline{Fr} = \frac{0,514 \overline{v}_e}{\sqrt{g \overline{L}}}.$$

Для розрахунку Fr проекту довжину судна слід обчислити за формулою

$$L = l \sqrt[3]{D/\gamma}.$$

Відносну довжину l взяти з практичного заняття № 5, а водотоннажність D – із заняття № 3.

Потім розраховуються коефіцієнти δ , α , β і зіставляються з $\overline{\delta}$, $\overline{\alpha}$, $\overline{\beta}$ (див. табл. 6.1). Вибирають значення коефіцієнтів, як зазначено вище, орієнтуючись на числа Fr .

Далі обчислюється коефіцієнт КЗК і перевіряється його значення. Упевнившись, що $K_{ЗК} = 1,16 \pm 0,16$, коефіцієнти повноти слід вважати остаточно обраними.

Використовуючи рівняння плавучості $D = \gamma \delta k_{в.ч} L B T$, обчислені раніше співвідношення L/B , B/T і H/T , а також значення коефі-

цієнта δ , слід розрахувати L , B , T і H , округлити їх до першого знака після десяткової коми так, щоб

$$D = \sum P_i = \gamma \delta k_{в,ч} L B T .$$

Обрані таким чином коефіцієнти повноти є остаточними, а головні розміри (найімовірніше висота борту) ще можуть коригуватися за результатами розрахунку місткості на ЕОМ.

7. ЕПЮРА ЄМНОСТІ І РОЗРАХУНОК ВАНТАЖОМІСТКОСТІ

Однією з основних особливостей процесу проектування судна є те, що визначення його характеристик виконується методом послідовних наближень, коли в кожному наступному наближенні уточнюються прийняті раніше рішення. На стадії визначення головних розмірів потрібна вантажомісткість забезпечувалася відношенням H/T . Після виконання ТК і розміщення поперечних перебірок необхідно перевірити достатність об'єму приміщень для вантажу, палива і баласту. Це можна виконати, використовуючи, наприклад, традиційний підхід – за допомогою епюри ємності – креслення, яке дає можливість отримати об'єми всіх основних приміщень, розташованих уздовж судна.

На цьому практичному занятті ставиться *задача* побудувати епюру ємності і розрахувати за нею об'єм вантажних, баластних і паливних відсіків з їх координатами ЦВ. *Мета роботи* – одержати навички в практичному використанні розрахунків ЕОМ і в обчисленні об'ємів та їх ЦВ за епюрою ємності і ТК.

Практичне заняття розраховано на 6 аудиторних годин і складається з трьох практичних робіт: 1) уточнення висоти борту H на ЕОМ, щоб забезпечити потрібний об'єм для розміщення вантажу; 2) креслення повздовжнього перерізу, розбивка на ньому практичних шпангоутів, розстановка поперечних перебірок, 2-го дна, палуб і платформ та розробка епюри ємності; 3) розрахунок об'ємів, координат ЦВ відсіків і розробка епюри ємності.

Виконуючи *першу практичну роботу*, слід проаналізувати отриманий розрахунком на ЕОМ лістинг щодо наявності необхідного підпалубного об'єму. При цьому необхідно мати на увазі, що для наливних суден від теоретичного об'єму носової частини трюму слід відняти об'єм танків ізольованого баласту (ТІБ) та об'єм,

призначений під вантаж, помножити на $k_i = 0,95$ і тільки після цього звернутися до аналізу достатності об'єму під вантаж. Кінцевий результат розрахунку на ЕОМ додається до звіту практичного заняття.

Уточнена за вказаним вище розрахунком місткості висота борту в подальшому не змінюється і поряд з іншими головними розмірами використовується для наступних розрахунків.

У другій практичній роботі розміщують поперечні і повздовжні перебірки, 2-ге дно, палуби і платформи. Потім, з'єднавши плавними лініями точки площ до 2-го дна, палуб і платформ на епюрі ємності, отримують окремі приміщення. Площа кожного приміщення на епюрі ємності – це його об'єм, а сума статичних моментів площ відносно будь-якої поперечної площини (краще мідель-шпангоута), поділена на загальну площу приміщення, являє собою абсцису його ЦВ. Апліката ЦВ в об'ємі приміщення визначається як апліката центра площі поперечного перерізу, вибраного посередині довжини приміщення.

Дані розрахунків об'ємів та їх координат ЦВ групуються за призначенням приміщень і записуються в таблицю ємності відсіків (табл. 7.1).

Фактичний об'єм під вантаж на судні $W_{ф.в} = \sum_{к.в}$.

Фактичний об'єм днища під паливо і баласт $W_{ф.д} = \sum_{к.д}$.

Таблиця 7.1

Найменування і розташування відсіку	Теоретичний об'єм, м ³	Коефіцієнт використання об'єму k_v	Корисний об'єм, м ³	Координати ЦВ, м	
				X	Z
Трюм № 1, 12–32 шп.					
Трюм № 2, 32–50 шп.					
...					
Об'єм вантажних приміщень	$\sum_{т.в}$		$\sum_{к.в}$		
Днищева цистерна № 1 12–32 шп.					
Днищева цистерна № 2 32–50 шп.					
...					

Продовж. табл. 7.1

Найменування і розташування відсіку	Теоретичний об'єм, м ³	Коефіцієнт використання об'єму k_v	Корисний об'єм, м ³	Координати ЦВ, м	
				X	Z
Об'єм днищевих цистерн	$\sum_{т.д}$		$\sum_{к.д}$		
Форпик 6–12 шп.					
Ахтерпик 150–180 шп.					

Ураховуючи, що потрібний об'єм під вантаж, визначений відношенням H/T , є наближеним, перед побудовою епюри ємності слід уточнити висоту борту H шляхом обчислення об'ємів приміщень на ЕОМ за допомогою програми LS-19 (задача № 9). При цьому слід створити запас об'єму в розмірі 2...5 %. Якщо запасу більше 5 % або об'єму не вистачає, то треба змінити висоту борту H з урахуванням мінімального надводного борту, тобто $H \geq T + F_{\min}$, і розрахунок на ЕОМ повторити.

Для підготовки даних до виконання другої практичної роботи треба розрахувати на ЕОМ ординати ТК і площі шпангоутів.

Використовуючи результати розрахунку на ЕОМ, необхідно скласти таблицю площ теоретичних шпангоутів до 2-го дна і нижньої палуби, якщо вони є.

Графічну частину завдання необхідно виконати на форматі А1. Масштаби типу "в 1 см – ... м, в 1 см – ... м²" обирати так, щоб використовувати всю поверхню аркуша.

До викреслення повздовжнього перерізу необхідно визначити архітектурно-конструктивний тип проекту судна, тобто наявність або відсутність другого дна, кількість палуб, розташування машинного відділення (МВ), положення і довжину надбудов, наявність сідловатості і вигину бімсів верхньої палуби, а також форму кінцевих частин. Кількість поперечних водонепроникних перебірок на суховантажних суднах визначається за табл. 7.2, а на танкерах – у залежності від їх довжини і наявності повздовжніх перебірок. Поперечні перебірки повинні встановлюватися в площині практичних шпангоутів. Для цього на основній лінії повздовжнього перерізу виконується розбивка практичних шпаций: у форпіку і в ахтерпіку шпация $a = 0,6$ м, в корму від форпіка до $0,2L$ від

носового перпендикуляра $a = 0,7$ м, на решті довжини судна $a = 0,002L + 0,48$, але не більше 1 м.

Таблиця 7.2

Довжина судна, м		50...65	65...85	85...105	105...125	125...145	145...165	165...185
Положення МВ	середнє	4	4	5	6	7	8	9
	кормове	3	4	5	6	6	7	8

Для суховантажних суден з $L > 185$ м кількість поперечних перебірок узгоджується з викладачем.

