

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова**

**О.І.Кротов, С.Ф.Ільїн, Я.А.Клева**

**КУРСОВЕ І ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН**

**Частина 1. Методика і загальні вимоги**

***Методичні вказівки***

*Рекомендовано Методичною радою НУК*

**Миколаїв 2009**

УДК 629.12 011.22

ББК 39.42-11

Кротов О.І., Ільїн С.Ф., Клева Я.А. Курсове і дипломне проектування транспортних суден: Ч.1. Методика і загальні вимоги. Методичні вказівки. – Миколаїв: НУК, 2009. – 52 с.

**Рецензент:**

кандидат технічних наук, професор А.М. Вашедченко

***Кафедра теорії і проектування суден***

У першій частині методичних вказівок пояснюються основні теоретичні і методологічні питання дисципліни "Проектування суден", які допоможуть студентам спеціальності "Кораблі і океанотехніка" у виконанні курсових та дипломних проектів транспортних суден. Наводяться також загальні вимоги до проєктованих суден, визначається структура і послідовність розробки розрахункової частини проєктів.

Методичні вказівки викладено українською і російською мовами. За характером поданого матеріалу та послідовністю викладення методичні вказівки призначаються передусім для студентів кораблебудівних факультетів технічних вищих навчальних закладів, але вони можуть бути корисними також студентам інших спеціальностей.

В первой части методических указаний поясняются основные теоретические и методологические вопросы дисциплины "Проектирование судов", которые помогут студентам специальности "Корабли и океанотехника" в выполнении курсовых и дипломных проектов транспортных судов. Приводятся также общие требования к проектируемым судам, определяется структура и последовательность разработки расчетной части проектов.

Методические указания изложены на украинском и русском языках. По характеру поданного материала и последовательности изложения они предназначены прежде всего для студентов кораблестроительных факультетов технических высших учебных заведений, но они могут быть полезными также студентам других специальностей.

УДК 629.12 011.22

ББК 39.42-11

© О.І. Кротов, С.Ф.Ільїн, Я.А.Клева. 2009

## **ПЕРЕДМОВА**

В методичних вказівках (МВ), які видаються у двох частинах, викладено обсяг відомостей, необхідний для засвоєння матеріалу з дисципліни "Проектування суден" та розробки курсових і дипломних проектів основних типів суден морського транспортного флоту.

У першій частині МВ вказівок пояснюються основні теоретичні і методологічні питання з проектування суден, описуються загальні вимоги до проектуваних суден, визначається структура і послідовність розробки розрахункової частини курсових і дипломних проектів.

У другій частині МВ наводяться вимоги Правил Регістру, Міжнародних конвенцій та інших документів до окремих якостей суден і графічної частини проектів, а також необхідні проектні та довідкові матеріали.

До МВ увійшли тільки необхідні теоретичні і довідкові матеріали, однак посилання на перелік спеціальної літератури дозволить студентам підібрати відповідні видання і отримати додаткові відомості з окремих питань.

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

В методических указаниях (МУ), которые выдаются в двух частях, изложен объем сведений, который необходим для усвоения материала по дисциплине "Проектирование судов" и разработки курсовых и дипломных проектов основных типов судов морского транспортного флота.

В первой части МУ поясняются основные теоретические и методологические вопросы проектирования судов, описываются общие требования к проектируемым судам, определяется структура и последовательность разработки расчетной части проектов.

Во второй части МУ приводятся требования Правил Регистра, Международных конвенций и других документов к отдельным качествам судов и графической части проектов, а также необходимые проектные и справочные материалы.

В МУ вошли только необходимые теоретические и справочные материалы, однако ссылка на перечень специальной литературы позволит студентам подобрать соответствующие издания и получить дополнительные сведения по отдельным вопросам.

## ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ ТА ПОЗНАЧЕННЯ

**Основні скорочення**

|      |                                           |
|------|-------------------------------------------|
| МВ   | – методичні вказівки                      |
| ВЛ   | – ватерлінія                              |
| МШ   | – мідель-шпангоут                         |
| АКТ  | – архітектурно-конструктивний тип         |
| ЕУ   | – енергетична установка                   |
| ГД   | – головний двигун                         |
| ТЧ   | – теоретичне креслення                    |
| УСМВ | – універсальне судно для масових вантажів |
| УСВ  | – універсальне суховантажне судно         |
| ЦВ   | – центр величини                          |
| ЦМ   | – центр мас                               |

**Основні позначення**

|            |                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| $\mu_v$    | – питомий навантажувальний об'єм вантажу, $\text{м}^3/\text{т}$ |
| $\gamma_v$ | – питома вага вантажу, $\text{т}/\text{м}^3$                    |
| $P_v$      | – вантажопідйомність, т                                         |
| $N_d$      | – потужність головного двигуна, кВт                             |
| $v_v$      | – швидкість ходу на випробуваннях, вуз                          |
| $v_e$      | – швидкість ходу експлуатаційна, вуз                            |
| $R$        | – дальність плавання, милі                                      |
| $L_p$      | – довжина між перпендикулярами, м                               |
| $B$        | – ширина, м                                                     |
| $H$        | – висота борту, м                                               |
| $T$        | – осадка, м                                                     |
| $H/T$      | – відношення висоти борту до осадки                             |
| $B/T$      | – відношення ширини до осадки                                   |
| $L/B$      | – відношення довжини до ширини                                  |
| $C_b$      | – коефіцієнт загальної повноти                                  |
| $C_p$      | – коефіцієнт поздовжньої повноти                                |
| $C_w$      | – коефіцієнт повноти площі вантажної ВЛ                         |
| $C_m$      | – коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута                     |
| $l$        | – відносна довжина                                              |
| $Fr$       | – число Фруда                                                   |
| $x_c$      | – абсциса центра величини, м                                    |
| $x_g$      | – абсциса центра маси судна, м                                  |

- $C$  – адміралтейський коефіцієнт  
 $P_k$  – маса корпусу, т  
 $P_o$  – маса обладнання, т  
 $P_y$  – маса енергетичної установки, т  
 $P_{\Pi}$  – маса палива, води і мастила, т  
 $P_{\text{пос}}$  – маса постачання, т  
 $P_3$  – маса запасу водотоннажності, т  
 $P_6$  – маса баласту, т  
 $D$  – водотоннажність, т  
 $DW$  – дедвейт, т  
 $a_k$  – частковий коефіцієнт маси корпусу  
 $a_{\text{пос}}$  – частковий коефіцієнт маси постачання  
 $a_3$  – частковий коефіцієнт маси запасу водотоннажності  
 $a_6$  – частковий коефіцієнт маси баласту  
 $q_o$  – вимірник маси обладнання  
 $q_y$  – вимірник маси ЕУ  
 $k_m$  – коефіцієнт морського запасу  
 $k_{\Pi}$  – коефіцієнт збільшення запасів палива  
 $q_{\Pi}$  – питома витрати палива, т/(кВт·год)  
 $\rho_v$  – питома вага води, т/м<sup>3</sup>  
 $F_{\min}$  – мінімальний надводний борт, мм  
 $F_0$  – базисний надводний борт, мм

## ВСТУП

### Мета і завдання курсового і дипломного проектування

*Метою курсового проектування* студентів кораблебудівних спеціальностей, які навчаються на освітньо-професійних програмах бакалаврів, є закріплення теоретичних знань і отримання початкових навичок використання основних методів проектування.

*Основним завданням* студентів, що виконують курсовий проект судна, є використання отриманих з різних дисциплін знань для досягнення єдиної кінцевої мети – створення *навчального проекту судна*. Студенти повинні закріпити лекційний матеріал про вплив елементів судна на його основні якості, а також отримати практичну підготовку в області методів і прийомів визначення основних елементів судна на початковій стадії проектування.

Крім того, студенти при виконанні курсового проекту повинні освоїти сучасні комп'ютерні програми, які використовуються при розробці проекту судна на початкових етапах проектування, з метою застосування їх в подальшій роботі над дипломним проектом і в майбутній інженерній діяльності.

Процес розробки *дипломного проекту* судна, який не відрізняється по суті від розробки проекту початкового наближення у виробничих умовах, має дуже важливе значення в процесі підготовки інженера – кораблебудівника.

Студенти до моменту виконання дипломного проекту вивчили основні дисципліни своєї спеціальності, вони знають, з яких систем і підсистем складається сучасне судно, їм відомі закони, яким відповідає плавання судна у морі в будь-яких умовах; вони вивчили різноманітні закони і методи, за допомогою яких вирішуються питання експлуатації судна і його проектування. Але вони не мали можливості у повній мірі використати ці закони, теорії та методи при вирішенні найбільш складної задачі кораблебудування – проектування судна.

Розробляючи *дипломний проект*, студенту прийдеється вирішувати не абстраговані задачі з теорії корабля або з будь-якої іншої навчальної дисципліни, а приймати певні рішення, робити вибір окремих конструкцій на основі виконаних ним розрахунків, доповнених дослідженнями, які, можливо, навіть не передбачалися зазначеними навчальними дисциплінами. Прийняття рішень і вибір конструкцій, механізмів, пристроїв тощо повинні проводитися у відповідності з за-

гальною задачею, з загальною метою створення судна, яке відповідає завданню на проектування, Правилам Міжнародних конвенцій, Регістру, іншим нормативним документам.

Таким чином, *перед дипломником стоїть особливе завдання* – практичне, а не навчальне використання отриманих знань у процесі дипломного проектування. Крім того, перед ним стоять ще *додаткові завдання* – перевірити свої знання і уміння використовувати їх на практиці, роз'яснити собі незрозумілі місця, які мали місце, доповнити недостатні знання.

Для досягнення поставлених цілей і завдань в методичних вказівках наведені основні положення і залежності загальноприйнятої методики проектування суден, а також необхідний нормативний матеріал. При цьому основна увага приділяється тому, що в сучасних умовах особливо актуальним є використання в проектуванні суден програмних продуктів.

### **Послідовність виконання розрахункової частини проекту**

Розрахункова частина курсового проекту містить розрахунки з визначення основних елементів і характеристик спроектованого судна.

Слід зазначити, що терміни "характеристики" і "елементи" відносяться до одних і тих же техніко-експлуатаційних показників і параметрів судна. Це, насамперед, такі параметри, як характеристики завдання на розробку проекту (швидкість, дальність плавання, автономність, вантажопідйомність), а також величини, отримані в результаті проектування судна – водотоннажність, потужність двигунів, головні розміри та ін. Останні часто відносять до *елементів судна*. З великої кількості елементів виділяють *основні елементи* – *головні розміри і коефіцієнти теоретичного креслення*, які відіграють головну роль у забезпеченні ефективності експлуатації судна [5].

При описуванні конкретних суден термін "характеристики" застосовують до співвідношень головних розмірів, водотоннажності, згаданих вище характеристик завдання, чисельності екіпажа, класу Регістру, а також до кількісних показників якостей судна – остійності, ходовості, хитавиці, непотоплюваності, міцності та ін.

Визначення основних елементів і характеристик суден, що задовольняють усім поставленим вимогам, виконується *методом послідовних наближень*, оскільки вирішити цю задачу відразу в кінцевому вигляді неможливо. Це пояснюється тим, що не всі вимоги, що пред'являються до судна, можуть бути виражені аналітично, а залежності,

що є основою рівнянь, використовуваних при визначенні елементів проектного судна, носять наближений характер. Розміри судна, визначені по таких залежностях, мають бути уточнені на подальших етапах розробки проекту, наприклад, при розміщенні вантажу, формуванні схеми загального розташування.

У *першому наближенні* розраховується водотоннажність з рівняння мас, виражених у функції водотоннажності, а також визначаються характеристики форми корпусу і головні розміри (див. рисунок).

У *другому наближенні* уточнюється з використанням комп'ютерної програми потужність головного двигуна (ГД), складається і вирішується рівняння мас, виражених у функції головних розмірів, і знову визначається водотоннажність. Отримані нові значення головних розмірів уточнюються з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності, плавності хитамиці і Правил про вантажну марку.

У разі, якщо необхідне *коректування головних розмірів*, треба знову розрахувати потужність ГД, скласти рівняння мас і продовжити розрахунки у відповідності з блок-схемою, наведеною на рисунку.

У *третьому наближенні* за допомогою комп'ютерної програми розраховуються ординати теоретичного креслення (ТК), таблиця елементів ТК, проводиться перевірка остійності по Правилах Регістру [11]. У разі необхідності коректування головних розмірів знову здійснюється повернення до розрахунку потужності ГД.

Далі після проведення повторних розрахунків будується епюра ємності, проводиться уточнена перевірка вантажомісткості і удиферентування проектного судна. У разі незадоволення умов розміщення вантажу і удиферентування необхідно повернутися до другого наближення.

Після остаточного задоволення якостям проектного судна проводиться побудова креслень загального розташування.

Зміст курсового проекту і вимоги до його оформлення детально описуються в [8] і в другій частині МВ.

