

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний морський технічний університет
імені адмірала Макарова

О.І. КРОТОВ, В.І. ГОЛІКОВ, О.Ю. ЄГАНОВ, О.В. БОНДАРЕНКО

ПРОЕКТУВАННЯ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як
навчальний посібник*

Миколаїв 2002

УДК 629.12.011.22
ББК 39.42-01

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Письмо № 1/11-2920 від 29.08.2002 р.)*

Рецензенти доктор технічних наук, професор А.Я. Казарезов
доктор технічних наук, професор В.В. Зайцев

Проектування морських транспортних суден: Навч. посібник/
О.І. Кротов, В.І. Голиков, О.Ю. Єганов, О.В. Бондаренко – Миколаїв:
УДМТУ, 2002. – 152 с.

Окрім основних теоретичних положень викладено методики визначення головних елементів сучасних суховантажних суден, танкерів та навалочників, проектування теоретичного креслення, перевірки основних якостей та розрахунків їх економічних показників.

Методична основа, теоретичний та фактичний матеріал посібника можуть бути використані при вивченні дисципліни "Проектування суден" і при розробці курсових та дипломних проектів морських транспортних суден. В посібнику наведено необхідні довідкові дані та основні вимоги діючих нормативних документів.

В посібнику вперше наведено матеріали з вибору оптимальних характеристик судна, які можуть бути використані при дипломному проектуванні.

Посібник призначено для студентів, що навчаються за освітньо-професійними програмами спеціалістів та магістрів і оволодівають кораблебудівною спеціальністю, він може бути корисним також студентам інших спеціальностей.

УДК 629.12.011.22
ББК 39.42-01

© Кротов О.І., Голиков В.І.,
Єганов О.Ю., Бондаренко О.В., 2002
© Український державний морський
технічний університет, 2002
© Видавництво УДМТУ, 2002

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АКТ	—	архітектурно-конструктивний тип
ВП	—	верхня палуба
ДВЗ	—	двигун внутрішнього згоряння
ДП	—	діаметральна площа
ДПр	—	дипломний проект
ЕЄ	—	епюра ємності
ЕОМ	—	електронно-обчислювальна машина
ЕУ	—	енергетична установка
КП	—	кормовий перпендикуляр
КПр	—	курсний проект
КВЛ	—	конструктивна ватерлінія
МВ	—	машинне відділення
МШ	—	мідель-шпангоут
НП	—	носовий перпендикуляр
ОЛ	—	основна лінія
ОП	—	основна площа
ПД	—	подвійне дно
ППШ	—	побудовна по шпангоутам
ТК	—	теоретичне креслення
ЦВ	—	центр величини
ЦМ	—	центр мас (маси)
УСВ	—	універсальне суховантажне судно
⊥⊥	—	перпендикуляри

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Навантаження мас судна та види водотоннажності.....	10
1.1. Поняття навантаження мас.....	10
1.2. Види водотоннажності.....	11
1.3. Контрольні запитання.....	13
1.4. Основні терміни і поняття.....	14
Розділ 2. Особливості розрахунку навантаження судна на початкових етапах розробки проекту.....	14
2.1. Поняття модулів та вимірників для визначення навантаження мас.....	14
2.2. Контрольні запитання.....	16
2.3. Основні терміни і поняття.....	16
Розділ 3. Визначення водотоннажності та головних елементів проекту у першому наближенні.....	16
3.1. Рівняння мас та визначення водотоннажності.....	16
3.2. Визначення характеристик форми корпусу.....	21
3.3. Визначення головних розмірів та їх відношень.....	23
3.4. Контрольні запитання та завдання.....	27
3.5. Основні терміни і поняття.....	29
Розділ 4. Визначення водотоннажності та головних елементів проекту у другому наближенні.....	29
4.1. Уточнений розрахунок потужності головного двигуна та його вибір. Розробка схеми загального розташування.....	29
4.2. Вирішення рівняння мас другого наближення. Розрахунок головних розмірів та складових навантаження мас.....	30
4.3. Розрахунок ординат теоретичного креслення. Перевірка вантажомісткості та остійності.....	37
4.4. Контрольні запитання і завдання.....	37
4.5. Основні терміни і поняття.....	38