Повздовжній переріз судна викреслюється у верхній частині креслення без кормової надбудови і так, щоб ВП або палуба бака знаходилася на відстані від верхньої кромки аркуша на 30...40 мм нижче.

Епюра ємності викреслюється в нижній частині аркуша. Спочатку проводиться пряма лінія на 20...25 мм вище нижньої кромки аркуша; на ній відкладається в масштабі відрізок, який дорівнює $L_{\perp}$ і поділяється на 20 рівних частин. З точок поділу проводяться вертикальні лінії, на яких в обраному масштабі відкладаються площі теоретичних шпангоутів до 2-го дна, платформ, палуб. Одержані точки з'єднуються плавною лінією, утворюючи з перенесеними з повздовжнього перерізу поперечними перебірками відповідні приміщення, які обов'язково підписуються на повздовжньому перерізі та епюрі ємності [2, 10].

Виконуючи *третю практичну роботу*, розрахунок об'ємів відсіків і приміщень проводять за епюрою ємності шляхом визначення їх площ. Абсциси ЦВ кожного відсіку розраховуються шляхом поділу його на елементарні фігури (трикутник, прямокутник), визначенням і підсумовуванням статичних моментів площ цих фігур відносно осі порівняння та діленням їх на повну площу фігури (відсіку).

Аналогічно обчислюється й апліката ЦВ відсіку по його середньому поперечному перерізу, викресленому по ординатах теоретичного шпангоута за лістингом, що був отриманий розрахунком на ЕОМ. Статичні моменти елементарних площ визначаються відносно основної лінії. Розраховані величини записуються в таблицю ємності.

Потрібний об'єм під вантаж: для УСС – $W_{\text{потр}} = P_{\text{в}} \mu_{\text{в}}$; для танкерів – $W_{\text{потр}} = P_{\text{в}} / \gamma_{\text{в}}$.

Фактичні об'єми $W_{\text{ф.в}}$ і $W_{\text{ф.д}}$ з таблиці ємності необхідно зіставити з потрібними. Якщо об'єму не вистачає, висота борту збільшується, як показано вище, і навпаки.

8. РОЗРАХУНОК ВЕЛИЧИНИ МІНІМАЛЬНОГО НАДВОДНОГО БОРТУ

При проектуванні судна, визначаючи його головні розміри, слід забезпечити необхідну швидкість, вантажомісткість, остійність, а також запас плавучості і необхідний рівень непотоплюваності. Суттєву роль при цьому відіграє висота надводного борту. Регістром узагальнений величезний експлуатаційний досвід впливу на висоту надводного борту різноманітних факторів: типу судна, його довжини, району плавання, висоти борту, коефіцієнта загальної повноти, характеру сідлуватості верхньої палуби, розташування і довжини надбудов та ящиків. Правила про вантажну марку морських суден Регістру [9] дозволяють призначити надводний борт проекту судна з урахуванням перелічених вище факторів.

На цьому практичному занятті ставиться *задача* визначення мінімально допустимої висоти надводного борту за Правилами про вантажну марку морських суден. *Мета роботи* – отримати навички у визначенні мінімальної висоти борту проекту судна.

Практичне заняття розраховане на 2 години. Мінімальний надводний борт визначається для проекту судна з головними елементами, одержаними на практичному занятті № 6, з уточненою висотою борту на занятті № 7.

Згідно з Правилами [9] усі морські судна поділяються на типи А і В. Судна типу А – це судна, призначені для перевезення тільки рідких вантажів наливом, судна типу В – усі інші.

Величина мінімального надводного борту F визначається як алгебраїчна сума базисного надводного борту $F_{\text{баз}}$ і поправок до нього:

$$F = F_{\text{баз}} k_1 + k_2 - k_3 \pm k_4 + k_5,$$

де поправки: k_1 – на коефіцієнт загальної повноти; k_2 – на розрахункову висоту борту; k_3 – на надбудови та ящики; k_4 – на надлишок або недостачу сідлуватості; k_5 – для суден типу В довжиною менше 100 м.

Базисний надводний борт $F_{\text{баз}}$ для суден необмеженого району плавання визначається за таблицями Правил для суден типів А і В у залежності від їх довжини і дозволеного району плавання. Таблиці складені для суден зі стандартною сідлуватістю, $d = 0,68$ для осадки $T = 0,85H$, відношення $L/H = 15$ і без надбудов.

При відхиленні характеристик проекту від цих даних вносять поправки, наведені нижче.

Поправка на коефіцієнт загальної повноти δ . Якщо $\delta > 0,68$, то визначений за таблицями Правил базисний надводний борт $F_{\text{баз}}$ повинен бути помножений на коефіцієнт $k_1 = (\delta + 0,68)/1,36$.

Поправка на висоту борту H . Якщо $H > L/15$, то надводний борт збільшується на величину $k_2 = (H - L/15)R$ мм, де R – коефіцієнт, який дорівнює 250 при $L \geq 120$ м і $L/0,48$ при $L < 120$ м; якщо $H > L/15$, то поправка не вводиться.

Поправка на надбудови та ящики. Якщо довжина надбудов та ящиків дорівнює довжині судна, то відрахування з надводного борту k_3 повинно дорівнювати: 350 мм – для судна $L = 24$ м; 860 мм – для судна $L = 85$ м; 1070 мм – для судна $L \geq 122$ м. Відрахування для проміжних значень довжин повинні визначатися лінійною інтерполяцією.

Якщо сумарна довжина надбудов та ящиків менша від довжини судна, то проценти відрахування від указаних вище величин визначаються за табл. 8.1. Проценти відрахування для проміжних значень довжини надбудов та ящиків визначаються лінійною інтерполяцією.

Таблиця 8.1

Сумарна довжина надбудов	Тип судна		
	А	В	
	для надбудов усіх типів	з баком і без роздільної середньої надбудови	з баком і роздільною середньою надбудовою
0	0	0	0
0,1L	7,0	5,0	6,3
0,2L	14,0	10,0	12,7
0,3L	21,0	15,0	19,0
0,4L	31,0	23,5	27,5
0,5L	41,0	32,0	36,0
0,6L	52,0	46,0	46,0

Продовж. табл. 8.1

Сумарна довжина надбудов	Тип судна		
	А	В	
	для надбудов усіх типів	з баком і без роздільної середньої надбудови	з баком і роздільною середньою надбудовою
0,7L	63,0	63,0	63,0
0,8L	75,3	75,3	75,3
0,9L	87,7	87,7	87,7
1,0L	100,0	100,0	100,0

Поправка на відхилення від стандартного профілю сідлуватості k_4 визначається за формулою $k_4 = \Delta C (0,75 - l(2l))$ мм, де l – загальна довжина закритих надбудов, м; $\Delta C = \frac{1}{2}(\Delta C_{\text{н}} + \Delta C_{\text{к}})$ – недостача або надлишок сідлуватості.