### **Вихідні дані**

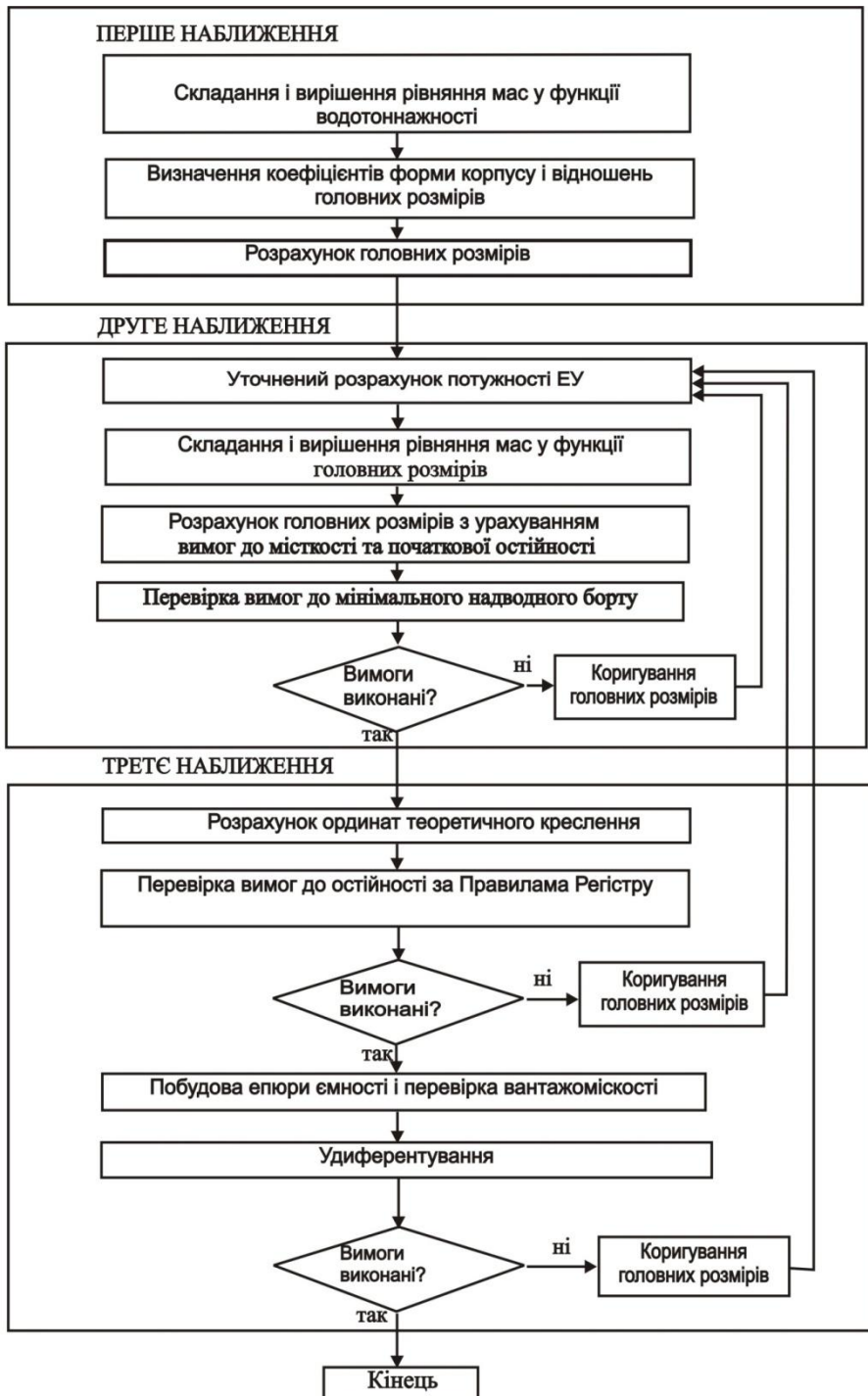
Розрахункову частину проекту слід починати з короткого опису типу проектного судна (призначення, архітектурно-конструктивний тип (АКТ)), підібрати і звести в таблицю дані по двох суднах-прототипах, однотипних з проектованим судном, з розподілом мас по розділах навантаження (табл.1). У разі використання матеріалів ескізного або технічного проекту судна-прототипу навантаження мас по укруп-



нених розділах компонується згідно [8]. У табл.1 наводяться також характеристики завдання на проектування і отримані елементи проекту.

**Таблиця 1. Основні технічні характеристики суден-прототипів і проектного судна**

| Дані по судну                                                                                      | Позначення                         | Прототипи |  | Проект |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------|--|--------|
| Тип судна                                                                                          | —                                  |           |  |        |
| Питомий вантажний об'єм, $\text{м}^3/\text{т}$ ,<br>або питома вага вантажу, $\text{т}/\text{м}^3$ | $\mu_{\text{в}}/\gamma_{\text{в}}$ |           |  |        |
| Вантажопідйомність, т                                                                              | $P_{\text{в}}$                     |           |  |        |
| Потужність головного двигуна, кВт                                                                  | $N_{\text{д}}$                     |           |  |        |
| Тип головного двигуна                                                                              | —                                  |           |  |        |
| Швидкість ходу на випробуваннях, вуз                                                               | $v_{\text{в}}$                     |           |  |        |
| Дальність плавання, милі                                                                           | $R$                                |           |  |        |
| Довжина між перпендикулярами, м                                                                    | $L_{\text{п}}$                     |           |  |        |
| Ширина, м                                                                                          | $B$                                |           |  |        |
| Висота борту, м                                                                                    | $H$                                |           |  |        |
| Осадка, м                                                                                          | $T$                                |           |  |        |
| Відношення висоти борту до осадки                                                                  | $H/T$                              |           |  |        |
| Відношення ширини до осадки                                                                        | $B/T$                              |           |  |        |
| Відношення довжини до ширини                                                                       | $L/B$                              |           |  |        |
| Коефіцієнт загальної повноти (по $L_{\text{п}}$ )                                                  | $C_b$                              |           |  |        |
| Коефіцієнт поздовжньої повноти                                                                     | $C_p$                              |           |  |        |
| Коефіцієнт повноти вантажної ВЛ                                                                    | $C_w$                              |           |  |        |
| Коефіцієнт повноти МШ                                                                              | $C_m$                              |           |  |        |
| Відносна довжина                                                                                   | $l$                                |           |  |        |
| Число Фруда                                                                                        | $Fr$                               |           |  |        |
| Адміралтейський коефіцієнт                                                                         | $C$                                |           |  |        |
| Маса корпусу, т                                                                                    | $P_{\text{к}}$                     |           |  |        |
| Маса обладнання, т                                                                                 | $P_{\text{о}}$                     |           |  |        |
| Маса енергетичної установки, т                                                                     | $P_{\text{у}}$                     |           |  |        |
| Маса палива, води, т                                                                               | $P_{\text{п}}$                     |           |  |        |
| Маса постачання, т                                                                                 | $P_{\text{пос}}$                   |           |  |        |
| Маса запасу водотоннажності, т                                                                     | $P_{\text{з}}$                     |           |  |        |
| Маса баласту, т                                                                                    | $P_{\text{б}}$                     |           |  |        |
| Водотоннажність, т                                                                                 | $D$                                |           |  |        |



**Рисунок. Послідовність виконання розрахункової частини проекту**

# 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТУ У ПЕРШОМУ НАБЛИЖЕННІ

## 1.1. Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності складається алгебраїчне рівняння мас виду [1,5,8]:

$$D = P_K + P_O + P_Y + P_{\Pi} + P_{\text{пос}} + P_3 + P_6 + P_B \quad (1)$$

де  $D$  – водотоннажність;  $P_K, P_O, P_Y, P_{\Pi}, P_{\text{пос}}, P_3, P_6, P_B$  – маси розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки (ЕУ), палива, води і мастила (далі палива), постачання, запасу водотоннажності, баласту і вантажу, що перевозиться, відповідно.

У табл. 2 наведені розрахункові формули для вимірників мас і мас розділів навантаження, що входять в рівняння (1). Усі розділи навантаження в цьому рівнянні виражаються через водотоннажність, яку потрібно визначити, зокрема маса ЕУ  $P_Y$  і палива  $P_{\Pi}$ . Останні дві складові рівняння мас визначаються зазвичай на даному етапі по адміралтейській формулі через потужність ГД:  $N_d = v^3 D^{2/3} / C$ , де  $C$  – адміралтейський коефіцієнт, що визначається по прототипу;  $D$  – водотоннажність, т;  $v$  – швидкість ходу судна, вуз. Величини, позначені у табл.2 рискою зверху, відносяться до прототипу.

У табл.2 в формулах для маси палива  $P_{\Pi}$  і маси ЕУ  $P_Y$  позначено:  $v_e$  – експлуатаційна швидкість, що визначається завданням на проектування або як  $v_e = v_B \cdot (0,5 \dots 1 \text{ вуз})$ , вуз;  $C_e$  – адміралтейський коефіцієнт, що відповідає швидкості  $v_e$ ;  $C_B$  – адміралтейський коефіцієнт, який відповідає швидкості ходу на випробуваннях  $v_B$ ;  $R$  – задана дальність плавання;  $k_M$  – коефіцієнт морського запасу, який приймається рівним  $1,15 \dots 1,25$ ;  $k_{\Pi}$  – коефіцієнт збільшення запасів палива на загальносуднові потреби (для ДВС  $k_{\Pi} = 1,15$ );  $q_{\Pi}$  – питомі витрати палива, т/(кВт·год), приймається по прототипу.

Після підстановки розрахункових формул для складових навантаження мас вираз (1) буде мати вигляд

$$D = a_K D + q_O D^{\frac{2}{3}} + q_Y D^{\frac{2}{3}} v_B^3 / C_B + q_{\Pi} k_M k_{\Pi} R D^{\frac{2}{3}} v_e^2 / C_e + a_{\text{пос}} D + a_3 D + a_6 D + P_B,$$

де  $a_{MK}, a_{\text{пос}}, a_{3B}, a_6$  – часткові коефіцієнти маси корпусу, постачання, запасу водотоннажності і баласту (приймаються по прототипу);  $q_O, q_Y$  – вимірник маси обладнання і вимірник маси ЕУ, відповідно, (приймаються по прототипу).

**Таблиця 2. Розрахунок складових навантаження мас у першому наближенні**

| Найменування розділу навантаження | Розрахункова формула вимірника маси розділу навантаження                              | Розрахункова формула маси розділу навантаження проекту |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Корпус                            | $a_k = \bar{P}_k / \bar{D}$                                                           | $P_k = a_k D$                                          |
| Обладнання                        | $q_o = \bar{P}_o / \bar{D}^{2/3}$                                                     | $P_o = q_o D^{2/3}$                                    |
| Енергетична установка             | $q_y = \bar{P}_y / \bar{N}_d$                                                         | $P_y = q_y N_d = q_y D^{2/3} v_B^3 / C_B$              |
| Паливо                            | $q_{\Pi} = \bar{P}_{\Pi} \bar{C}_e / (k_M k_{\Pi} \bar{D}^{2/3} \bar{v}_e^2 \bar{R})$ | $P_{\Pi} = q_{\Pi} k_M k_{\Pi} D^{2/3} v_e^2 R / C_e$  |
| Постачання                        | $a_{\text{пос}} = \bar{P}_{\Pi} / \bar{D}$                                            | $P_{\text{пос}} = a_{\text{пос}} D$                    |
| Запас водотоннажності             | $a_3 = \bar{P}_3 / \bar{D}$                                                           | $P_3 = a_3 D$                                          |
| Баласт                            | $a_6 = \bar{P}_6 / \bar{D}$                                                           | $P_6 = a_6 D$                                          |
| Вантаж                            | —                                                                                     | Задається                                              |

Виконавши всі необхідні підстановки в останнє рівняння, приведемо його до вигляду  $nD - mD^{2/3} = P_B$ , вирішимо відносно  $D$  будь-яким прийнятним способом [1,6,8] і матимемо водотоннажність першого наближення, яку позначимо як  $D_1$ .

Далі отримане значення водотоннажності необхідно розподілити по розділах навантаження мас з урахуванням виразів для їх визначення, наведених у табл.2. Перевіркою слугує виконання рівності:

$$D_1 = P_{k1} + P_{o1} + P_{y1} + P_{\Pi 1} + P_{\text{пос}1} + P_{31} + P_{61} + P_B,$$

де  $P_{i1}$  – розділи навантаження першого наближення.

## 1.2. Визначення характеристик форми корпусу

Отримавши значення водотоннажності, можна розрахувати головні розміри проекту судна. Спочатку визначаються характеристики форми корпусу. На даному етапі це будуть відносна довжина  $l$  і коефіцієнти повноти корпусу: коефіцієнт загальної повноти  $C_b$ , коефіцієнт повноти площі ВЛ  $C_w$ , коефіцієнт повноти площі МШ  $C_m$ , коефіцієнт поздовжньої повноти  $C_p$ .

Відносна довжина першого наближення  $l_1$  може бути визначена як [6,8]:

$$l_1 = \left( 2 + \frac{5}{\sqrt[3]{D_1/\rho_B}} \right) v_B^{1/3},$$

де  $\rho_B$  – питома вага води, т/м<sup>3</sup>.

Можна також скористатися формулами В.В.Ашика [1]:

для суховантажних суден –  $l_1 = 4,47 + 0,06v_B \pm 0,3$ ;

для танкерів –  $l_1 = 5,35 \pm 0,45$ .

Для накатних суден може бути застосована формула [7]:

$$l_1 = 4,28 + 0,07v_e \pm 0,33.$$

Далі очікувана довжина між перпендикулярами проекту визначається так:

$$L_o = l_1 (D_1/\rho_B)^{1/3}.$$

Знаючи  $L_o$ , можемо отримати число Фруда по формулі

$$Fr = \frac{0,514v_B}{\sqrt{gL_o}},$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>.