Розділ 5. Використання диференціального рівняння мас.....	38
5.1. Диференціальне рівняння мас. Коефіцієнт Нормана.....	38
5.2. Приклад використання коефіцієнта Нормана.....	43
5.3. Контрольні запитання та завдання.....	45
5.4. Основні терміни і поняття.....	46
Розділ 6. Побудова теоретичного креслення.....	46
6.1. Побудова сітки теоретичного креслення.....	47
6.2. Обрис діаметрального батокса на проекції бік.....	48
6.3. Побудова ватерліній, шпангоутів та батоксів. Узгодження обрисів теоретичного креслення.....	48
6.4. Позначення на теоретичному кресленні.....	49
Розділ 7. Побудова епюри ємності та диферент.....	50
7.1. Початкова розстановка поперечних перебірок.....	51
7.2. Побудова епюри ємності та визначення координат центра мас.....	56
7.3. Диферент.....	58
7.4. Контрольні запитання і завдання.....	59
7.5. Основні терміни і поняття.....	60
Розділ 8. Економічне обґрунтування проектного судна.....	60
8.1. Загальні положення. Критерій економічної ефективності.....	60
8.2. Визначення ціни універсальних суховантажних, навалочних суден та танкерів.....	63
8.3. Розрахунок кількості рейсів та провізної спроможності проектного судна.....	64
8.4. Розрахунок експлуатаційних витрат.....	65
8.5. Контрольні запитання та завдання.....	67
8.6. Основні терміни та поняття.....	68
Розділ 9. Постановка і методи розв'язання задачі оптимального проектування суден.....	68
9.1. Системний підхід до задачі проектування суден.....	68
9.2. Загальна постановка задачі оптимізації головних елементів	

судна.....	69
9.3. Класифікація оптимізаційних задач та методи їх розв'язання.....	72
9.4. Контрольні запитання.....	83
9.5. Основні терміни і поняття.....	84
Розділ 10. Основні положення проектування загального розташування судна.....	84
10.1. Креслення загального розташування. Порядок розробки та оформлення.....	84
10.2. Класифікація суднових приміщень.....	87
10.3. Основні положення розташування приміщень на судні.....	89
10.3.1. Спеціальні приміщення.....	89
10.3.2. Службові приміщення.....	89
10.3.3. Приміщення для екіпажу.....	95
10.4. Обладнання і засоби комунікацій на судні.....	107
10.5. Фальшборт та леєрна огорожа.....	110
10.6. Сигнальні вогні.....	110
10.7. Рятувальні засоби.....	113
10.8. Контрольні запитання.....	114
10.9. Основні терміни та поняття.....	115
Список літератури.....	116
Додаток 1. Зміст курсового проекту та вимоги щодо його оформлення. Вихідні дані.....	121
Додаток 2. Компоновка складових навантаження мас судна.....	131
Додаток 3. Основні характеристики суден-прототипів.....	132
Додаток 4. Каталог сучасних малооборотних дизелів.....	139
Додаток 5. Типи та характеристики рятувальних шлюпок.....	142
Додаток 6. Приклад розрахунку водотоннажності та складових навантаження транспортного судна методом Нормана в середовищі Excel.....	145
Додаток 7. Приклад розрахунку питомих зведених витрат	

проектowanego судна в середовищі Excel.....	147
---	-----

ВСТУП

Навчальна дисципліна "Проектування суден" складається із загального курсу – теорії проектування суден – та курсів, в яких розглядаються особливості проектування суден різноманітних типів та призначень.

В теорії проектування суден вивчаються питання, що пов'язані з визначенням елементів проєктованих суден в самому загальному вигляді. Мета інших курсів – конкретизація загальної методики проектування стосовно окремих типів суден та розгляд проектних питань другого етапу, які пов'язані з архітектурно-конструктивним оформленням та загальним розташуванням проєктованих суден.

Цей навчальний посібник відрізняється від існуючих підручників та навчальних посібників з проектування суден наступними рисами:

в ньому об'єднані матеріали двох навчальних курсів та посібника з курсового та дипломного проектування;

компактність посібника досягається за рахунок відкидання другорядних і необов'язкових подробиць разом з детальним викладенням найбільш важливих для усвоєння предмету питань;

при поданні матеріалу автори прагнули трактувати окремі питання чітко і дохідливо з урахуванням сучасного наукового рівня їх змісту та викладення.