Недостача або надлишок сідлуватості в носовій $\Delta C_{\text{н}}$ і кормовій $\Delta C_{\text{к}}$ половинах судна визначається за формулами, а величини $\Delta C'_{\text{н}}$ і $\Delta C'_{\text{к}}$ – як указано в табл. 8.2:

$$\Delta C_{\text{н}} = \frac{\Delta C'_{\text{н}}}{8}; \quad \Delta C_{\text{к}} = \frac{\Delta C'_{\text{к}}}{8};$$

$$\Delta C'_{\text{н}} = \sum_{\text{н}} kZ_{\text{дійсн}} - \sum_{\text{н}} kZ_{\text{станд}};$$

$$\Delta C'_{\text{к}} = \sum_{\text{к}} kZ_{\text{дійсн}} - \sum_{\text{к}} kZ_{\text{станд}}.$$

Поправка для суден типу В довжиною менше 100 м. Якщо судно типу В має $L < 100$ м і закриті надбудови з розрахунковою довжиною $E < 0,35L$, то $F_{\text{баз}}$ повинен бути збільшений на величину

$$k_5 = 7,5(100 - L) \left(0,35 - \frac{E}{L} \right) \text{мм}.$$

Виконуючи практичну роботу, слід урахувати наступне: якщо кормова половина профілю сідлуватості вища за стандартну, а носова половина – нижча, то вплив надлишку сідлуватості в

кормі не повинен прийматися в розрахунок, а враховується тільки недостача в носовій частині;

якщо носова половина профілю сідлуватості вища за стандартну, а сідлуватість кормової частини складає не менше 75 % стандартної, то вплив надлишку сідлуватості в носовій частині і недостача в кормі повинні враховуватися розрахунком;

якщо сідлуватість кормової частини складає менше 50 % стандартної, то надлишок сідлуватості в носовій частині не повинен братися до уваги, а враховується тільки недостача сідлуватості в кормі;

якщо сідлуватість кормової частини складає 50...75 % стандартної, то враховується пропорційна поправка на надлишок сідлуватості в носовій частині і повна недостача в кормі.

Таблиця 8.2

Положення ординати		Ордината, мм	Коефіцієнти	Сідлуватість, мм		Різниця ординат (5 - 4)	Добуток (6·3)
				стандартна	дійсна		
1		2	3	4	5	6	7
Кормова половина	Кормовий перпендикуляр (КП)	$25(L/3 + 10)$	1				
	1/6L від КП	$11,1(L/3 + 10)$	3				
	1/3L від КП	$2,8(L/3 + 10)$	3				
	Середина довжини судна	0	1				
							$\Sigma = \Delta C'_k$
Носова половина	Середина довжини судна	0	1				
	1/3L від НП	$5,6(L/3 + 10)$	3				
	1/6L від НП	$22,2(L/3 + 10)$	3				
	Носовий перпендикуляр (НП)	$50(L/3 + 10)$	1				
							$\Sigma = \Delta C'_n$

Максимальне відрахування на надлишок сидловатості в усіх випадках не повинно прийматися більше 125 мм на 100 м довжини судна.

9. РОЗРОБКА КОРАБЕЛЬНИХ КРИВИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ ТРАДИЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Існуючі традиційні методи побудови ТК передбачають наявність форми конструктивної ватерлінії (КВЛ), кривої площ шпангоутів (КПШ), мідель-шпангоута, носового баланс-шпангоута (НБШ) і кормового баланс-шпангоута (КБШ).

На цьому практичному занятті необхідно розв'язати *задачу* відпрацювання обводів указаних кривих. *Мета роботи* – отримати навички розробки обводів КВЛ, КПШ, мідель-шпангоута, НБШ і КБШ із заданими характеристиками.

Практичне заняття розраховане на 4 години і складається з двох практичних робіт. *Завдання*: 1) використовуючи дані, одержані в попередніх практичних заняттях, методом рисування побудувати КВЛ і КПШ; 2) побудувати мідель-шпангоут і баланс-шпангоути та розмістити разом з КПШ і КВЛ на аркуші формату А1.

Для проектування ТК і розробки зазначених корабельних кривих необхідні дані, одержані в попередніх практичних роботах, а саме: об'ємна водотоннажність $V = D/\gamma$; головні розміри судна L, B, T ; коефіцієнти δ, α, β .

Для розробки КПШ необхідно розрахувати коефіцієнт поздовжньої повноти $\phi = \delta/\beta$, абсцису X_c і довжину циліндричної вставки.

Для визначення безрозмірної абсциси центра величини використовуються залежності типу $X_c/L = f(\delta)$ для відомих серій моделей [12]: для $\delta \geq 0,59$ $X_c/L = 0,2(\delta - 0,675)$ – серія BSRA; для $\delta < 0,59$ $X_c/L = 0,167\delta^2 - 0,09\delta - 0,022$ (японська серія).

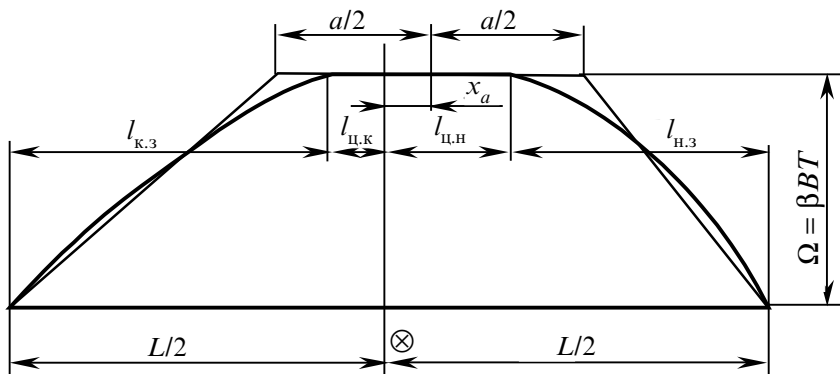
Для призначення довжини носової і кормової частин циліндричної вставки можна скористатися такими виразами [1, 3, 6, 7, 12]: якщо $\delta < 0,64$, $l_{ц.н} = l_{ц.к} = 0$; якщо $\delta \geq 0,64$, $l_{ц.н} = 2\delta^2 - 1,55\delta + 0,2055$; $l_{ц.к} = -49,91\delta^3 + 111,05\delta^2 - 81,3\delta + 19,63$.

Знаючи $l_{ц.н}$ і $l_{ц.к}$, відносні довжини носового і кормового загострень можна визначити як

$$l_{н.з} = 0,5 - l_{ц.н}; \quad l_{к.з} = 0,5 - l_{ц.к}.$$

Якщо $\delta > 0,7$, можна скористатися графіками Ліндблада [1, 6].

Для побудови КПШ спочатку будується трапеція, площа якої у масштабі дорівнює водотоннажності судна V . Потім на ній прорисовується КПШ, рівновелика за площею побудованій трапеції (рис. 9.1).



Масштаби: лінійний – в 1 см ... м;
площ – в 1 см ... м²

Рис. 9.1. Побудова КПШ

Величина меншої сторони трапеції визначається за формулою $a = (2\phi - 1)L$, а відстань від середини цієї сторони до мідель-шпангоута $x_a = \frac{6\phi}{4\phi - 1} X_c$.

У разі побудови КВЛ, як і у випадку з КПШ, спочатку будується трапеція, рівновелика за площею КВЛ. Величина меншої сторони трапеції виражається відрізком $a = (2\alpha - 1)L$. Відстань від середини цього відрізка до площини мідель-шпангоута повинна до-

рівнювати $x_a = \frac{6\alpha}{4\alpha - 1} X_f$.

Будуючи КВЛ, можна використати рекомендації щодо довжини циліндричної вставки КВЛ у залежності від числа Фруда, наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Fr	$\leq 0,19$	0,20	0,21	0,22	0,23	0,26
Довжина вставки, %	35,0	28,0	24,4	17,5	12,0	0,0

Методом рисування за допомогою рівновеликих площин будуються також обводи мідель-шпангоута і двох баланс-шпангоутів (табл. 9.2, рис. 9.2), на базі яких у подальшому будуються обводи решти шпангоутів.

Таблиця 9.2

Число Фруда	0,19	0,20...0,26	0,4...0,5
Номер баланс-шпангоутів	2 або 3 18 або 17	4 і 16	5 і 15

Обводи мідель-шпангоута будуються за допомогою рівновеликої трапеції, більша сторона якої дорівнює осадці T , а менша обчислюється за формулою $t_{\otimes} = (2\beta - 1)T$. Висота трапеції – половина $B/2$.