Коефіцієнт загальної повноти  $C_b$  визначається в залежності від числа Фруда. У даному випадку можна орієнтуватися на формули [1,5,8]:  $C_b = 1,09 - 1,68Fr$  – для УСВ і контейнерних суден;  $C_b = 1,05 - 1,40Fr$  – для танкерів і УСМВ;  $C_b = 1,05 - 1,48Fr$  – для накатних суден. Ці формули можна використовувати при числах Фруда  $Fr = 0,15 \dots 0,30$ .

Для танкерів і УСМВ сучасних обводів можна використовувати формулу [14]:

$$C_b = (1,7 \dots 2,0)(0,59 - Fr).$$

Можна також скористатися формулою А.М. Вашедченка, яка дає прийнятні результати для транспортних суден в широкому діапазоні чисел Фруда [6]:

$$C_b = 1 - \frac{0,48}{1 + 100 \exp(-24Fr)}.$$

Необхідно зазначити, що вибір остаточного значення коефіцієнта  $C_b$  для певного числа Фруда можливий тільки в результаті оптимізації проекту в цілому. На даному етапі розробки проекту можна приймати усереднені значення цього коефіцієнта, орієнтуючись на прототип.

Коефіцієнт поздовжньої повноти можна визначити як [14]:

$$C_p = 0,04 + 0,96 C_b,$$

а коефіцієнт повноти ВЛ по формулах [14]:

$$C_w = \begin{cases} 0,878C_p + 0,1733 & \text{при } C_p < 0,85 \\ 0,6 + C_p & \text{при } C_p \geq 0,85 \end{cases}.$$

Коефіцієнт повноти МШ визначається по відношенню:

$$C_m = C_b / C_p.$$

Враховуючи, що у транспортних суден зміна цього коефіцієнта є несуттєвою і вплив його незначний, він може прийматися також по прототипу.

Відносне значення абсциси центра величини (ЦВ) може бути визначене також по прототипу як:

$$\tilde{x}_c = \bar{x}_c / \bar{L}_\Pi,$$

де  $\bar{x}_c$  – абсциса ЦВ прототипу, м;  $\bar{L}_\Pi$  – довжина між перпендикулярами прототипу, м, або по наближеній залежності [14]:

$$\tilde{x}_c = \begin{cases} 0,17(C_b - 0,65) + 0,003 & \text{за наявності бульба} \\ 0,17(C_b - 0,65) & \text{для суден без бульба} \end{cases}.$$

Значення  $\tilde{x}_c$  можна визначити також на основі рекомендацій в [1,5].

Головні розміри проектного судна можна визначити, якщо відомі їх відношення: висоти борту  $H$  до осадки  $T$ , ширини  $B$  до осадки  $T$  і довжини  $L$  до ширини  $B$ . У першому наближенні ці відношення можна прийняти по прототипу:

$$(B/T)_1 = (\bar{B}/\bar{T}); (H/T)_1 = (\bar{H}/\bar{T}).$$

Відношення  $(L/B)$  проекту судна визначається з умови ходовості [6,8]:

$$(L/B)_1 = \sqrt{\frac{l_1^3 C_b k_B \rho_B}{(B/T)_1}}, \quad (2)$$

де  $k_B = 1,005 \dots 1,02$  – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи ТК частини корпусу (кілі, зовнішня обшивка, руль, гвинт).

Слід відзначити, що для транспортних суден відношення  $(L/B)$  повинно вибиратися не тільки з урахуванням вимог ходовості, але також з умов впливу його на масу корпусу, яка зменшується, як правило, при значеннях  $(L/B) < 6,0$ . Тому, визначивши відношення  $(L/B)$  за виразом (2), необхідно порівняти отримане значення з відповідним значенням прототипу і прийняти рішення.

### 1.3. Визначення головних розмірів

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$D_1 = k_B \rho_B C_b L_1 B_1 T_1 \quad (3)$$

Підставивши відношення головних розмірів в рівняння (3), отримаємо

$$D_1 = k_B \rho_B C_b (L/B)_1 B_1^3 (T/B)_1$$

і визначимо ширину судна як

$$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/T)_1}{k_B \rho_B C_b (L/B)_1}}.$$

Довжина, осадка і висота борту визначаються через співвідношення  $(L/B)_1$ ,  $(T/B)_1$  і  $(H/T)_1$  таким чином:  $L_1 = (L/B)_1 B_1$ ;  $T_1 = (T/B)_1 B_1$ ;  $H_1 = (H/T)_1 T_1$ .

Правильність рішення можна перевірити, якщо підставити отримані значення  $L_1$ ,  $T_1$ ,  $B_1$  в (3).

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТУ У ДРУГОМУ НАБЛИЖЕННІ

### 2.1. Уточнений розрахунок потужності головного двигуна. Схема загального розташування

Оскільки в рівнянні мас першого наближення потужність ГД визначалася наближено, у другому наближенні її значення необхідно уточнювати. Збільшення або зменшення значення потужності спричинить зміну маси палива і ЕУ і зрештою – водотоннажність. Ці зміни враховуються в рівнянні мас, складеному в другому наближенні.

Для уточнення значення потужності ГД  $N_d$  доцільно використовувати комп'ютерну програму, яка дозволяє отримати це значення по методу Холтропа [15].

На відміну від курсового проекту у дипломному проекті необхідно проводити уточнений розрахунок потужності ГД на основі результатів серійних модельних випробувань для визначеного типу судна [13].

Для вибору ГД по каталогу (дизельні установки) можна скористатися даними, наведеними у посібнику [8] і в другій частині МВ.

Далі знаходиться довжина машинного відділення або по відомій довжині ГД [5] або з використанням прототипу. Потім на основі прототипу проводиться первинне опрацювання схеми загального розташування проекту з метою визначення довжин трюмів, довжини форпіка, ахтерпіка і бака. Ці величини є початковими для задач наступного етапу.

## 2.2. Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності у другому наближенні необхідно використовувати рівняння мас, виражених у функції головних розмірів, в якому складові навантаження мас розраховуються по формулах, що дають більш точні результати [4,6,8,10]. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю  $P_k = q_k C_\delta^n LBH$ , а маса обладнання:  $P_o = q_o (LBH)^{2/3}$ . При визначенні маси енергетичної установки і маси палива використовується значення потужності ГД, прийняте по каталогу. Вимірник маси палива  $q_\pi$  також приймається по каталогу. Вирази для маси постачання  $P_{\text{пос}}$ , маси баласту  $P_6$  і маси запасу водотоннажності  $P_3$ , значення яких в навантаженні мас є незначними, доцільно залишити незмінними:  $P_{\text{пос}} = a_{\text{пос}} D$ ;  $P_6 = a_6 D$ ;  $P_3 = a_3 D$ .

Для того щоб виключити число невідомих в рівнянні мас і привести його до такого вигляду, щоб як і в першому наближенні його можна було б вирішити відносно  $D$ , використовуються наступні перетворення [6,8,10]:

$$P_k = q_k C_\delta^n LBH = q_k C_\delta^n LBH \frac{D}{\rho_b k_b C_b LBT} = D \left( q_k \frac{C_\delta^n H}{C_b T \rho_b k_b} \right);$$

$$P_o = q_o (LBH)^{2/3} = D^{2/3} \left( q_o \left( \frac{H}{T \rho_b k_b C_b} \right)^{2/3} \right).$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$D \left( 1 - q_k \frac{C_\delta^n H}{C_b T \rho_b k_b} - a_{\text{пос}} - a_6 - a_3 \right) = D^{2/3} \left( q_o \left( \frac{H}{T \rho_b k_b C_b} \right)^{2/3} \right) + q_y N_d + q_\pi k_m k_\pi N_d^e R / v_e + P_v. \quad (4)$$

У рівнянні (4) коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу  $C_\delta^n$  може бути визначений або по прототипу, або за допомогою емпіричної формули  $C_\delta^n = C_b (T/H) + 1,05 C_w (1 - (T/H))$ , а  $N_d^e$  позначає потужність ГД, що відповідає експлуатаційній швидкості  $v_e$ .

Значення відношення  $(H/T)$  береться за результатами першого наближення.

Розрахункові формули для значень вимірників мас наведені в табл.3.

Вирішивши рівняння мас, визначення головних розмірів проекту другого наближення і їх перевірку проводять відповідно до 1.3.



Розподіл навантаження мас по окремих складових проводиться в табл.3 з використанням виразів для них в (4).

Перевіркою служить виконання рівності:

$$D=P_{к2}+P_{o2}+P_{y2}+P_{п2}+P_{пос2}+P_{з2}+P_{б2}+P_{в2},$$

де  $P_{i2}$  – розділи навантаження другого наближення.

**Таблиця 3. Розрахунок складових навантаження мас у другому наближенні**

| Найменування розділу навантаження | Розрахункова формула вимірника маси розділу навантаження | Розрахункова формула маси розділу навантаження проекту |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Корпус                            | $q_k = \bar{P}_k / (C_\delta^n \bar{L} \bar{B} \bar{H})$ | $P_k = q_k C_\delta^n L B H$                           |
| Обладнання                        | $q_o = \bar{P}_o / (\bar{L} \bar{B} \bar{H})^{2/3}$      | $P_o = q_o (L B H)^{2/3}$                              |
| Енергетична установка             | $q_y = \bar{P}_y / \bar{N}_д$                            | $P_y = q_y N_д$                                        |
| Паливо                            | —                                                        | $P_п = q_п k_м k_п N_д^e R / v_e$                      |
| Постачання                        | $a_{пос} = \bar{P}_{пос} / \bar{D}$                      | $P_{пос} = a_{пос} D$                                  |
| Запас водотоннажності             | $a_з = \bar{P}_з / \bar{D}$                              | $P_з = a_з D$                                          |
| Баласт                            | $a_б = \bar{P}_б / \bar{D}$                              | $P_б = a_б D$                                          |
| Вантаж                            | —                                                        | Задається                                              |

### 2.3. Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності і плавності хитавиці

Як було зазначено в 1.2, головні розміри судна можна отримати по їх відношеннях. У другому наближенні необхідно уточнювати ці відношення виходячи з вимог до різних якостей судна.

Відношення висоти борту до осадки значною мірою впливає на об'єм вантажних приміщень, і в меншій – на непотоплюваність і остійність. При визначенні цього відношення в першому наближенні враховуватимемо тільки виконання умов вантажомісткості [1,6,8].

Відношення ширини судна до осадки визначається з рівняння остійності, яке встановлює залежність необхідної метацентричної висоти від головних розмірів і коефіцієнтів повноти [1,5,8].

### Визначення відношення висоти борту до осадки

Відношення  $(H/T)$  суховантажних суден може бути виражене залежністю [8]:

$$(H/T)_2 = (1,07\mu_b\eta_b + 0,16)k_e, \quad (5)$$

де  $\mu_b$  – питомий навантажувальний об'єм вантажу, вказаний в завданні на проектування, м<sup>3</sup>/т;  $\eta_b = \bar{P}_b/\bar{D}$  – коефіцієнт утилізації водотоннажності по вантажопідйомності, який приймається по прототипу;  $k_e$  – поправочний (екстраполяційний) коефіцієнт, визначення якого пов'язане з використанням як екстраполятора значення відношення висоти борту до осадки прототипу:

$$k_e = (\bar{H}/\bar{T})/(\bar{H}/\bar{T})_p, \quad (6)$$

де  $(\bar{H}/\bar{T})$  – фактичне відношення висоти борту до осадки прототипу;  $(\bar{H}/\bar{T})_p$  – те ж відношення для прототипу, але розраховане по формулі (5) при  $k_e=1,0$ .

Такий прийом з використанням коефіцієнта  $k_e$  дозволяє наблизити отриманий результат до значення відношення  $(H/T)$  реального прототипу.

Рівняння (5) в теорії проектування суден називається *рівнянням вантажомісткості*.

Інші види рівнянь вантажомісткості можна знайти в підручнику [1].

Рівняння вантажомісткості *танкера* має вигляд [8]:

$$(H/T)_2 = \left( \frac{1,08\eta_b}{(L_T/L_{\Pi})\gamma_b} + \eta_6 \right) \frac{C_b}{\delta_T} k_e, \quad (7)$$

де  $L_T$  – довжина танкової (вантажної) частини корпусу, м;  $L_{\Pi}$  – довжина судна між перпендикулярами, м, (відношення  $(L_T/L_{\Pi})$  береться по прототипу);  $\gamma_b$  – питома вага рідкого вантажу, т/м<sup>3</sup>;  $\delta_T = \bar{W}_b/(\bar{L}_T \bar{B} \bar{H})$  – коефіцієнт повноти танкової частини, який визначається по прототипу;  $\bar{W}_b$  – об'єм вантажних танків, розташованих на довжині  $\bar{L}_T$ , м<sup>3</sup>;  $\eta_6 = \bar{P}_6/\bar{D}$  – коефіцієнт баластування (для його визначення використовується прототип);  $\bar{P}_6$  – маса баласту прототипу, т;  $\bar{D}$  – водотоннажність прототипу.

У вираз (7) також вводиться коефіцієнт екстраполяції  $k_e$ , який розраховується по формулі (6).

У більшості *спеціалізованих контейнерних суден* відношення висоти борту до осадки знаходиться у межах  $(H/T)_2 = 1,6 \dots 1,85$ , що є характерним для суден з надмірним надводним бортом [2,3,6]. Ці суд-

на повинні мати розміри, які відповідають звичайним суднам, що перевозять генеральні вантажі з питомою навантажувальною кубатурою  $\mu_v = 2,2 \dots 2,4 \text{ м}^3/\text{т}$ . Тому для визначення  $(H/T)_2$  контейнерних суден можна використати рівняння (5), порівняти отримане значення з прототипом і, якщо необхідно, відкоригувати його.