Матеріал посібника носить як теоретичний, так і нормативно-описувальний характер, оскільки проектування суден будь-якого призначення, в тому числі транспортних, неможливе без урахування усталеної практики проектування в суднобудуванні та нормативних вимог, які відносяться до цих суден.

Цей посібник є першим україномовним виданням. Основна суднобудівна термінологія прийнята у відповідності з [32, 36]. Термінології в посібнику приділена значна увага в плані можливого трактування неусталених термінів, відбору найбільш доцільних з них та співставлення нових вітчизняних термінів з іноземними.

В цілому, в посібнику викладено той об'єм відомостей, який необхідний для засвоєння матеріалу з навчальної дисципліни "Проектування суден", та розробки курсових і дипломних проектів основних типів суден морського транспортного флоту. Звичайно, до нього увійшли не всі теоретичні матеріали, довідкові відомості, дані по суднам окремих типів, однак посилання на перелік спеціальної літератури дозволить студентам та всім, хто буде користуватися ним, підібрати необхідні видання і отримати додаткові відомості з окремих питань.

За характером поданого матеріалу та послідовністю викладення цей посібник призначений передусім для студентів кораблебудівних факультетів технічних вищих навчальних закладів.

Метою курсового проектування студентів кораблебудівних спеціальностей є закріплення отриманих теоретичних знань та набуття початкових навичок користування основними методами проектування. В курсовому проекті (КПр) та дипломному проекті (ДПр) студенти, які навчаються за освітньо-професійними програмами спеціалістів та магістрів, повинні використати отримані знання з різноманітних дисциплін, в тому числі з проектування суден. І в цьому доброю запорукою буде систематичне викладення основних методик проектування та необхідного нормативного матеріалу з урахуванням того, що в сучасних умовах особливо актуальним є використання на початкових етапах проектування ЕОМ в діалоговому режимі.

Розрахунок головних елементів виконується за допомогою способу послідовних наближень. Він передбачає послідовну перевірку виконання експлуатаційних та морехідних якостей проектного судна все більш точними методами. Якщо буде виявлено, що деякі з вимог до проекту не виконуються, то приймається рішення про коригування елементів проекту таким чином, щоб усунути ці порушення. Такий підхід дає можливість краще зрозуміти сутність проектування та відповідає сучасній практиці реального проектування.

Більша частина перевірок виконання вимог до судна та громіздких

розрахунків виконується за допомогою ЕОМ, що дозволяє студентам дещо звільнитися від рутинної роботи і направити зусилля на засвоєння творчого підходу до проектування судна.

Зміст курсового проекту та його оформлення, а також вихідні дані для нього наведені в дод.1.

Розділ 1. НАВАНТАЖЕННЯ МАС СУДНА ТА ВИДИ ВОДОТОННАЖНОСТІ

1.1. Поняття навантаження мас

Навантаженням мас (навантаженням) судна називається сукупність усіх мас, які складають у сумі його водотоннажність.

Усі складові навантаження проєктованих суден – маси корпусних конструкцій, різноманітних механізмів, обладнання тощо, – знаходяться в спеціальних відомостях, які називають *таблицями навантаження*. Ці таблиці заповнюються у відповідній послідовності, що дозволяє зручно та швидко зіставляти та аналізувати навантаження різних суден. В них вводяться окрім найменувань елементів навантаження та їх числових значень (в тоннах) шифри усіх мас, координати їх центрів мас (ЦМ) та статичні моменти. Відлік відповідних плечей ведеться від основної та діаметральної площин (ДП), а по довжині – від мідель-шпангоута (МШ).

Навантаження, яке розраховується за матеріалами технічної пропозиції, ескізного та технічного проєктів, називається *проектним*, а розраховане за робочою конструкторською документацією – *виконавчим*. Навантаження, яке відкориговане в процесі побудови судна, носить назву *звітнього*.

Розрахунки навантаження, за якими визначають водотоннажність та положення ЦМ проєктованого судна, є одними з найбільш відповідальних проєктних розрахунків. Від їх точності та достовірності залежать практично усі інші розрахунки: посадки і остійності проєктованого судна,

його міцності, ходовості, хитавиці, керованості, непотоплюваності, вантажопідйомності, економічної ефективності.