Для побудови обводів баланс-шпангоутів (див. рис. 9.2) більша сторона трапеції, яка дорівнює осадці T , відкладається на ДП, а величина другої сторони знаходиться за формулою $t_i = \frac{\omega_i}{y_{i\text{КВЛ}}} - T$, де ω_i – площа баланс-шпангоута, знята з КПШ; $y_{i\text{КВЛ}}$ – висота трапеції, що дорівнює ординаті КВЛ цього баланс-шпангоута, знятій з КВЛ.

Будуючи КПШ, слід використовувати вказівки щодо її форми в кінцевих частинах у залежності від числа Фруда (табл. 9.3).

Після побудови КПШ, використавши будь-яке з правил наближеного інтегрування, слід перевірити відповідність її площі водотоннажності судна V .

Побудова КВЛ аналогічна КПШ. Найбільша ордината її дорівнює $B/2$, а площа повинна бути $S_{\text{КВЛ}}/2$, де $S_{\text{КВЛ}} = \alpha BL$. При цьому слід орієнтуватися на рекомендовану форму КВЛ

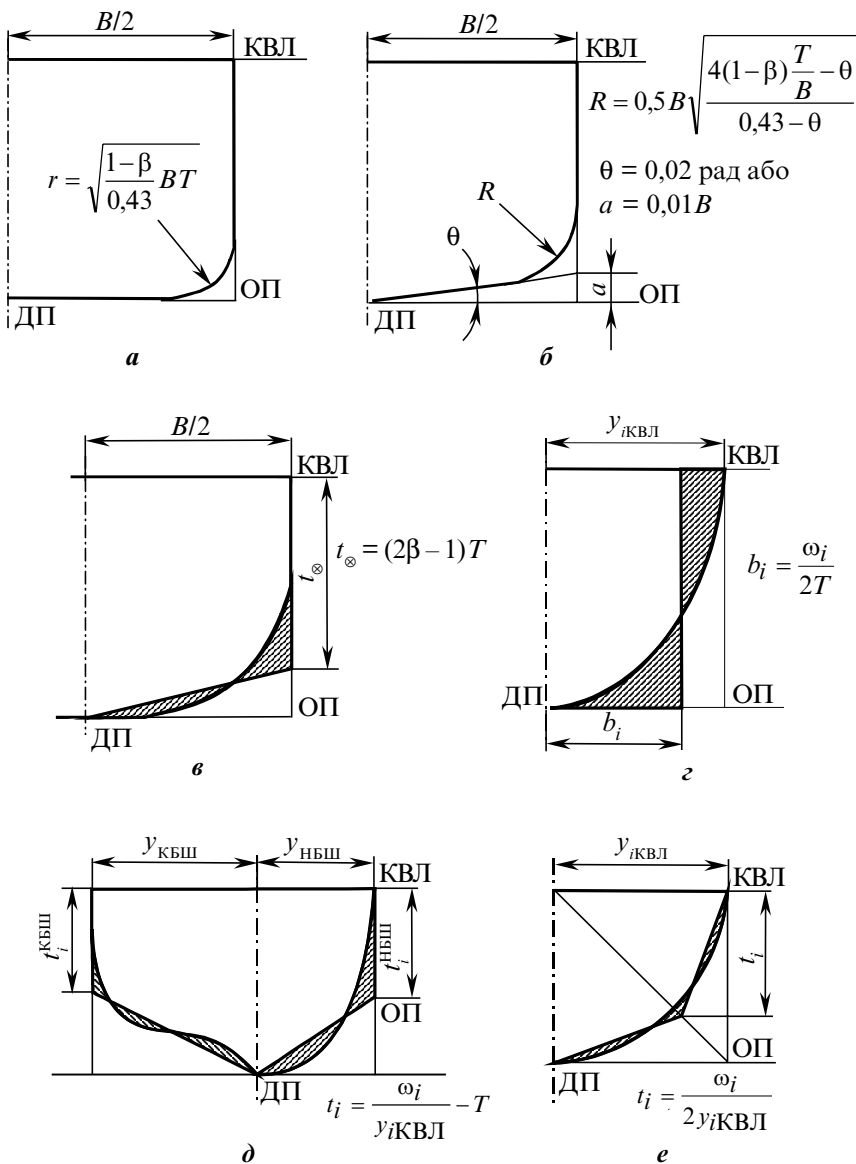


Рис. 9.2. Схеми побудови шпангоутів за їх площами ω_i та ординатами $y_{iKVЛ}$:

а, б, в – обводи мідель-шпангоута; **з, д, е** – обводи інших шпангоутів

у носовій частині в залежності від числа Фруда (табл. 9.4). У кормі КВЛ завжди опукла.

Таблиця 9.3

Fr	Ніс	Корма
0,15...0,18	Пряма або трохи опукла	Пряма
0,18...0,22	Угнута або пряма	Пряма або трохи угнута
0,22...0,32	Помірно угнута	Угнута
> 0,32	Пряма	Трохи опукла або пряма

Таблиця 9.4

Fr	Форма КВЛ	Fr	Форма КВЛ
< 0,15	Опукла		
0,15...0,19	Пряма або трохи опукла	0,22...0,32	Помірно угнута
0,19...0,22	Угнута або пряма	> 0,32	Пряма

Після побудови плавної лінії КВЛ необхідно за допомогою правила наближеного інтегрування перевірити її площу і коефіцієнт повноти α .

Обводи мідель-шпангоута і баланс-шпангоутів за рівновеликими трапеціями будуються тільки для підводної частини судна. При цьому слід обирати такий масштаб, у якому буде в подальшому будуватися проекція "Корпус" ТК (1:100). Після побудови плавних кривих, як і в попередніх випадках, необхідно перевірити площі шпангоутів і зіставити їх з площами, знятими з КПШ.

При побудові КПШ і КВЛ довжину судна слід розбивати на 20 частин ($\Delta L = L/20$), шпангоути нумеруються від 0 до 20. При побудові мідель-шпангоута і баланс-шпангоутів осадка судна розбивається на 5 частин ($\Delta T = T/5$), ватерлінії нумеруються від 0 до 5.

10. ПОБУДОВА ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ МЕТОДОМ РИСУВАННЯ

У випадках, коли треба проектувати форму корпусу за відсутності необхідного прототипу і немає можливості використати ЕОМ, проектувальник вимушений використовувати традиційний метод побудови ТК – метод рисування.

На цьому практичному занятті ставиться *задача*: використовуючи розроблені корабельні криві, спроектувати ТК методом рисування. *Метою роботи* є оволодіння методом проектування ТК за відсутності прототипу.

Практичне заняття розраховане на 4 години роботи в аудиторії і 6 годин самостійної роботи та складається з трьох практичних робіт. *Завдання*: 1) накреслити сітку ТК (виконується, як розрахунково-графічне завдання (РГЗ) на форматі А1); 2) побудувати ТК; 3) перевірити розрахунками величини V , β , α , δ і X_c та визначити процент відхилень їх значень від заданих. У разі необхідності виконати коригування ТК за рахунок РГЗ.

Теоретичне креслення, яке зображує поверхню судна і дає загальну характеристику його форми, як зазначалося вище, будується на основі раніше визначених головних розмірів і коефіцієнтів повноти β , α і δ , а також абсциси центра величини. До цих трьох коефіцієнтів додаються ще коефіцієнти повздовжньої і вертикальної повноти.

До побудови ТК приступають після розробки корабельних кривих КПШ, КВЛ, НБШ, КБШ і мідель-шпангоута, а також після завершення підготовчих робіт (сітки). Побудова ТК виконується по 21 теоретичному шпангоуту (0–20 шп.), шести ватерлініях (0–5 ВЛ) і двох батоксах.