Оскільки питома навантажувальна кубатура  $\mu_v$  накатних суден складає біля  $4 \text{ м}^3/\text{т}$ , значення відношення висоти борту до осадки цих суден знаходиться в межах  $(H/T)_2 = 2,2 \dots 2,6$ . Це відношення можна прийняти, скориставшись наступними залежностями [7]:

$$(H/T)_2 = 2,30 + 0,41 \cdot 10^{-6} DW \pm 0,20$$

$$\text{або } (H/T)_2 = 2,025 + 0,203 \cdot 10^{-5} DW \pm 0,208,$$

де  $DW$  — дедвейт проекту, т.

### Визначення відношення ширини до осадки

Для уточнення значення відношення  $(B/T)$ , прийнятого в першому наближенні по прототипу, використовується умова початкової остійності [1,5,8]

$$(h/B) = \psi_p(B/T) + \psi_c(T/B) - \zeta_g(H/T)(T/B), \quad (8)$$

де  $(h/B)$  — відносна метацентрична висота, що є функцією розмірів, коефіцієнтів повноти і інших параметрів, яка приймається рівною деякій величині з діапазону допустимих значень  $[(h/B)_{\min}, (h/B)_{\max}]$ ,  $\zeta_g = \bar{z}_g / \bar{H}$  — відносна апліката ЦМ судна, визначається по прототипу.

Інші параметри у виразі (8) для відносної метацентричної висоти визначаються по формулах:

$$\begin{aligned} \psi_p &= \frac{k_s C_w^2}{12 C_b}; \quad k_s = \begin{cases} 1,06 \pm 0,05 & \text{для } S - \text{подібних ВЛ} \\ 1,03 \pm 0,05 & \text{для випуклих ВЛ} \end{cases}; \quad \psi_c \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{C_w}{C_b} \right)^{1/2}. \end{aligned}$$

Якщо задати величину  $(h/B)$ , можна отримати квадратне рівняння, вирішене відносно  $(B/T)$  у вигляді:

$$(B/T) = \frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}, \quad (9)$$

де  $a = (h/B) / \psi_p$ ;  $b = (\psi_c - \zeta_g(H/T)) / \psi_p$ ; значення  $(H/T)$  може бути обчислене за формулою (5) або (7) відповідно.

Відносна метацентрична висота ( $h/B$ ) може бути призначена по прототипу, але тільки при повних і достовірних даних по навантаженню мас, параметрах хитавиці і аварійної остійності.

Враховуючи практику проектування і експлуатації суден, для яких задовольняється аварійна остійність і забезпечується плавність хитавиці, відносна метацентрична висота може набувати значення:

для суховантажних суден:  $0,03 \leq (h/B) \leq 0,05$ ;

для танкерів, балкерів:  $0,08 \leq (h/B) \leq 0,15$ .

Для всіх видів суховантажних суден довжиною більше 15 м ( $h/B$ ) в першому наближенні можна визначати також по модифікованій формулі Нідермайера

$$(h/B) = 0,06 - \frac{9600}{B_0^{6-0,06B_0}},$$

де  $B_0$  – очікувана ширина проекту, яку можна визначати по ширині прототипу:  $B_0 = \bar{B}(D_1/\bar{D})$ .

Відношення ( $B/T$ ) накатних суден можна приймати по формулі [7]:

$$(B/T)_2 = 3,23 - 0,43 \cdot 10^{-4} DW + 1,49 \cdot 10^{-9} DW \pm 0,26.$$

Рівняння (9) використовується для обмеження так званого "нижнього" значення відношення ( $B/T$ ) проєктованого судна. Крім того, це відношення повинне відповідати ще одній умові, що визначає плавну хитавицю на хвилюванні. При цьому значення ( $B/T$ ) обмежується "зверху". Для цього можна скористатися відомою формулою Ховгарда ("капітанською" формулою):

$$(h/B)_{\max} \leq \frac{c_\tau^2 B_0}{[\tau]^2},$$

де  $[\tau]$  – допустимий період бортової хитавиці, який відповідно до Правил Регістру [11] має бути не менше ніж 12 с;  $c_\tau$  – коефіцієнт впливу моменту інерції маси судна на період його хитавиці (для транспортних суден його можна прийняти як  $0,74 \leq c_\tau \leq 0,84$ ). Значення  $(h/B)_{\max}$  необхідно підставити в (9) і отримати обмежене зверху значення  $(B/T)_{\max}$ . Це значення порівнюється з отриманим раніше по формулі (9) і у разі, коли воно виявиться меншим, приймається  $(B/T)_2 = (B/T)_{\max}$ .

Якщо уточнені значення відношень  $(H/T)_2$  і  $(B/T)_2$  відрізняються від отриманих в першому наближенні, необхідно знову виконувати розрахунки головних розмірів по 1.3, уточнювати значення по-

тужності ГД, визначати водотоннажність судна, складові навантаження мас (2.1, 2.2) та нові значення головних розмірів<sup>1</sup>.

#### **2.4. Урахування вимог Правил про вантажну марку до величини мінімального надводного борту**

Визначене в п.2.3 значення висоти борту повинно відповідати Правилам про вантажну марку морських суден [12]. Правила на основі вимог Міжнародної конвенції про вантажну марку 1966 р. визначають порядок і умови розрахунку *величини мінімального надводного борту*  $F_{\min}$ .

Для обчислення величини мінімального надводного борту в Правилах судна розділяються на типи *A* і *B*. Судно *типу A* – це судно, яке спроектоване для перевезення тільки рідких вантажів наливом. Всі судна, які не відносяться до суден типу *A*, розглядаються як судна *типу B*.

Визначення величини мінімального надводного борту  $F_{\min}$  складається з двох етапів. Спочатку по таблицях в Правилах визначається *базисний надводний борт*  $F_0$  залежно від типу і довжини судна. Після цього вводяться поправки до  $F_0$ , що враховують відхилення характеристик проєктованого судна від аналогічних характеристик стандартного судна, для якого наведені табличні значення  $F_0$ .

*Стандартне (базове) судно* має наступні характеристики: коефіцієнт загальної повноти  $C_b$ , відповідний розрахунковій осадці  $T_p = 0,85H$ , рівний 0,68; судно гладкопалубне, тобто без надбудов і ящиків; висота борту  $H = L/15$ ; сидлуватість верхньої палуби стандартна; для суден типу *B* передбачається, що закриття люків сталеве, непроникне при дії моря, забезпечене спеціальними прокладками ущільнювачів і пристроями для задраювання.

Введення Правилами поправок до  $F_0$  на відступ від зазначених характеристик забезпечує у проєктованого судна такий же відносний запас плавучості і аналогічний ступінь захищеності від попадання води всередину корпусу.

Величина мінімального надводного борту  $F_{\min}$  визначається як алгебраїчна сума базисного надводного борту  $F_0$  і поправок до нього:

$$F_{\min} = F_0 k_1 + k_2 - k_3 \pm k_4 + k_5,$$

<sup>1</sup> При цьому уточнення відношень головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, остійності та плавності хитаючи повторно не проводиться

де поправки:  $k_1$  – на коефіцієнт загальної повноти;  $k_2$  – на розрахункову висоту борту;  $k_3$  – на надбудови і ящики;  $k_4$  – на відхилення від стандартної сідлуватості;  $k_5$  – для суден типу *B* довжиною менше 100 м.

Базисний надводний борт  $F_0$  для суден необмеженого району плавання визначається по таблицях Правил для суден типу *A* і типу *B* залежно від їх довжини і дозволеного району плавання. Таблиці складені для суден із стандартною сідлуватістю;  $C_b = 0,68$  для осадки  $T = 0,85H$ ;  $(L/H) = 15$  і без надбудов.

Розрахунок базисного надводного борту і поправок до нього проводиться у відповідності з [4,12] а необхідний довідковий матеріал наводиться у другій частині МВ.

Таким чином, висота борту з урахуванням Правил про вантажну марку визначиться як  $H_{\text{вм}} = T + F_{\text{мін}}$ . Це значення порівнюється з отриманим з умови місткості в п.2.3 значенням висоти борту і приймається більше з них. Якщо  $H_{\text{вм}} > H$ , необхідно визначити водотоннажність судна з використанням уточненого значення  $(H/T)$  і нові головні розміри, тобто знову повернутися до схеми проведення розрахунків, описаної в кінці п.2.3.

## **2.5. Розрахунок ординат теоретичного креслення, перевірка остійності по Правилах Регістру**

Теоретичне креслення, яке зображує поверхню судна і найбільш повно характеризує його форму, проектується на основі визначених вище головних розмірів і характеристик форми, насамперед, коефіцієнтів повноти форми корпусу.

Для розрахунку ординат ТК можна застосувати інтерполяційний метод побудови ТК В.В. Ашика [1,9]. Для цього необхідно використовувати таблиці ординат ТК суховантажних суден, танкерів і балкерів, контейнерних і накатних суден для більшого і меншого значень в характерних для цих суден діапазонах коефіцієнтів загальної повноти. Ці таблиці наводяться у другій частині МВ.

В середовищі Excel можна розрахувати ординати ТК проектного судна, а також за допомогою будь-якої програми за вибором таблицю елементів плавучості і початкової остійності та таблицю плечей діаграми статичної остійності. З їх допомогою проводиться перевірка вимог до початкової остійності, параметрів діаграми статичної остійності і критерію погоди відповідно до вимог Правил Регістру [11]. Детальний опис зазначених наводиться у другій частині МВ.

У разі, коли вимоги не виконуються, слід змінити висоту борту  $H$

або ширину  $B$ , провести уточнений розрахунок потужності ГД і далі поступати, як показано на блок-схемі рисунку. При правильно вибраних співвідношеннях головних розмірів зазвичай двох наближень буває достатньо.

Якщо вимоги по остійності виконуються, слід вважати головні розміри остаточними і приступати до викреслювання ТК ([8], друга частина МВ).

### 3. УДИФЕРЕНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Наступним важливим етапом розробки проекту є удиферентування – процес, пов'язаний з таким розподілом змінних в процесі експлуатації статей навантаження (вантаж, паливо, постачання, баласт, якщо він приймається), щоб судно при розрахунковій осадці не мало крену і диференту. При цьому його центр мас (ЦМ) і ЦВ повинні бути розташовані на одній вертикалі. До цього моменту положення ЦВ призначене так, щоб опір води руху судна наближався до мінімально можливого і ТК судна вже розроблене.

Приведення ЦМ і ЦВ на одну вертикаль здійснюється, як правило, переміщенням вказаних вище статей навантаження і лише в крайньому випадку за рахунок збільшення раніше прийнятої довжини судна з відповідною зміною його елементів і коректуванням ТК.

Удиферентування, пов'язане з подібним переміщенням, можна розбити на наступні етапи, які виконуються відповідно до [4,8]:

- розстановка перебірок на схемі поздовжнього розрізу судна;
- побудова епюри ємності;
- визначення абсцис центрів мас складових навантаження;
- перевірка вантажомісткості;
- визначення диференту при прийнятій розстановці перебірок і розподілі статей навантаження мас;
- переміщення у випадку недопустимого диференту окремих статей навантаження і перебірок з метою приведення ЦМ судна на одну вертикаль з ЦВ.

Викладення матеріалу з розробки схеми поздовжнього розрізу судна, побудови епюри ємності, визначенню абсцис центрів ваги складових навантаження мас, перевірці вантажомісткості наводиться у другій частині МВ.

Якщо судно удиферентоване, то виконується умова:

$$x_g = x_c, \quad (10)$$

де  $x_g$  і  $x_c$  – абсциси ЦМ и ЦВ проектованого судна відповідно.

Якщо вказана умова не виконується, то судно буде мати диферент:

$$\Delta T = D(x_g - x_c) / M \text{ см.} \quad (11)$$

У формулі (11)  $M$  – момент, який диферентує судно на 1 см:

$$M = DH / 100 / L,$$

де  $H$  – поздовжня метацентрична висота, узята по кривих ТК або обчислювана за формулою Фан-дер-Фліта

$$H \sim R = \frac{1}{k_1} \frac{C_w^2}{C_b} \frac{L^2}{T};$$

$$k_1 = 12C_w (3 - 2C_w).$$

Якщо  $\Delta T < L / 2000$  то судно вважається удиферентованим. Інакше необхідно виконати процес удиферентування.

Спосіб удиферентування багато в чому залежить від величини диференту при прийнятому розподілі складових навантаження. Якщо, наприклад, диферент невеликий (10...15 см), то він усувається переміщенням по судну частини палива. Переміщенням всього запасу палива можна виправити і значно більший диферент.

Величина переміщення ЦМ палива визначається по формулі

$$\Delta x_{\pi} = D(x_g - x_c) / P_{\pi}.$$

Якщо переміщенням палива удиферентувати судно не вдається, то удаються до переміщення машинного відділення і надбудови.



## ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

### Основные сокращения

|      |                                           |
|------|-------------------------------------------|
| МУ   | – методические указания                   |
| ВЛ   | – ватерлиния                              |
| МШ   | – мидель-шпангоут                         |
| АКТ  | – архитектурно-конструктивный тип         |
| ЭУ   | – энергетическая установка                |
| ГД   | – главный двигатель                       |
| ТЧ   | – теоретический чертеж                    |
| УСМГ | – универсальное судно для массовых грузов |
| УСГ  | – универсальное сухогрузное судно         |
| ЦВ   | – центр величины                          |
| ЦМ   | – центр масс                              |

### Основные обозначения

|            |                                                       |
|------------|-------------------------------------------------------|
| $\mu_r$    | – удельный погрузочный объем груза, м <sup>3</sup> /т |
| $\gamma_r$ | – удельный вес груза, т/м <sup>3</sup>                |
| $P_r$      | – грузоподъемность, т                                 |
| $N_d$      | – мощность главного двигателя, кВт                    |
| $v_{и}$    | – скорость хода на испытаниях, уз                     |
| $v_{э}$    | – скорость хода эксплуатационная, уз                  |
| $R$        | – дальность плавания, мили                            |
| $L_{п}$    | – длина между перпендикулярами, м                     |
| $B$        | – ширина, м                                           |
| $H$        | – высота борта, м                                     |
| $T$        | – осадка, м                                           |
| $H/T$      | – отношение высоты борта к осадке                     |
| $B/T$      | – отношение ширины к осадке                           |
| $L/B$      | – отношение длины к ширине                            |
| $C_b$      | – коэффициент общей полноты                           |
| $C_p$      | – коэффициент продольной полноты                      |
| $C_w$      | – коэффициент полноты площади грузовой ВЛ             |
| $C_m$      | – коэффициент полноты площади МШ                      |
| $l$        | – относительная длина                                 |
| $Fr$       | – число Фруда                                         |
| $x_c$      | – абсцисса центра величины, м                         |
| $x_g$      | – абсцисса центра массы судна, м                      |

|           |                                                   |
|-----------|---------------------------------------------------|
| $C$       | – адмиралтейский коэффициент                      |
| $P_k$     | – масса корпуса, т                                |
| $P_o$     | – масса оборудования, т                           |
| $P_y$     | – масса энергетической установки, т               |
| $P_T$     | – масса топлива, воды и масла, т                  |
| $P_c$     | – масса снабжения, т                              |
| $P_3$     | – масса запаса водоизмещения, т                   |
| $P_6$     | – масса балласта, т                               |
| $D$       | – водоизмещение, т                                |
| $DW$      | – дедвейт, т                                      |
| $a_k$     | – долевого коэффициент массы корпуса              |
| $a_c$     | – долевого коэффициент массы снабжения            |
| $a_3$     | – долевого коэффициент массы запаса водоизмещения |
| $a_6$     | – долевого коэффициент массы балласта             |
| $q_o$     | – измеритель массы оборудования                   |
| $q_y$     | – измеритель массы энергетической установки       |
| $k_m$     | – коэффициент морского запаса                     |
| $k_T$     | – коэффициент увеличения запасов топлива          |
| $q_T$     | – удельный расход топлива, т/(кВт·ч)              |
| $\rho_v$  | – удельный вес воды, т/м <sup>3</sup>             |
| $F_{min}$ | – минимальный надводный борт, мм                  |
| $F_0$     | – базисный надводный борт, мм                     |

## ВВЕДЕНИЕ

### **Цель и задачи курсового и дипломного проектирования**

*Целью курсового проектирования* студентов кораблестроительных специальностей, которые учатся по образовательно-профессиональным программам бакалавров, есть закрепление теоретических знаний и получения начальных навыков использования основных методов проектирования.

*Основной задачей* студентов, выполняющих курсовой проект судна, является использование полученных по различным дисциплинам знаний для достижения единой конечной цели – создания *учебного проекта судна*. Студенты должны закрепить лекционный материал о влиянии элементов судна на его основные качества, а также получить практическую подготовку в области методов и приемов определения основных элементов судна на начальной стадии проектирования.

Кроме того, студенты при выполнении курсового проекта должны освоить современные компьютерные программы, используемые при разработке проекта судна на начальных этапах проектирования, с целью применения их в дальнейшей работе над дипломным проектом и в будущей инженерной деятельности.

Процесс разработки *дипломного проекта* судна, который не отличается по сути от разработки проекта начального приближения в производственных условиях, имеет очень важное значение в процессе подготовки инженера – кораблестроителя.

Студенты к моменту выполнения дипломного проекта изучили основные дисциплины своей специальности, они знают, из каких систем и подсистем состоит современное судно, им известны законы, которым отвечает плавание судна в море в каких-либо условиях; они выучили различные законы и методы, с помощью которых решаются вопросы эксплуатации судна и его проектирования. Но они не имели возможности в полной мере использовать эти законы, теории и методы при решении наиболее сложной задачи кораблестроения – проектирования судна или корабля.

Разрабатывая *дипломный проект*, студенту придется решать не абстрагированные задачи по теории корабля или какой-либо другой учебной дисциплины, а принимать определенные решения, осуществлять выбор отдельных конструкций на основе проведенных им расчетов, дополненных исследованиями, которые, возможно, и не предусматривались указанными учебными дисциплинами. Принятие решений и выбор

конструкций, механизмов, устройств и др. должны проводиться в соответствии с общей задачей, с общей целью создания судна, которое отвечает заданию на проектирование, Правилам Международных конвенций, Регистра, другим нормативным документам.

Таким образом, *перед дипломником стоит особенная задача* – практическое, а не учебное использование полученных знаний в процессе дипломного проектирования. Кроме того, перед ним стоят еще *дополнительные задачи* – проверить свои знания и умение использовать их на практике, разъяснить себе непонятные места, которые имели место, дополнить недостающие знания.

Для достижения поставленных целей и задач в настоящих методических указаниях приведены основные положения и зависимости общепринятой методики проектирования судов, а также необходимый нормативный материал. При этом основное внимание обращено на то, что в современных условиях особенно актуальным является использование в проектировании судов программных продуктов.

### **Последовательность выполнения расчетной части проекта**

Расчетная часть курсового и дипломного проекта содержит расчеты по определению основных элементов и характеристик проектируемого судна.

Следует отметить, что термины "характеристики" и "элементы" относятся к одним и тем же технико-эксплуатационным показателям и параметрам судна. Это, в первую очередь, такие параметры, как характеристики задания на разработку проекта (скорость, дальность плавания, автономность, грузоподъемность), а также величины, полученные в результате проектирования судна – водоизмещение, мощность двигателей, главные размерения и др. Последние зачастую относят к *элементам судна*. Из большого числа элементов выделяют *основные элементы* – *главные размерения и коэффициенты теоретического чертежа*, которые играют главную роль в обеспечении эффективности эксплуатации судна [5].

При описании конкретных судов термин "характеристики" применяют к соотношениям главных размерений, водоизмещению, упомянутым выше характеристикам задания, численности экипажа, классу Регистра, а также к количественным показателям качеств судна – остойчивости, ходкости, качки, непотопляемости, прочности и др.

Определение основных элементов и характеристик судов, удовлетворяющих всем поставленным требованиям, выполняется *методом последовательных приближений*, поскольку решить эту задачу сразу в ко-

нечном виде невозможно. Это объясняется тем, что не все требования, предъявляемые к судну, могут быть выражены аналитически, а зависимости, являющиеся основой уравнений, используемых при определении элементов проектируемого судна, носят приближенный характер. Размеры судна, определенные по таким зависимостям, должны быть уточнены на последующих этапах разработки проекта, например, при размещении груза, формировании схемы общего расположения.

В *первом приближении* рассчитывается водоизмещение из уравнения масс, выраженных в функции водоизмещения, а также определяют характеристики формы корпуса и главные размерения (см. рисунок).

Во *втором приближении* с использованием компьютерной программы уточняется мощность главного двигателя (ГД), составляется и решается уравнение масс, выраженных в функции главных размерений, и снова определяется водоизмещение. Полученные новые значения главных размерений уточняются с учетом требований к вместимости, начальной остойчивости, плавности качки и Правил о грузовой марке.

В случае, когда необходима *корректировка главных размерений*, следует вновь рассчитать мощность ГД, составить уравнение масс и продолжить расчеты в соответствии с блок-схемой, приведенной на рисунке.

В *третьем приближении* с помощью компьютерной программы рассчитываются ординаты теоретического чертежа (ТЧ), таблица элементов ТЧ, проводится проверка остойчивости по Правилам Регистра [11]. При необходимости корректировки главных размерений вновь осуществляется возврат к расчету мощности ГД.

Далее после проведения повторных расчетов строится эпюра емкости, производится уточненная проверка грузовместимости и удифферентовка проектируемого судна. В случае неудовлетворения условий размещения груза и удифферентовки необходимо вновь откорректировать главные размерения и вернуться во второе приближение.

После окончательного удовлетворения качествам проектируемого судна производится построение чертежей общего расположения.

Содержание курсового проекта и требования к его оформлению подробно описываются в [8] и во второй части МУ.

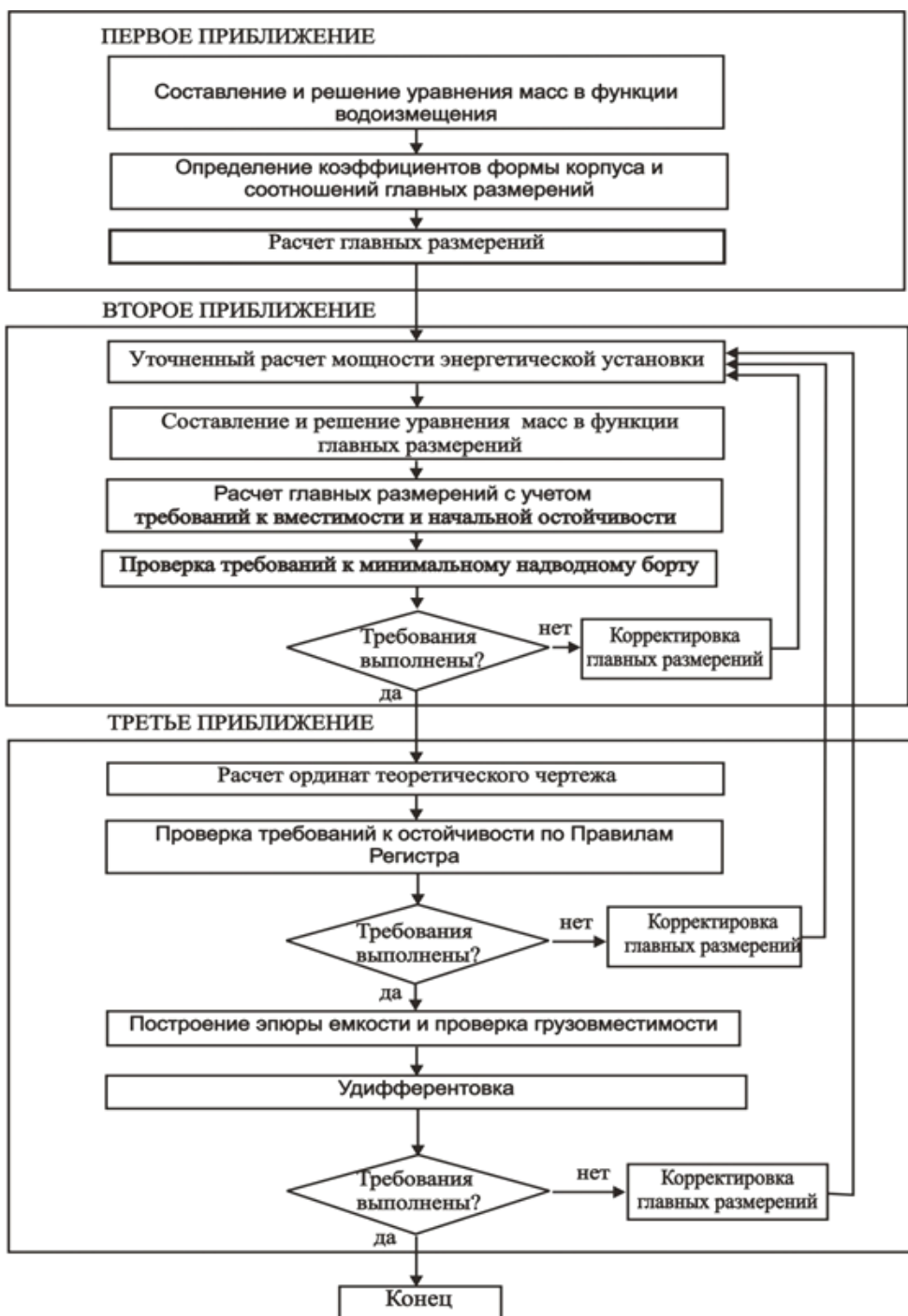
### **Исходные данные**

Прежде чем начать расчетную часть проекта, следует выполнить краткое описание типа проектируемого судна (назначение, архитектурно-конструктивный тип (АКТ)), подобрать и свести в таблицу данные по двум судам-прототипам, однотипным с проектируемым суд-

ном, с распределением масс по разделам нагрузки (табл.1). В случае использования материалов эскизного или технического проекта судна-прототипа массовая нагрузка по укрупненным разделам компоновки согласуется согласно [8]. В табл. 1 приводятся также характеристики задания на проектирование и полученные элементы проекта.

**Таблица 1. Основные технические характеристики судов-прототипов и проектируемого судна**

| Данные по судну                                                                            | Обозначение                    | Прото-<br>типы |  | Про-<br>ект |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|--|-------------|
| Тип судна                                                                                  | —                              |                |  |             |
| Удельный погрузочный объем, м <sup>3</sup> /т,<br>или удельный вес груза, т/м <sup>3</sup> | $\mu_{\Gamma}/\gamma_{\Gamma}$ |                |  |             |
| Грузоподъемность, т                                                                        | $P_{\Gamma}$                   |                |  |             |
| Мощность главного двигателя, кВт                                                           | $N_{\text{д}}$                 |                |  |             |
| Тип главного двигателя                                                                     | —                              |                |  |             |
| Скорость хода на испытаниях, уз                                                            | $v_{\text{и}}$                 |                |  |             |
| Дальность плавания, мили                                                                   | $R$                            |                |  |             |
| Длина между перпендикулярами, м                                                            | $L_{\text{п}}$                 |                |  |             |
| Ширина, м                                                                                  | $B$                            |                |  |             |
| Высота борта, м                                                                            | $H$                            |                |  |             |
| Осадка, м                                                                                  | $T$                            |                |  |             |
| Отношение высоты борта к осадке                                                            | $H/T$                          |                |  |             |
| Отношение ширины к осадке                                                                  | $B/T$                          |                |  |             |
| Отношение длины к ширине                                                                   | $L/B$                          |                |  |             |
| Коэффициент общей полноты (по $L_{\text{п}}$ )                                             | $C_b$                          |                |  |             |
| Коэффициент продольной полноты                                                             | $C_p$                          |                |  |             |
| Коэффициент полноты грузовой ВЛ                                                            | $C_w$                          |                |  |             |
| Коэффициент полноты МШ                                                                     | $C_m$                          |                |  |             |
| Относительная длина                                                                        | $l$                            |                |  |             |
| Число Фруда                                                                                | $Fr$                           |                |  |             |
| Адмиралтейский коэффициент                                                                 | $C$                            |                |  |             |
| Масса корпуса, т                                                                           | $P_{\text{к}}$                 |                |  |             |
| Масса оборудования, т                                                                      | $P_{\text{о}}$                 |                |  |             |
| Масса энергетической установки, т                                                          | $P_{\text{у}}$                 |                |  |             |
| Масса топлива, воды и масла, т                                                             | $P_{\text{т}}$                 |                |  |             |
| Масса снабжения, т                                                                         | $P_{\text{с}}$                 |                |  |             |
| Масса запаса водоизмещения, т                                                              | $P_{\text{з}}$                 |                |  |             |
| Масса балласта, т                                                                          | $P_{\text{б}}$                 |                |  |             |
| Водоизмещение, т                                                                           | $D$                            |                |  |             |



**Рисунок. Последовательность выполнения расчетной части проекта**

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЕКТА В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

## 1.1. Расчет водоизмещения

Для определения водоизмещения составляется алгебраическое уравнение масс вида [1,5,8]:

$$D = P_k + P_o + P_y + P_t + P_c + P_z + P_b + P_r \quad (1)$$

где  $D$  – водоизмещение,  $P_k, P_o, P_y, P_t, P_c, P_z, P_b, P_r$  – массы разделов нагрузки: корпуса, оборудования, энергетической установки (ЭУ), топлива, воды и масла (далее топлива), снабжения, запаса водоизмещения, балласта и перевозимого груза соответственно.

В табл. 2 приведены расчетные формулы для измерителей масс и масс разделов нагрузки, входящих в уравнение масс. Все разделы нагрузки в этом уравнении выражаются через искомое водоизмещение, в том числе масса ЭУ  $P_y$  и топлива  $P_t$ . Последние две составляющие уравнения масс определяются обычно на данном этапе по адмиралтейской формуле через мощность ГД:  $N_d = v^3 D^{2/3} / C$ , где  $C$  – адмиралтейский коэффициент, определяемый по прототипу;  $D$  – водоизмещение, т;  $v$  – скорость хода судна, уз. Величины, обозначенные в табл.2 чертой сверху, относятся к прототипу.

В табл.2 в формуле для массы топлива  $P_t$  и массы энергетической установки  $P_y$  обозначено:  $v_\Sigma$  – эксплуатационная скорость, определяемая заданием на проектирование или как  $v_\Sigma = v_n - (0,5 \dots 1 \text{ уз})$ , уз;  $C_\Sigma$  – адмиралтейский коэффициент, соответствующий скорости  $v_\Sigma$ ;  $C_n$  – адмиралтейский коэффициент, соответствующий скорости хода на испытаниях  $v_n$ ;  $R$  – заданная дальность плавания;  $k_m$  – коэффициент морского запаса, который принимается равным 1,15...1,25;  $k_t$  – коэффициент увеличения запасов на общесудовые нужды (для ДВС  $k_t = 1,15$ );  $q_t$  – удельный расход топлива, т/(кВт·ч), принимается по прототипу.

После подстановки расчетных формул для составляющих нагрузки масс выражение (1) примет вид

$$D = a_k D + q_o D^{\frac{2}{3}} + q_y D^{\frac{2}{3}} v_n^3 / C_n + q_t k_m k_t R D^{\frac{2}{3}} v_\Sigma^2 / C_\Sigma + a_c D + a_z D + a_b D + P_r,$$

где  $a_m, a_c, a_z, a_b$  – долевые коэффициенты массы корпуса, снабжения, запаса водоизмещения и балласта (принимаются по прототипу);  $q_o, q_y$  – измеритель массы оборудования и измеритель массы ЭУ, соответственно (принимаются по прототипу).



**Таблица 2.** Расчет составляющих нагрузки масс в первом приближении

| Наименование раздела нагрузки | Расчетная формула измерителя массы раздела нагрузки                       | Расчетная формула массы раздела нагрузки проекта |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Корпус                        | $a_k = \frac{\bar{P}_k}{\bar{D}}$                                         | $P_k = a_k D$                                    |
| Оборудование                  | $q_o = \frac{\bar{P}_o}{\bar{D}^{2/3}}$                                   | $P_o = q_o D^{2/3}$                              |
| Энергетическая установка      | $q_y = \frac{\bar{P}_y}{\bar{N}_d}$                                       | $P_y = q_y N_d = q_y D^{2/3} v_{и}^3 / C_{и}$    |
| Топливо                       | $q_T = \bar{P}_T \bar{C}_3 / (k_M k_T \bar{D}^{2/3} \bar{v}_3^2 \bar{R})$ | $P_T = q_T k_M k_T D^{2/3} v_3^2 R / C_3$        |
| Снабжение                     | $a_c = \frac{\bar{P}_{сн}}{\bar{D}}$                                      | $P_c = a_c D$                                    |
| Запас водоизмещения           | $a_3 = \frac{\bar{P}_3}{\bar{D}}$                                         | $P_3 = a_3 D$                                    |
| Балласт                       | $a_6 = \frac{\bar{P}_6}{\bar{D}}$                                         | $P_6 = a_6 D$                                    |
| Груз                          | –                                                                         | Задается                                         |

Выполнив все необходимые подстановки в последнее уравнение, приведем его к виду  $nD - mD^{2/3} = P_r$ , решим относительно  $D$  любым приемлемым способом [1,6,8] и получим водоизмещение первого приближения, которое обозначим как  $D_1$ .

Далее полученное значение водоизмещения необходимо распределить по разделам нагрузки масс с учетом выражений для их определения, приведенных в табл.2. Проверкой служит выполнения равенства

$$D_1 = P_{к1} + P_{о1} + P_{y1} + P_{т1} + P_{с1} + P_{з1} + P_{б1} + P_r,$$

где  $P_{i1}$  – разделы нагрузки первого приближения.

## 1.2. Определение характеристик формы корпуса

Получив значение водоизмещения, можно рассчитать главные размерения проекта судна. Вначале определяются характеристики формы корпуса. На данном этапе это будут относительная длина  $l$  и коэффициенты полноты корпуса: коэффициент общей полноты  $C_b$ , ко-

эффект полноты площади ВЛ  $C_w$ , коэффициент полноты площади МШ  $C_m$ , коэффициент продольной полноты  $C_p$ .

Относительная длина первого приближения  $l_1$  может быть определена [6,8]:

$$l_1 = \left( 2 + \frac{5}{\sqrt[3]{D_1/\rho_v}} \right) v_i^{1/3},$$

где  $\rho_v$  – удельный вес воды, т/м<sup>3</sup>.

Можно также воспользоваться формулами В.В.Ашика [1]:

для сухогрузных судов:  $l_1 = 4,47 + 0,06v_i \pm 0,3$ ;

для танкеров:  $l_1 = 5,35 \pm 0,45$ .

Для накатных судов может быть применена формула [7]

$$l_1 = 4,28 + 0,07v_i \pm 0,33.$$

Тогда ожидаемая длина между перпендикулярами определяется так:

$$L_o = l_1 (D_1/\rho_v)^{1/3},$$

Зная  $L_o$ , можем получить число Фруда по формуле

$$Fr = \frac{0,514v_i}{\sqrt{gL_o}},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Коэффициент общей полноты  $C_b$  определяется в зависимости от числа Фруда. При этом можно ориентироваться на значения, полученные по формулам [1,5,8]:  $C_b = 1,09 - 1,68Fr$  – для УСГ и контейнерных судов;  $C_b = 1,05 - 1,40Fr$  – для танкеров и УСМГ;  $C_b = 1,05 - 1,48Fr$  – для накатных судов. Эти формулы можно использовать при числах Фруда  $Fr = 0,15 \dots 0,30$ .

Для танкеров и УСМГ современных обводов можно использовать формулу [14]:

$$C_b = (1,7 \dots 2,0)(0,59 - Fr).$$

Можно также воспользоваться формулой А.Н. Вashedченко, которая дает приемлемые результаты для транспортных судов в широком диапазоне чисел Фруда [6]:

$$C_b = 1 - \frac{0,48}{1 + 100 \exp(-24Fr)}.$$

Необходимо отметить, что выбор окончательного значения коэффициента  $C_b$  для определенного числа Фруда возможен только в ре-

зультате оптимизации проекта в целом. На данном этапе разработки проекта можно принимать осредненные значения этого коэффициента, ориентируясь на прототип.

*Коэффициент продольной полноты* можно определить как [14]

$$C_p = 0,04 + 0,96C_b,$$

а *коэффициент полноты* ВЛ по формулам [14]:

$$C_w = \begin{cases} 0,878C_p + 0,1733 & \text{при } C_p < 0,85 \\ 0,6 + C_p & \text{при } C_p \geq 0,85 \end{cases}.$$

*Коэффициент полноты* МШ определяется по отношению

$$C_m = \frac{C_b}{C_p}.$$

Учитывая, что у транспортных судов этот коэффициент изменяется несущественно и влияние его незначительно, он может приниматься по прототипу.

Относительное значение абсциссы центра величины (ЦВ) может быть определено по прототипу

$$\tilde{x}_c = \frac{\bar{x}_c}{\bar{L}_\Pi},$$

где  $\bar{x}_c$  – абсцисса ЦВ прототипа, м;  $\bar{L}_\Pi$  – длина между перпендикулярами прототипа, или по приближенной зависимости [14]:

$$\tilde{x}_c = \begin{cases} 0,17(C_b - 0,65) + 0,003 & \text{при наличии бульба} \\ 0,17(C_b - 0,65) & \text{для судов без бульба} \end{cases}.$$

Значение  $\tilde{x}_c$  можно определить также на основе рекомендаций, изложенных в [1,5].

Главные размерения проектируемого судна можно определить, если известны их отношения: высоты борта  $H$  к осадке  $T$ , ширины  $B$  к осадке  $T$  и длины  $L$  к ширине  $B$ .

В первом приближении эти отношения можно принять по прототипу:

$$(B/T)_1 = (\bar{B}/\bar{T}); (H/T)_1 = (\bar{H}/\bar{T}).$$

Отношение длины к ширине проектируемого судна определяется из условия ходкости [6,8]:

$$(L/B)_1 = \sqrt{\frac{l_1^3 C_b k_B \rho_B}{(B/T)_1}}, \quad (2)$$

где  $k_b = 1,005 \dots 1,02$  – коэффициент, который учитывает выступающие за обводы ТЧ части корпуса (кили, внешняя обшивка, руль, винт).

Следует отметить, что для транспортных судов отношение  $(L/B)$  должно выбираться не только с учетом требований ходкости, но также из условий влияния его на массу корпуса, которая уменьшается, как правило, при значениях  $(L/B) < 6,0$ . Поэтому, определив отношение  $(L/B)$  с помощью выражения (2), необходимо сравнить полученное значение с соответствующим значением прототипа и принять решение.

### 1.3. Расчет главных размерений

Для определения главных размерений используем уравнение плавучести

$$D_1 = k_b \rho_b C_b L_1 B_1 T_1. \quad (3)$$

Используя отношения главных размерений, уравнение (3) запишем в виде

$$D_1 = k_b \rho_b C_b (L/B)_1 B_1^3 (T/B)_1$$

и определим ширину судна как

$$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/T)_1}{k_b \rho_b C_b (L/B)_1}}.$$

Длина, осадка и высота борта определяются через соотношения  $(L/B)_1$ ,  $(T/B)_1$  и  $(H/T)_1$  так:  $L_1 = (L/B)_1 B_1$ ;  $T_1 = (T/B)_1 B_1$ ;  $H_1 = (H/T)_1 T_1$ .

Правильность решения можно проверить, если подставить полученные значения  $L_1$ ,  $T_1$ ,  $B_1$  в (3).

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЕКТА ВО ВТОРОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

### 2.1. Уточненный расчет мощности главного двигателя. Схема общего расположения

Поскольку в уравнении масс первого приближения мощность ГД определялась приближенно, во втором приближении ее значение необходимо уточнять. Увеличение или уменьшение значения мощности повлечёт за собой изменение массы топлива и механизмов и в конечном итоге –

водоизмещения. Эти изменения будут учитываться в уравнении масс, составленном во втором приближении.