У першу чергу приступають до побудови проекції "Корпус". Основою для побудови кожного шпангоута є його площа ω_i та ордината КВЛ y_i . На проекцію "Корпус" спочатку наносять баланс-шпангоут і мідель-шпангоут. Для решти теоретичних шпангоутів за значеннями ω_i і y_i будують рівновеликі (0,5 площі) прямокутники або трапеції, а за ними, звертаючи увагу на форму баланс-шпангоутів і мідель-шпангоута, – обводи решти шпангоутів до КВЛ. Вище КВЛ гілка шпангоута продовжується таким чином, щоб одержати достатню площу верхньої палуби для розміщення надбудов, пристроїв та вантажу (контейнери тощо).

Після завершення побудови проекції "Корпус" переходять до викреслення проекції "Напівширота". Будувати одразу всі ватерлінії немає необхідності. Достатньо викреслити нульову, першу, третю і п'яту ватерлінії. Це дає можливість відкоригувати форму шпангоута за чотирма точками. Після цього слід викреслити другу і четверту ватерлінії на напівшироті та побудувати батокси на проекції "Бік" з одночасним узгодженням точок перетинання теоретичних ліній у трьох проекціях.

Побудова теоретичного креслення повинна закінчуватися розрахунком фактичних значень V_ϕ , δ_ϕ , β_ϕ , α_ϕ і $X_{сф}$. Коефіцієнти

визначаються за формулами: $\delta_\phi = \frac{V_\phi}{LBT}$; $\alpha_\phi = \frac{S_5}{LB}$; $\beta_\phi = \frac{\Omega_{10}}{BT}$.

При відхиленні отриманих фактичних значень водотоннажності, коефіцієнтів повноти та абсциси центра величини більше ніж на 1...2 % (для навчальних цілей до 5 %) треба змінити площі і форму обводів теоретичних шпангоутів, узгодити точки перетинання їх з ватерлініями і батоксами та знову повторити розрахунки з тим, щоб досягти відповідної точності величин V , β , α , δ і X_c .

Теоретичне креслення виконується на аркуші формату А1. Масштаб креслення може бути нестандартним, але таким, щоб аркуш був використаний повністю. Проекцію "Корпус" можна розмістити на окремому аркуші.

При викресленні теоретичних шпангоутів слід використовувати лекала, а ватерліній і батоксів – гнучкі рейки або лекала.

11. УДИФЕРЕНТУВАННЯ СУДНА ПЕРЕМІЩЕННЯМ ПАЛИВА

Наявність диференту в судна призводить до зменшення осадки носом або кормою, що створює умови до появи слемінгу, втрати швидкості ходу й керованості через оголення частини гвинта і руля.

Практикою проектування відпрацьовані наступні рекомендації щодо посадки судна: осадка носом повинна бути $T_n \geq L/40$; осадка кормою – $T \geq D_{\text{гвинта}}$; диферент – $\Delta T \leq (0,008...0,015)L$; диферент на ніс не допускається.

На цьому практичному занятті ставиться *задача*: беручи до уваги наведені рекомендації до посадки судна, удиферентувати його шляхом переміщення палива при навантаженні 100 % вантажу і 100 % запасів палива й постачання без баласту. *Мета роботи* – одержати навички розрахунку і переміщення центра ваги судна для його належної посадки.

Практичне заняття розраховане на 6 годин і складається з трьох практичних робіт. *Завдання*: 1) за даними практичного заняття № 7 визначити ЦВ вантажу і палива, розмістивши його в районі машинного відділення, розрахувати положення ЦВ судна порожнем; 2) розрахувати положення ЦВ судна з повними запасами й вантажем і визначити диферент судна; 3) перемістити паливо в інші цистерни та удиферентувати судно (виконується, як РГЗ).

Для удиферентування судна необхідні дані, одержані при розв'язанні на ЕОМ задачі визначення елементів плавучості і початкової остійності, результати розрахунку маси вантажу в кожному трюмі (танку) і його абсцис ЦВ, а також дані судна-прототипу.

Положення ЦВ вантажу, палива і судна розраховуються за статичними моментами. Повздовжній метацентричний радіус R і апліката центра величини Z_c приймаються за даними розрахунку на ЕОМ для середньої осадки розрахункового варіанта навантаження. У разі плавання судна з повними вантажем і запасами необхідно прагнути до забезпечення посадки судна на рівний киль або з незначним диферентом на корму.

Обчислення координат ЦВ судна порожнем, вантажу та палива виконується з використанням таблиць і даних практичного заняття № 3 по навантаженню мас, таблиці ємності з практичного заняття № 7 і даних судна-прототипу для перераховування координат ЦВ корпусу, обладнання, енергетичної установки та запасу водотоннажності.

Абсциси ЦВ корпусу, обладнання, енергетичної установки і запасу водотоннажності перераховуються із судна-прототипу пропорційно довжині судна за формулами типу $X_g = \frac{\bar{X}_g}{L} L$. Аналогічно перераховуються й аплікати, але пропорційно висоті борту H .

Координати X і Z беруться з таблиці ємності.

Задана маса вантажу повинна бути розподілена по вантажних приміщеннях з урахуванням коефіцієнта завантаження k_3 , що визначається як відношення $W_{\text{потр}}/W_{\phi}$, де $W_{\text{потр}} = P_{\text{в}} \mu_{\text{в}}$ – потрібний об'єм для розміщення вантажу, м³; $W_{\phi} = W_{\phi.\text{в}}$ – фактичний об'єм приміщень судна під вантаж (з епюро ємності).

Маса вантажу в кожному трюмі визначається як $P_{\text{в.тр}} = \frac{W_{\text{кор.тр}} k_3}{\mu_{\text{в}}}$ т, де $W_{\text{кор.тр}}$ – корисний об'єм трюму за епюрою ємності.

У першому наближенні паливо розміщується в днищевих цистернах біля машинного відділення і під ним. Величина маси палива приймається за розрахунком мас у практичному занятті № 3, а координати X і Z – з таблиці ємності. Маса палива в кожній цистерні визнача-

ється як $P_{п.ц} = W_{кор.дн} \gamma_{п}$ т, де $\gamma_{п} = 0,92$ т/м³ – задана питома вага палива; $W_{кор.дн}$ – корисний об'єм днищевої цистерни з епюри ємності.

Одна з цистерн може бути неповною. Розрахунок ЦВ палива виконується в таблиці.

Маса розділів "Паливо" та "Забезпечення" приймається за розрахунком мас на практичному занятті № 3, а координати ЦВ визначаються перерахуванням з даних судна-прототипу.

Сума окремих мас повинна дорівнювати водотоннажності D , яка розрахована на практичному занятті № 3.

Після розрахунку координат X_g і Z_g по вантажному розміру визначається середня осадка T_c і в залежності від неї – повздовжній метacentричний радіус R , абсциса та апліката центра величини X_c і Z_c .

За метacentричною формулою повздовжньої остійності визначається момент, що диферентує на 1 см: $M_{диф}^{1см} = \frac{DH}{100L}$ т·м/см, де $H = R + Z_c - Z_g$ – повздовжня метacentрична висота.

Повний диферентуючий момент розраховується за формулою

$$M_{диф} = D(X_g - X_c) \text{ т·м.}$$

Диферент визначається як $\Delta T = M_{диф} / M_{диф}^{1см}$ см; осадка носом $T_n = T_c + \Delta T/2$, а осадка кормою $T_k = T_c - \Delta T/2$.

Отримані таким чином значення диференту ΔT і осадок T_n та T_k треба порівняти із зазначеними вище допустимими значеннями і, зважаючи на те, що для розрахункового випадку диферент повинен бути мінімальним, прийняти рішення про переміщення палива в інші цистерни.

При переміщенні палива і розрахунку диференту може виникнути необхідність улаштування додаткової цистерни-бункера. У цьому випадку треба відкоригувати епюру ємності за рахунок надлишку об'єму під вантаж.

Переміщуючи паливо з метою удиферентування судна, треба мати на увазі, що цистерна під машинним відділенням завжди повинна бути заповненою.

12. РОЗРАХУНОК ПОБУДОВНОЇ ВАРТОСТІ СЕРІЙНОГО СУДНА, ЕЛЕМЕНТІВ РЕЙСУ І КІЛЬКОСТІ СУДЕН НА ЛІНІЇ

Будь-яке морське судно є складною технічною спорудою, проектування якої вимагає вирішення великої кількості різноманітних питань, що виникають на шляху розробки проекту.

Як показує практика проектування суден, вирішення виникаючих питань за один раз неможливе. Тому при створенні проектної документації, необхідної для побудови судна, послідовно виникають дві проблеми: визначення, формулювання та обґрунтовування комплексу вимог до майбутнього судна і визначення таких елементів проекту, сукупність яких забезпечила б виконання всіх вимог до судна.

Перша проблема відноситься до розв'язання зовнішньої задачі теорії проектування суден, або до задачі розробки завдання на проектування судна; розв'язання другої проблеми – до внутрішньої задачі теорії проектування судна, або до задачі розробки проекту.

Розробка проекту судна – це багаторівневий процес, який складається з декількох етапів: ТЕО – техніко-економічне обґрунтування; ОТЕВ – основні техніко-економічні вимоги; ТЗ – технічне завдання.

У рамках розробки технічного завдання на проектування судна виконується визначення ОТЕВ, які фактично визначають основні характеристики майбутнього судна [4, 11].

Метою роботи є одержання навичок розробки елементів ОТЕВ. На цьому і наступному заняттях виконуються окремі розрахунки ОТЕВ для базового судна. За базове судно приймається проект, розроблений на попередніх заняттях.

Практичне заняття розраховане на 4 години і складається з двох практичних робіт. *Завдання:* 1) розрахувати побудовну вартість елементів рейсу і кількість суден на лінії; 2) визначити середньосерійну вартість суден на лінії (виконується, як РГЗ).

Розрахунок побудовної вартості K_c серійного судна виконується за залежністю

$$K_c = (K_{к.о} + K_{г.д} + K_{м.о}) \mu \mu_{л},$$

де $K_{к.о} = k_{к.о} D_{пор}$ – вартість корпусу з обладнанням, млн грн; $K_{г.д}$ – вартість головного двигуна; $K_{м.о}$ – вартість механічного обладнання; μ – коефіцієнт, що враховує інші витрати при побудові судна; $\mu_{л}$ – поправочний коефіцієнт, який залежить від льодової категорії судна.

Вимірник $k_{к.о} = f(D_{пор})$ визначається:

для суховантажних суден

$D_{пор}$, тис. т	2	4	6	8	10
$k_{к.о}$, млн грн/тис. т	0,65	0,58	0,57	0,56	0,56

для наливних суден ($D_{пор}$, тис. т; $k_{к.о}$, тис. грн/т)

$$D_{пор} < 10, \quad k_{к.о} = 0,57;$$

$$10 < D_{пор} < 35, \quad k_{к.о} = 0,56;$$

$$D_{пор} > 35, \quad k_{к.о} = 0,55;$$

$$K_{г.д} = k_{г.д} N_{вп} \text{ грн},$$

де $N_{вп}$ – потужність головного двигуна, кВт.

Вимірник $k_{г.д} = 182 N_{вп}^{-0,25}$ грн/кВт ($N_{вп}$, тис. кВт);

$$K_{м.о} = k_{м.о} N_{вп} \text{ грн } (N_{вп}, \text{ кВт}).$$

Вимірник $k_{м.о} = 408 N_{вп}^{-0,4}$ грн/кВт ($N_{вп}$, тис. кВт).

Значення $\mu = 1,31 D_{пор}^{-0,03}$ – для суховантажних суден; $\mu = 1,34 D_{пор}^{-0,03}$ –

для наливних суден ($D_{пор}$, тис. т).

Значення коефіцієнта $\mu_{л}$ залежить від льодової категорії судна [8]: без льодових підсилень і ЛП1 $\mu_{л} = 1,0$; ЛП2, ЛП3 – $\mu_{л} = 1,02$; ЛП4 – $\mu_{л} = 1,04$; ЛП5 – $\mu_{л} = 1,05$; ЛП6 – $\mu_{л} = 1,09$.

Розрахунок елементів рейсу і кількості суден на лінії. Час (тривалість) рейсу T_p складається з ходового T_x і стоянкового $T_{ст}$ часу: $T_p = T_x + T_{ст}$.

Ходовий час рейсу без заходу в проміжні порти визначається як

$T_x = \frac{Z}{24v_e}$ діб, де Z – довжина кругового рейсу, миль; v_e – експлуатаційна швидкість ходу, вуз.

Стоянковий час дорівнює загальному часу перебування судна в обох портах. У порту відправлення судно приймає вантаж, а в порту призначення вивантажує його, а потім приймає вантаж для зворотного рейсу, який вивантажує в порту відправлення. Танкери зворотний рейс виконують без вантажу (баластний перехід). Стоянковий

час визначається як $T_{\text{ст}} = \sum \frac{(P_{\text{в}})_i}{(M_{\text{вал}})_i}$ діб, де $(P_{\text{в}})_i = \alpha_i P_{\text{в}}$ – кількість вантажу, який завантажується і вивантажується в портах; $P_{\text{в}}$ – вантажопідйомність судна; α_i – коефіцієнт завантаження судна в прямому і зворотному рейсах (за завданням); $(M_{\text{вал}})_i$ – валові норми вантажних робіт з урахуванням простоїв, бункерування, оформлення документів, швартування, закріплення вантажу тощо, т/зміну.

Для суховантажних суден при вантажних операціях власними вантажними засобами $M_{\text{вал}}^{\text{с}} \cong 1000$ т/зміну; засобами порту $M_{\text{вал}}^{\text{п}} \cong \cong 1200$ т/зміну.

Робота може виконуватися в одну, дві або три зміни на добу n_3 , тоді

$$(T_{\text{ст}})_i = \frac{(P_{\text{в}})_i}{(n_3)_i (M_{\text{вал}})_i} \text{ діб.}$$

Для наливних суден $T_{\text{ст}} = t_{\text{ст}} DW / 12$ діб, де $t_{\text{ст}} = 47 DW^{-0,67}$ – валовий питомий час під вантажними операціями, віднесений до DW (тис. т) судна, год/тис. т.

Визначення кількості суден на лінії. Спочатку визначається кількість рейсів за навігацію: $n_{\text{р}} = T_{\text{е}} / T_{\text{р}}$ од., де $T_{\text{е}}$ – експлуатаційний період, діб (за завданням); $T_{\text{р}}$ – тривалість кругового рейсу, діб.

Результат не округлюють до цілих чисел, оскільки рейс буде закінчений за межами експлуатаційного періоду, а також десяті частки рейсу відіграють певну роль при зіставленні варіантів.

Провозоспроможність одного судна за навігаційний період $Q_{\text{в}}^{\text{рік}} = = P_{\text{в}}^{\text{р}} n_{\text{р}}$ т, де $P_{\text{в}}^{\text{р}}$ – кількість вантажу, який перевезено за круговий рейс, т.

Тоді кількість суден, які повинні працювати на лінії для освоєння річного вантажопотоку, $n_{\text{с}} = A / Q_{\text{в}}^{\text{рік}}$ од., де A – вказаний у завданні вантажопотік, т.

У даному випадку одержаний результат округлюється в більший бік до ближнього цілого числа.