Для уточнения значения мощности ГД  $N_d$  целесообразно использовать компьютерную программу, которая позволяет получить это значение по методу Холтропа [15].

В отличие от курсового проекта в дипломном проекте уточненный расчет мощности ГД необходимо проводить на основе результатов серийных модельных испытаний для определенного типа судна [13].

Для выбора ГД по каталогу (установки) можно воспользоваться данными, приведенными в учебном пособии [8] и во второй части МУ.

Далее находится длина машинного отделения либо по известной длине ГД [5] или с использованием прототипа. Затем на основе прототипа производится первоначальная проработка схемы общего расположения проекта с целью определения длин трюмов, длины форпика, ахтерпика и бака. Эти величины являются исходными для задач следующего этапа.

## 2.2. Расчет водоизмещения

Для определения водоизмещения во втором приближении необходимо использовать уравнение масс, выраженных в функции главных размерений, в котором составляющие нагрузки масс рассчитываются по формулам, которые дают более точные результаты [4,6,8]. Так масса корпуса в этом уравнении выражается зависимостью  $P_k = q_k C_\delta^n LBH$ , а масса оборудования –  $P_o = q_o (LBH)^{2/3}$ . При определении массы энергетической установки и массы топлива используется значение мощности ГД  $N_d$ , принятое по каталогу. Измеритель массы топлива  $q_t$  также принимается по каталогу. Выражения для массы снабжения  $P_c$ , массы балласта  $P_b$  и запаса водоизмещения  $P_z$ , значения которых в нагрузке масс незначительны, целесообразно оставить неизменными:  $P_c = a_c D$ ;  $P_b = a_b D$ ;  $P_z = a_z D$ .

Для того чтобы исключить число неизвестных в уравнении масс и привести его к такому виду, чтобы как и в первом приближении его можно было бы решить относительно  $D$ , используются следующие преобразования [6,8,10]:

$$P_k = q_k C_\delta^n LBH = q_k C_\delta^n LBH \frac{D}{\rho_b k_b C_b LBT} = D \left( q_k \frac{C_\delta^n H}{C_b T} \frac{1}{\rho_b k_b} \right);$$

$$P_o = q_o(LBH)^{2/3} = D^{2/3} \left( q_o \left( \frac{H}{T} \frac{1}{\rho_B k_B C_b} \right)^{2/3} \right).$$

С учетом выполненных преобразований уравнение масс принимает вид:

$$D \left( 1 - q_k \frac{C_\delta^n H}{C_b T} \frac{1}{\rho k_B} - a_c - a_6 - a_3 \right) = D^{2/3} \left( q_o \left( \frac{H}{T} \frac{1}{\rho_B k_B C_b} \right)^{2/3} \right) + q_y N_d + q_T k_M k_T N_d^3 R / v_3 + P_r. \quad (4)$$

В уравнении (4) коэффициент полноты объема корпуса судна по верхнюю палубу  $C_\delta^n$  может быть определен или по прототипу, или с помощью эмпирической формулы  $C_\delta^n = C_b(T/H) + 1,05C_m(1 - (T/H))$ , а  $N_d^3$  обозначает мощность ГД, соответствующую эксплуатационной скорости  $v_3$ .

Значение отношения  $(H/T)$  принимается по результатам первого приближения.

Расчетные формулы для значений измерителей масс приведены в табл.3.

Решив уравнение масс, определение главных размерений проекта второго приближения и их проверку проводят в соответствии с 1.3.

Распределение нагрузки масс по отдельным составляющим проводится в табл.3 с использованием выражений для них в (4).

Проверкой служит выполнения равенства:

$$D = P_{к2} + P_{о2} + P_{у2} + P_{т2} + P_{с2} + P_{з2} + P_{б2} + P_{г2},$$

где  $P_{г2}$  – разделы нагрузки второго приближения.

### 2.3. Уточнение главных размерений с учетом требований к вместимости, начальной остойчивости и плавности качки

Как было отмечено ранее в 1.2, главные размерения судна можно получить по их отношениям. Во втором приближении необходимо уточнять эти отношения исходя из требований к различным качествам судна.

Отношение высоты борта к осадке в значительной мере влияет на объем грузовых помещений, и в меньшей – на непотопляемость и остойчивость. При определении этого отношения в первом приближении будем учитывать только выполнение условий грузовместимости [1,6,8].

**Таблица 3. Расчет составляющих нагрузки масс во втором приближении**

| Наименование раздела нагрузки | Расчетная формула измерителя массы раздела нагрузки | Расчетная формула массы раздела нагрузки проекта |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Корпус                        | $q_k = \bar{P}_k / (C_8^n \bar{L} \bar{B} \bar{H})$ | $P_k = q_k C_8^n L B H$                          |
| Оборудование                  | $q_o = \bar{P}_o / (\bar{L} \bar{B} \bar{H})^{2/3}$ | $P_o = q_o (L B H)^{2/3}$                        |
| Энергетическая установка      | $q_y = \bar{P}_y / \bar{N}_d$                       | $P_y = q_y N_d$                                  |
| Топливо                       | –                                                   | $P_T = q_T k_M k_T N_d^3 R / v_3$                |
| Снабжение                     | $a_c = \bar{P}_c / \bar{D}$                         | $P_c = a_c D$                                    |
| Запас водоизмещения           | $a_3 = \bar{P}_3 / \bar{D}$                         | $P_3 = a_3 D$                                    |
| Балласт                       | $a_6 = \bar{P}_6 / \bar{D}$                         | $P_6 = a_6 D$                                    |
| Груз                          | –                                                   | Задается                                         |

Отношение ширины судна к осадке определяется из уравнения остойчивости, которое устанавливает зависимость требуемой метацентрической высоты от главных размерений и коэффициентов полноты [1,6,8].

### Определение отношения высоты борта к осадке.

Отношение  $(H/T)$  сухогрузных судов может быть выражено зависимостью [9]

$$(H/T)_2 = (1,07\mu_r\eta_r + 0,16)k_3, \quad (5)$$

где  $\mu_r$  – удельная погрузочная кубатура груза, указанная в задании на проектирование,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $\eta_r = \bar{P}_r / \bar{D}$  – коэффициент утилизации водоизмещения по грузоподъемности, который принимается по прототипу;  $k_3$  – поправочный (экстраполяционный) коэффициент, определение которого связано с использованием как экстраполятора значения отношения высоты борта к осадке прототипа:

$$k_3 = (\bar{H}/\bar{T}) / (\bar{H}/\bar{T})_p, \quad (6)$$

где  $(\bar{H}/\bar{T})$  – фактическое отношение высоты борта к осадке прототипа;  $(\bar{H}/\bar{T})_p$  – то же отношение для прототипа, но рассчитанное по формуле (5) при  $k_3 = 1,0$ .

Такой прием с использованием коэффициента  $k_3$  позволяет приблизить полученный результат к значению отношения высоты борта к осадке реального прототипа.

Уравнение (5) называется в теории проектирования судов *уравнением грузовместимости*.

Другие виды уравнений грузовместимости можно найти в учебнике [1].

Уравнение грузовместимости *танкера* имеет вид [8]:

$$(H/T)_2 = \left( \frac{1,08\eta_{\Gamma}}{(L_T/L_{\Pi})\gamma_{\Gamma}} + \eta_6 \right) \frac{C_b}{\delta_T} k_3, \quad (7)$$

где  $L_T$  – длина танковой (грузовой) части корпуса, м;  $L_{\Pi}$  – длина судна между перпендикулярами, м;  $\gamma_{\Gamma}$  – удельный вес жидкого груза, т/м<sup>3</sup>;  $\delta_T = W_{\Gamma}/(L_T BH)$  – коэффициент полноты танковой части, который определяется по прототипу;  $W_{\Gamma}$  – объем грузовых танков, расположенных на длине  $L_T$ , м<sup>3</sup>;  $\eta_6 = \bar{P}_6/\bar{D}$  – коэффициент балластирования (для его определения используется прототип);  $\bar{P}_6$  – масса балласта прототипа, т;  $\bar{D}$  – водоизмещение прототипа.

В выражение (7) также вводится коэффициент экстраполяции  $k_3$ , который рассчитывается по формуле (6).

У большинства *специализированных контейнерных судов* отношение высоты борта к осадке  $(H/T) = 1,6 \dots 1,85$ , что характерно для судов с избыточным надводным бортом [2,3,6]. Эти суда должны иметь размерения, соответствующие обычным судам, перевозящим генеральные грузы с удельной погрузочной кубатурой  $\mu_{\Gamma} = 2,2 \dots 2,4$  м<sup>3</sup>/т. Поэтому для определения  $(H/T)_2$  контейнерных судов можно использовать в этом приближении уравнение (5), сравнить полученное значение с прототипом и при необходимости откорректировать его.

Поскольку удельно-погрузочная кубатура накатных судов составляет около 4 м<sup>3</sup>/т, значение отношения высоты борта к осадке этих судов находится в пределах  $(H/T)_2 = 2,2 \dots 2,6$ . Это отношение можно принять, воспользовавшись следующими зависимостями [7]:

$$\begin{aligned} (H/T)_2 &= 2,3 + 0,41 \cdot 10^{-6} DW \pm 0,20 \\ \text{или } (H/T)_2 &= 2,025 + 0,203 \cdot 10^{-5} DW \pm 0,208, \end{aligned}$$

где  $DW$  – дедвейт проекта, т.

### Определение отношения ширины к осадке.

Для уточнения значения отношения  $(B/T)$ , принятого в первом приближении по прототипу, используется условие начальной остойчивости [1,5,8]:

$$(h/B) = \psi_p(B/T) + \psi_c(T/B) - \zeta_g(H/T)(T/B), \quad (8)$$



где  $(h/B)$  – относительная метацентрическая высота, как функция размерений, коэффициентов полноты и других параметров, которая принимается равной некоторой величине из диапазона допустимых значений  $[(h/B)_{\min}, (h/B)_{\max}]$ ;  $\zeta_g = \bar{z}_g/\bar{H}$  – относительная апплика-та ЦМ судна, которая может быть определена по прототипу.

Другие параметры в выражении (8) для относительной метацентрической высоты определяются по формулам:

$$\psi_p = \frac{k_s C_w^2}{12 C_b}; \quad k_s = \begin{cases} 1,06 \pm 0,05 & \text{для } S - \text{подобных ВЛ} \\ 1,03 \pm 0,05 & \text{для выпуклых ВЛ} \end{cases}; \quad \psi_c = \frac{1}{2} \left( \frac{C_w}{C_b} \right)^{1/2}.$$

Если задать величину  $(h/B)$ , можно получить квадратное уравнение, решенное относительно  $(B/T)$  в виде:

$$(B/T) = \frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}, \quad (9)$$

где  $a = (h/B) / \psi_p$ ;  $b = (\psi_c - \zeta_g(H/T)) / \psi_p$ . Значение  $(H/T)$  может быть вычислено по формуле (5) или (7) соответственно.

Относительная метацентрическая высота  $(h/B)$  может быть назначена по прототипу, но только при полных и достоверных данных по нагрузке масс, параметрам качки и аварийной остойчивости.

Учитывая практику проектирования и эксплуатации судов, для которых удовлетворяется аварийная остойчивость и обеспечивается плавность качки, относительная метацентрическая высота может принимать значения:

для сухогрузных судов:  $0,03 \leq (h/B) \leq 0,05$ ;

для танкеров, балкеров:  $0,08 \leq (h/B) \leq 0,15$ .

Для всех видов сухогрузных судов длиной более 15 м  $(h/B)$  в первом приближении можно определять также по модифицированной формуле Нидермайера:

$$(h/B) = 0,06 - \frac{9600}{B_0^{6-0,06B_0}},$$

где  $B_0$  – ожидаемая ширина проекта, которую можно определять по ширине прототипа:  $B_0 = \bar{B}(D_1/\bar{D})$ .

Отношение  $(B/T)$  накатных судов можно принимать по формуле [2,3,7]:

$$(B/T)_2 = 3,23 - 0,43 \cdot 10^{-4} DW + 1,49 \cdot 10^{-9} DW \pm 0,26.$$

Уравнение (9) используется для ограничения так называемого "нижнего" отношения  $(B/T)$  проектируемого судна. Кроме того, это отношение должно отвечать еще одному условию, определяющему плавную качку на волнении. При этом значение  $(B/T)$  ограничивается "сверху". Для этого можно воспользоваться известной формулой Ховгарда ("капитанской" формулой):

$$(h/B)_{\max} \leq \frac{c_{\tau}^2 B_0}{[\tau]^2},$$

где  $[\tau]$  – допустимый период бортовой качки, который в соответствии с Правилами Регистра [11] должен быть не меньше чем 12 с;  $c_{\tau}$  – коэффициент влияния момента инерции массы судна на период его качки (для транспортных судов его можно принять как  $0,74 \leq c_{\tau} \leq 0,84$ ). Значение  $(h/B)_{\max}$  необходимо подставить в (9) и получить ограниченное сверху значение  $(B/T)_{\max}$ . Это значение сравнивается с полученным ранее по формуле (9) и в случае, когда оно окажется меньшим, принимается  $(B/T)_2 = (B/T)_{\max}$ .

Если уточненные значения отношений  $(H/T)_2$  и  $(B/T)_2$  отличаются от полученных в первом приближении, необходимо вновь выполнять расчеты главных размерений по 1.3, уточнять значение мощности, определять водоизмещение судна, составляющие нагрузки масс (2.1, 2.2) и новые значения главных размерений<sup>2</sup>.

#### 2.4. Учет требований Правил о грузовой марке к величине минимального надводного борта

Определенное в п. 2.3 значение высоты борта должно отвечать Правилам о грузовой марке морских судов [12]. Правила на основе требований Международной конвенции о грузовой марке 1966 г. определяют порядок и условия расчета *величины минимального надводного борта*  $F_{\min}$ .

Для вычисления величины минимального надводного борта в Правилах суда разделяются на типы *A* и *B*. Судно типа *A* – это судно, которое спроектировано для перевозки только жидких грузов наливом. Все суда, которые не относятся к судам типа *A*, рассматриваются как суда типа *B*.

---

<sup>2</sup> При этом уточнение отношений главных размерений с учетом требований к вместимости, остойчивости и плавности качки повторно не проводится

Определение величины минимального надводного борта  $F_{\min}$  состоит из двух этапов. Сначала по таблицам в Правилах определяется *базисный надводный борт*  $F_0$  в зависимости от типа и длины судна. После этого вводятся *поправки* к  $F_0$ , которые учитывают отклонение характеристик проектируемого судна от аналогичных характеристик стандартного судна, для которого приведены табличные значения  $F_0$ .

*Стандартное (базовое)* судно имеет следующие характеристики: коэффициент общей полноты  $C_b$ , соответствующий расчетной осадке  $T_p = 0,85H$ , равен 0,68; судно гладкопалубное, т.е. без надстроек и ящиков; высота борта  $H = L/15$ ; стандартная седловатость верхней палубы; для судов типа *B* предполагается, что закрытия люков стальные, непроницаемые при воздействии моря, снабженные специальными уплотнительными прокладками и устройствами для задривания.

Введение Правилами поправок к  $F_0$  на отступление от перечисленных характеристик обеспечивает у проектируемого судна такой же относительный запас плавучести и аналогичную степень защищенности от попадания воды внутрь корпуса.

Величина минимального надводного борта  $F_{\min}$  определяется как алгебраическая сумма базисного надводного борта  $F_0$  и поправок к нему:

$$F_{\min} = F_0 k_1 + k_2 - k_3 \pm k_4 + k_5,$$

где поправки:  $k_1$  – на коэффициент общей полноты;  $k_2$  – на расчетную высоту борта;  $k_3$  – на надстройки и ящики;  $k_4$  – на отклонение от стандартной седловатости;  $k_5$  – для судов типа *B* длиной менее 100 м.

Базисный надводный борт  $F_0$  для судов неограниченного района плавания определяется по таблицам Правил для судов типа *A* и типа *B* в зависимости от их длины и разрешенного района плавания. Таблицы составлены для судов со стандартной седловатостью;  $C_b = 0,68$  для осадки  $T = 0,85H$ ;  $(L/H) = 15$  и без надстроек.

Расчет базисного надводного борта и поправок к нему производится в соответствии с [4,12] а необходимый справочный материал приводится во второй части настоящих МУ.

Таким образом, высота борта с учетом высоты надводного борта по Правилам о грузовой марке определится как  $H_{\text{гм}} = T + F_{\min}$ . Это значение сравнивается с определенным значением высоты борта в п.2.3 из условия вместимости и принимается большее из них. Если  $H_{\text{гм}} > H$ , необходимо определить водоизмещение судна с использованием уточненного

значения ( $H/T$ ) и новые главные размерения, т.е. снова вернуться к схеме проведения расчетов, описанной в конце п.2.3.

## **2.5. Расчет ординат теоретического чертежа, проверка остойчивости по Правилам Регистра**

Теоретический чертеж, изображающий поверхность судна и наиболее обще характеризующий его форму, проектируется на основании определенных выше главных размерений и характеристик формы, прежде всего, коэффициентов полноты формы корпуса, рассмотренных в 1.2.

Для расчета ординат ТЧ можно применить интерполяционный метод построения ТЧ В.В. Ашика [1,9]. Для этого нужно воспользоваться таблицами ординат ТЧ сухогрузных судов, танкеров и балкеров, контейнерных и накатных судов для большего и меньшего значений в характерных для этих судов диапазонах коэффициентов общей полноты. Эти таблицы приводятся во второй части МУ.

В среде Excel можно рассчитать ординаты ТЧ проектируемого судна а также с помощью какой-либо программы по выбору таблицу элементов плавучести и начальной остойчивости и таблицу плеч диаграммы статической остойчивости. С их помощью проводится проверка требований к начальной остойчивости, параметрам диаграммы статической остойчивости и критерия погоды в соответствии с требованиями Правил Регистра [11]. Подробное описание указанных требований приводится во второй части МУ.

В случае, когда требования не выполняются, следует изменить высоту борта  $H$  или ширину  $B$ , произвести уточненный расчет мощности ГД с помощью программы и далее поступать, как показано на блок-схеме, приведенной на рисунке. При правильно выбранных соотношениях главных размерений обычно двух приближений бывает достаточно.

Если требования по остойчивости выполняются, следует считать главные размерения окончательными и приступить к вычерчиванию ТЧ ([8], вторая часть МУ).

## **3. УДИФФЕРЕНТОВКА ПРОЕКТА**

Следующим важным этапом разработки проекта является удифферентовка – процесс, связанный с таким распределением переменных в процессе эксплуатации статей нагрузки (груз, топливо, снабжение, бал-

ласт, если он принимается), чтобы судно при расчетной осадке не имело крена и дифферента. При этом его центр масс (ЦМ) и ЦВ должны быть расположены на одной вертикали. К этому моменту положение ЦВ назначено так, чтобы сопротивление воды движению судна приближалось к минимально возможному и ТЧ судна уже разработан.

Приведение ЦМ и ЦВ на одну вертикаль осуществляется, как правило, перемещением указанных выше статей нагрузки и только в крайнем случае за счет увеличения ранее принятой длины судна с соответствующим изменением его элементов и корректировкой теоретического чертежа.

Процесс удифферентовки, связанный с подобным перемещением, можно разбить на следующие этапы, которые выполняются в соответствии с [4,8]:

- расстановка переборок на схеме продольного разреза судна;
- построение эпюры емкости;
- определение абсцисс центров тяжести составляющих нагрузки масс;
- проверка грузовместимости;
- определение дифферента, имеющего место при первоначальной расстановке переборок и распределении составляющих нагрузки масс;

перемещение в случае неудовлетворительного дифферента отдельных статей нагрузки и переборок с целью приведения центра масс судна на одну вертикаль с центром величины.

Изложение материала по разработке схемы продольного разреза судна, построению эпюры емкости, определению абсцисс центров тяжести составляющих нагрузки масс, проверке грузовместимости приводится во второй части МУ.

Если судно удифферентовано, то выполняется условие:

$$x_g = x_c, \quad (10)$$

где  $x_g$  и  $x_c$  – абсциссы ЦМ и ЦВ проектируемого судна.

Если указанное условие не выполняется, то судно будет иметь дифферент:

$$\Delta T = D(x_g - x_c) / M \text{ см.} \quad (11)$$

В формуле (11)  $M$  – момент, дифферентующий судно на 1 см:

$$M = DH / 100 / L,$$

где  $H$  – продольная метацентрическая высота, взятая по кривым ТЧ или вычисляемая по формуле Фан-дер-Флита:

$$H \sim R = \frac{1}{k_1} \frac{C_w^2}{C_b} \frac{L^2}{T};$$

$$k_1 = 12C_w(3 - 2C_w).$$

Если  $\Delta T < L/2000$  то судно считается удифферентованным. В противном случае необходимо выполнить процесс удифферентовки.

Способ удифферентовки во многом зависит от величины дифферента при первоначальном распределении составляющих нагрузки. Если, например, дифферент небольшой (порядка 10...15 см), то он устраняется перемещением по судну части топлива. Перемещением всего запаса топлива можно исправить и значительно больший дифферент.

Величина перемещения ЦМ топлива определяется по формуле

$$\Delta x_{\text{тп}} = D(x_g - x_c) / P_{\text{т}}.$$

Если перемещением топлива удифферентовать судно не удастся, то прибегают к перемещению машинного отделения и надстройки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аишк В.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1984. – 449 с.
2. *Бондаренко О.В., Кротов О.І., Матвеев Л.О., Прокудін С.О.* Особливості проектування транспортних суден: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – Ч. 1. – 76 с.
3. *Бондаренко О.В., Кротов О.І., Матвеев Л.О., Прокудін С.О.* Особливості проектування транспортних суден. Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. – Ч. 2. – 80 с.
4. *Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І.* Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Основи проектування суден". – Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.
5. *Бронников А.В.* Проектирование судов.–Л.: Судостроение, 1990.– 327 с.
6. *Вашедченко А.Н.* Теория проектирования судов: В 3 ч.: Учебное пособие. – Николаев: НКИ, 1979-1981.
7. *Захаров А.С.* Особенности проектирования судов с горизонтальной грузообработкой. – Л.: ЛКИ, 1980. – 90 с.
8. *Кротов О.І., Голюков В.І., Єганов О.Ю., Бондаренко О.В.* Проектування морських транспортних суден. Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 156 с.
9. *Кротов А.И., Сорокин В.И.* Расчетный метод проектирования теоретического чертежа // Проектирование и конструкции судов: Сб. науч. тр. – Николаев: НКИ, 1983. – С. 94–104.
10. *Кротов А.И., Сорокин В.И., Цыбенко Б.А.* Проектирование судов. Методические указания к выполнению курсового проекта. – Николаев: НКИ, 1989. – 46 с.
11. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т. 1–2. – Київ, 2002.
12. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2003.
13. Справочник по теории корабля: В 3 т./ Под ред. *Я.И.Войткунского*. – Л.: Судостроение, 1985. – Т.1: Гидромеханика. Соппротивление движению судов. Судовые движители. – 768 с.
14. *Титов И.А.* Выбор основных элементов крупнотоннажных судов с полными образованиями // Судостроение. – 1988. – № 2. – С. 8–11.
15. *Holtrop J.E.* Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data. International Shipbuilding Progress/ V. 31, Nr 363. – 1984. – P. 272-276.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>1. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТУ</b>                                                                      |           |
| <b>У ПЕРШОМУ НАБЛИЖЕННІ .....</b>                                                                                    | <b>11</b> |
| 1.1. Розрахунок водотоннажності.....                                                                                 | 11        |
| 1.2. Визначення характеристик форми корпусу .....                                                                    | 12        |
| 1.3. Визначення головних розмірів.....                                                                               | 14        |
| <b>ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТУ</b>                                                                                  |           |
| <b>У ДРУГОМУ НАБЛИЖЕННІ.....</b>                                                                                     | <b>15</b> |
| 2.1. Уточнений розрахунок потужності головного двигуна.<br>Схема загального розташування .....                       | 15        |
| 2.2. Розрахунок водотоннажності.....                                                                                 | 16        |
| 2.3. Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог<br>до місткості, початкової остійності і плавності хитавиці ... | 17        |
| 2.4. Урахування вимог Правил про вантажну марку<br>до величини мінімального надводного борту .....                   | 21        |
| 2.5. Розрахунок ординат теоретичного креслення,<br>перевірка остійності по Правилах Регістру.....                    | 22        |
| <b>3. УДИФЕРЕНТУВАННЯ ПРОЕКТУ .....</b>                                                                              | <b>23</b> |
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>                                                                                                | <b>27</b> |
| <b>1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЕКТА</b>                                                                              |           |
| <b>В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ.....</b>                                                                                     | <b>32</b> |
| 1.1. Расчет водоизмещения.....                                                                                       | 32        |
| 1.2. Определение характеристик формы корпуса .....                                                                   | 33        |
| 1.3. Расчет главных размерений .....                                                                                 | 36        |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЕКТА</b>                                                                                 |           |
| <b>ВО ВТОРОМ ПРИБЛИЖЕНИИ .....</b>                                                                                   | <b>36</b> |
| 2.1. Уточненный расчет мощности главного двигателя.<br>Схема общего расположения .....                               | 36        |
| 2.2. Расчет водоизмещения.....                                                                                       | 37        |
| 2.3. Уточнение главных размерений с учетом требований<br>к вместимости, начальной остойчивости и плавности качки ..  | 38        |
| 2.4. Учет требований Правил о грузовой марке к величине<br>минимального надводного борта.....                        | 42        |
| 2.5. Расчет ординат теоретического чертежа,<br>проверка остойчивости по Правилам Регистра .....                      | 44        |
| <b>3. УДИФФЕРЕНТОВКА ПРОЕКТА.....</b>                                                                                | <b>44</b> |
| <b>Список літератури.....</b>                                                                                        | <b>47</b> |



Навчальне видання

**Кротов Олександр Іванович  
Ільїн Сергій Федорович  
Клева Яна Анатоліївна**

**КУРСОВЕ І ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН**

**Частина 1. Методика і загальні вимоги**

***Методичні вказівки***

*(українською та російською мовами)*

Комп'ютерна верстка *О.І. Кротов*  
Макетування *В.Г. Мазанко*

*Згідно з наказом ректора НУК № 08 від 09.01.2008  
методичні вказівки друкуються в авторській редакції  
і відповідальність за їх редагування несе автор.*

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 08.04.09. Папір офсетний. Формат 70×100/16.  
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 3,1. Обл.-вид. арк. 3,3.  
Тираж 100 прим. Вид. 15. Зам. № 160. Ціна договірна

---

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

## This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

## This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

## This image shows a full page of blank white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for writing or drawing. There are no margins, text, or other markings on the paper.