Визначення середньосерійної вартості суден, що працюють на лінії. Будемо вважати, що раніше побудовані судна, які знаходяться в експлуатації, не залучаються до вантажоперевезень на лінії, отже для роботи на ній необхідно побудувати нові судна в кількості $n_{\text{с}}$.

Треба визначити середньосерійну вартість побудови суден цієї серії. Це можна зробити за допомогою коефіцієнта серійності ρ , який визначає відношення вартості K_i даного судна до вартості серійного судна K_c :

$$\rho_i = \frac{K_i}{K_c}.$$

Щоб знайти середнє значення ρ , треба знайти ρ_i для кожного судна серії в межах від $i = 1$ до $i = n_c$, тобто

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_c} \rho_i}{n_c} \text{ од.}$$

Значення ρ_i знаходиться за формулою $\rho_i = i^{-0,278}$.

Тоді середньосерійна вартість судна може бути визначена як $K_{\text{ср.с}} = \rho K_c + \frac{K_{\text{пр}} + K_{\text{осн}}}{n_c}$ млн грн, де $K_{\text{пр}}$ – вартість проектування суден; $K_{\text{осн}}$ – вартість оснастки і пристроїв для побудови суден.

Чисельні значення $K_{\text{пр}}$ і $K_{\text{осн}}$ визначаються формулами:

$$K_{\text{пр}} = 0,236 + 0,061086 D_{\text{пор}} - 0,0006286 D_{\text{пор}}^2;$$

$$K_{\text{осн}} = 0,15 + 0,07325 D_{\text{пор}} + 0,008048 D_{\text{пор}}^2 - 0,000178 D_{\text{пор}}^3 \text{ млн грн.}$$

Значення $D_{\text{пор}}$ у наведені вище формули підставляється в тисячах тонн.

У розрахунках умовно приймається, що річний об'єм вантажних перевезень повинен виконуватися новими побудованими суднами.

13. РОЗРАХУНОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ І ПИТОМИХ ЗВЕДЕНИХ ВИТРАТ

Постановка задачі наведена в опису до попереднього практичного заняття, на якому визначаються елемент ОТЕВ проекту судна, призначеного для транспортування заданого річного об'єму вантажу.

Метою цього заняття є отримання навичок у розрахунках експлуатаційних витрат на транспортування судном вантажу.

Практичне заняття розраховане на 2 години роботи в аудиторії і 4 години самостійної роботи та складається з двох занять. *Завдання:* 1) розрахувати експлуатаційні витрати; 2) розрахувати питомі зведені витрати.

Для визначення ОТЕВ слід обрати оптимальний варіант серед суден-претендентів шляхом оптимізації їх елементів за економічним критерієм, яким може бути прибуток (максимальний) або витрати (мінімальні) від експлуатації судна.

Перевага частіше віддається мінімізації витрат. Це пов'язане з тим, що при розрахунках до неминучих похибок і неточностей у визначенні витрат додаються похибки і неточності (у вихідних даних), які виникають у розрахунках прибутку.

Визначення експлуатаційних витрат C . Вони складаються з трьох частин: постійних витрат C_1 , які розраховуються одразу за весь навігаційний період, витрат на паливо і мастило на ходу C_2 та витрат на стоянці в портах C_3 , які визначаються за кожен круговий рейс.

Розрахунок річних постійних витрат здійснюється таким чином: $C_1 = S_1 + S_2 + S_3$, де S_1 – утримання екіпажу (з накладними витратами); S_2 – амортизаційні відрахування, витрати на ремонт і забезпечення; S_3 – навігаційні витрати (на питну воду, на дегазацію, дезінфекцію, технічний огляд судна, придбання навігаційних карт, лоцій, інструментів, оплату буксирів, криголамів, портових зборів та ін.).

У свою чергу, $S_1 = s_1 n_{\text{ек}} T_{\text{е}}$ грн, де $s_1 = 30$ грн (на суховантажних) і 40 грн (на наливних суднах) – витрати на утримання екіпажу; $n_{\text{ек}}$ – кількість екіпажу за завданням; $T_{\text{е}}$ – експлуатаційний період, діб (задається).

Амортизаційні відрахування $S_2 = s_2 K_{\text{ср.с}}$, де $K_{\text{ср.с}}$ – середньосерійна вартість судна, млн грн; $s_2 = 0,06$ (для суховантажних) і 0,07 (для наливних суден) – нормативи амортизаційних відрахувань.

Навігаційні витрати $S_3 = s_3 T_{\text{е}}$ грн, де s_3 – питомі навігаційні витрати, грн/добу.

Для суховантажних суден

$$s_3 = 62,6 + 4,229 DW - 0,0482 DW^2 + 0,0002267 DW^3;$$

для наливних суден

$$s_3 = 125,894 + 2,52093 DW^2 - 0,00004577 DW^3,$$

де DW – дедвейт судна, тис. т.

Витрати на паливо і мастило на ходу за рейс визначаються за виразом

$$C_2 = T_x \omega_{\Pi} (P_{\Pi}^{\text{доб}})_{\chi} \text{ грн},$$

де T_x – сумарний ходовий час за рейс, діб; ω_{Π} – вартість однієї тонни палива і мастила, грн/т (задається викладачем); $(P_{\Pi}^{\text{доб}})_{\chi} = 24k_{\text{м.з}}q_{\Pi}N_e \cdot 10^{-6}$ – добові витрати палива і мастила на ходу судна, т/добу; N_e – потужність головного двигуна, кВт; q_{Π} – питомі витрати палива і мастила на ходу судна на всі потреби, г/(кВт·год); для МОД $q_{\Pi} = 190$ г/(кВт·год); $k_{\text{м.з}} = 1,1 \dots 1,15$ – коефіцієнт морського запасу.

Визначення витрат на паливо і мастило на стоянках за круговий рейс виконується за формулою $C_3 = \omega_{\Pi} (P_{\Pi}^{\text{доб}})_{\text{ст}} T_{\text{ст}}$ грн, де $T_{\text{ст}} = T'_{\text{ст}} + T''_{\text{ст}}$ – час, що складається зі стоянкового часу судна з вантажними операціями $T'_{\text{ст}}$, тобто часу, коли працюють суднові крани або насоси, і стоянкового часу судна без вантажних операцій $T''_{\text{ст}}$, коли вантажні операції виконуються вантажними засобами порту. Відповідно до цього розрізняють добову витрату палива і мастила на стоянці з вантажними операціями $(P_{\Pi}^{\text{доб}})'_{\text{ст}}$ і без вантажних операцій $(P_{\Pi}^{\text{доб}})''_{\text{ст}}$, які визначаються в частках від $(P_{\Pi}^{\text{доб}})_{\chi}$:

$$(P_{\Pi}^{\text{доб}})'_{\text{ст}} = \chi_1 (P_{\Pi}^{\text{доб}})_{\chi}; \quad (P_{\Pi}^{\text{доб}})''_{\text{ст}} = \chi_2 (P_{\Pi}^{\text{доб}})_{\chi}.$$

Значення χ_1 і χ_2 знаходяться за залежностями:

для суховантажних суден на стоянці з вантажними операціями

$$\chi_1 = 0,27997 - 0,042987N_e + 0,003474N_e^2 - 0,000126566N_e^3;$$

для наливних на стоянці з вантажними операціями

$$\chi_1 = 0,42735 - 0,03065N_e + 0,001477N_e^2 - 0,00002295N_e^3;$$

для суховантажних і наливних на стоянці без вантажних операцій

$$\chi_2 = 0,26541 - 0,04609N_e + 0,0038069N_e^2 - 0,0001377N_e^3,$$

де N_e – потужність головного двигуна, тис. к.с.

Таким чином, розрахунковий вираз для C_3 набуває такого вигляду:

$$C_3 = \omega_{\Pi} \left[\left(P_{\Pi}^{\text{доб}} \right)'_{\text{CT}} T'_{\text{CT}} + \left(P_{\Pi}^{\text{доб}} \right)''_{\text{CT}} T''_{\text{CT}} \right] \text{ грн.}$$

Розрахунок оборотних коштів у вантажах і питомих зведених витрат. Ці розрахунки виконуються за залежністю $K_{\text{в}} = k_{\text{в}} Q_{\text{в}}^{\text{рік}}$ грн, де через $k_{\text{в}}$ позначені оборотні кошти, які припадають на 1 т вантажу за час його доставки, грн/т; $Q_{\text{в}}^{\text{рік}}$ – загальна кількість вантажу, перевезена судном за навігацію, т.

Вимірник $k_{\text{в}}$ (питомі оборотні кошти) визначається так:

$$k_{\text{в}} = \Pi_{\text{в}} \frac{T_{\text{в}}}{365}, \text{ де } \Pi_{\text{в}} - \text{ціна 1 т перевезеного вантажу за навігацію, грн/т;}$$

$T_{\text{в}}$ – сумарний час доставки вантажу за навігацію, діб. Для суховантажних суден $T_{\text{в}} = (T_{\text{х}} + 0,5T_{\text{ст}})n_{\text{р}}$, для наливних $T_{\text{в}} = 0,5(T_{\text{х}} + T_{\text{ст}})n_{\text{р}}$.

Питомі зведені витрати на транспортування тонни вантажу, що перевозиться, з урахуванням капітальних вкладень та оборотних коштів у вантажах розраховуються таким чином:

$$\bar{Z}_{\Pi} = \frac{C + E_1 K_{\text{ср.с}} + E_2 K_{\text{в}}}{Q_{\text{в}}^{\text{рік}}} \text{ грн/т,}$$

де $E_1 = 0,15$ і $E_2 = 0,12$ – нормативні коефіцієнти ефективності капітальних вкладень та оборотних коштів у вантажах.

Загальний вираз для $\bar{Z}_{\Pi}$ можна розділити на три частини: $\bar{C} = C / Q_{\text{в}}^{\text{рік}}$ – питомі експлуатаційні витрати, або собівартість перевезення 1 т вантажу, грн/т; $\bar{B} = E_1 K_{\text{ср.с}} / Q_{\text{в}}^{\text{рік}}$ – питомі капітальні вкладення на 1 т вантажу, що перевозиться; $\bar{D} = E_2 K_{\text{в}} / Q_{\text{в}}^{\text{рік}}$ – питомі оборотні кошти в кожній тонні перевезеного вантажу, грн/т.

Розрахунок експлуатаційних витрат виконується для проекту судна, елементи якого визначені в попередніх практичних заняттях. При цьому береться до уваги, що на лінії будуть працювати тільки судна, побудовані серійно.

Кількість суден у серії $n_{\text{с}}$ береться за попереднім розрахунком, кількість рейсів за навігаційний період – як у попередньому практичному занятті.

У розрахунках питомих зведених витрат добутки $E_1 K_{\text{ср.с}}$ і $E_2 K_{\text{в}}$ дають уявлення про те, який прибуток можна одержати при вкладенні цих коштів не в судна і вантажі, а за іншим призначенням. При цьому береться до уваги, що потенціальний прибуток, який не отриманий, можна порівняти до витрат.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ашик В.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1985. – 318 с.
2. *Бондаренко О.В., Кротов О.И., Сорокін В.И.* Конспект лекцій з дисципліни "Проектування суден". – Миколаїв: УДМТУ, 2004. – 168 с.
3. *Бронников А.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1991. – 320 с.
4. *Бронников А.В.* Разработка основных технико-эксплуатационных требований на проектирование морского судна: Учебное пособие. – СПб.: СПб.ГМТУ, 1997. – 56 с.
5. *Кротов А.И., Сорокин В.И., Цыбенко Б.А.* Проектирование судов: Метод. указ. к выполнению дипломного проекта. – Николаев: НКИ, 1989. – 46 с.
6. *Ногид Л.М.* Проектирование морских судов. Выбор показателей формы проектируемого судна. – Л.: Судостроение, 1976. – 206 с.
7. *Петропавлов Ю.В.* Разбивка СПШ и КВЛ с помощью ЭВМ: Учебное пособие. – Николаев: НКИ, 1979. – 31 с.
8. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. – К., 2002. – Т. 1, 2.
9. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – К., 2003.
10. Проектування морських транспортних суден / *О.И. Кротов, В.И. Голіков, О.Ю. Єганов, О.В. Бондаренко.* – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 156 с.
11. *Соколов В.П.* Постановка задач экономического обоснования судов. – Л.: Судостроение, 1987. – 164 с.
12. Справочник по теории корабля: В 3 т. Т. 2 / Под ред. *Я.И. Войткунского.* – Л.: Судостроение, 1985. – 440 с.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ Й ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ ДО ЗАВДАНЬ

Усі практичні роботи виконуються в зошитах, де спочатку записуються номер практичного заняття, тема і мета роботи. Після цього викладаються короткі теоретичні відомості з теми заняття.

У тексті звіту перед кожним розрахунком повинні бути записані коментарі, з яких видно, що буде розраховано і за якими залежностями чи формулами.

Спочатку, після коментарів, записується формула в загальному вигляді, пояснюються вхідні величини, обчислюються їх значення і наводяться розмірності. Після цього знову записується формула, але з підставленими в неї значеннями величин. Після знака рівняння записуються результат і його розмірність. Якщо для розрахунків використовуються таблиці, то вони повинні мати номер і найменування, а в тексті на них повинні бути посилання. Це також відноситься і до рисунків.

У кінці опису кожного практичного заняття повинні бути зроблені висновки про одержані результати.

Звіт по кожному практичному заняттю перевіряється і підписується викладачем.

Усі роботи повинні виконуватися у відведений строк: невиконання будь-якої роботи не дозволить виконувати наступну за нею, тому що дані, одержані в попередній, використовуються в подальшій роботі.

Навчальним планом і програмою з дисципліни "Основи проектування суден" передбачено самостійне виконання розрахунково-графічних завдань і подання їх для перевірки викладачу.

Розрахунки виконуються згідно з правилами наближених обчислень і кількістю значущих цифр, що відповідають точності вихідних даних або використовуваних залежностей. Кінцеві результати розрахунків повинні містити не більше трьох-чотирьох вірних знаків

(тобто абсолютна похибка розрахунків не повинна перевищувати одиниці розряду третьої або четвертої значущої цифри).

Проміжні обчислення виконуються з одним або двома додатковими знаками. Зайві знаки прирівнюються до помилок.

Завдання на практичні роботи видаються на два семестри, а на кожне практичне заняття формулюються постановка задачі і мета роботи та подаються короткі теоретичні відомості відносно поставленої задачі.



Навчальне видання

БОНДАРЕНКО Олександр Валентинович
КРОТОВ Олександр Іванович
СОРОКІН Віталій Ілліч

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ "ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ СУДЕН"

(українською мовою)

Редактор М.Д. Белікчі
Комп'ютерна правка О.В. Бондаренко
Комп'ютерна верстка В.Г. Єлесіна
Коректор Н.О. Шайкіна

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Підписано до друку 07.07.05. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Гарнітура "Таймс". Друк офсетний. Ум. друк. арк. 2,6. Обл.-вид. арк. 2,8.
Тираж 100 прим. Вид. № 15. Зам. № 89. Ціна договірна.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

для нотаток



ВИДАВНИЦТВО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюкатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати **підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки**, – ми до Ваших послуг.

© Національний університет кораблебудування
✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5,
видавництво НУК

☎ 8(0512) 47-83-86; 39-81-42, 39-73-39, fax 8(0512) 42-46-52;
E-mail: publishing@usmtu.edu.ua