Навантаження судна поділяється на *розділи, групи, підгрупи та статті*. Віднесення мас до того чи іншого розділу, групи, підгрупи або статті здійснюється функціонально, тобто за приналежністю.

Групування мас і найменування елементів навантаження регламентуються нормативними документами, які систематично обновлюються. Приклад такого групування наведено в табл. 2.1 Д дод.2.

Враховуючи, що поділ навантаження може бути охарактеризований як нерівнозначний за своїми елементами у кількісному відношенні, а також те, що надмірна деталізація навантаження є незручною для попередніх розрахунків, на початкових етапах розробки проектів використовується інша, так звана *проектна розбивка мас за розділами*. Вона відрізняється меншою кількістю укрупнених розділів, не містить надзвичайно малі маси і об'єднує маси, які визначаються за однотипними функціональними залежностями, наприклад, маса членів екіпажу з багажем та запасами і пасажирів з багажем та запасами.

За таким підходом навантаження поділяється на 7 розділів: корпус, механізми, обладнання, постачання, паливо (включаючи поживну воду та мастило), вантаж, що перевозиться, запас водотоннажності. Ці укрупнені розділи співвідносяться з нормативними розділами так, як показано в табл.2.1 Д.

1.2. Види водотоннажності

Повну уяву про тактико-технічні якості проектного корабля, наприклад, або експлуатаційно-технічні якості судна можна отримати з показників цього корабля чи судна при різноманітних станах навантаження, а відповідно і при різних значеннях водотоннажності.

У *військових кораблів* виділяється 5 характерних станів навантаження і відповідних їм водотоннажностей: водотоннажність порожнем,

стандартна водотоннажність, нормальна водотоннажність, повна водотоннажність, найбільша водотоннажність.

Водотоннажність порожнем характерна для випадку постановки корабля в док, а стандартна відрізняється від неї масою боєзапасу та постачання. Нормальна водотоннажність використовується при визначенні основних елементів проектного корабля і визначається як сума стандартної водотоннажності та половинних запасів палива. Найбільша водотоннажність визначаються при максимальній дальності плавання (повних запасах палива).

У *цивільних суден* виділяють водотоннажність повну та водотоннажність порожнем. Повну водотоннажність називають також "водотоннажністю з повною вантажопідйомністю та з повними запасами". У *повну водотоннажність* входять усі розділи навантаження. У *водотоннажність порожнем* не включають вантажопідйомність та запаси (паливо та постачання). Різниця між двома вказаними водотоннажностями дає так званий *дедвейт*.

Термін дедвейт походить від англійського "повна вага", синонімом дедвейту, який не знайшов у вітчизняній практиці широкого розповсюдження, є "повна вантажопідйомність". Дедвейт є більш стабільною характеристикою розмірів та транспортних можливостей судна, ніж його вантажопідйомність. Останню на відміну від дедвейту називають іноді "чистою вантажопідйомністю".

В суднобудуванні та судноплавстві термін "найбільша водотоннажність" є неприйнятним, оскільки осадка судна та відповідно, його водотоннажність не можуть бути більшими, ніж допускається Правилами про вантажну марку [33]. Якщо ж судно проектується для перевезення різноманітних вантажів – відносно легких та більш важких, то окрім найбільшої допустимої осадки по вантажну марку визначають також осадку та водотоннажність, що відповідають більш легкому вантажу. У цьому випадку приймають до уваги максимальну водотоннажність, дедвейт та осадку і проектні значення цих величин.

В розрахунках посадки та морехідних якостей судна проектованого судна беруться до уваги проміжні між водотоннажністю повною та водотоннажністю порожнем стани навантаження, які залежать від характеру експлуатації та вимог Правил Регістру. Відповідні водотоннажності відрізняються різними сполученнями мас вантажу, палива та баласту (з конкретним вантажем та з 10 % запасів, без вантажу з повними запасами тощо).

Аналізуючи *відносну значимість розділів навантаження* цивільних суден, можна отримати такі загальні закономірності:

найкрупнішими розділами навантаження є маса корпусу та вантажу, інші розділи відіграють меншу роль;

відповідно зростанню розмірів суден росте частка дедвейту і скорочується частка водотоннажності порожнем в повній водотоннажності судна. Внаслідок цього судна стають більш ефективними в експлуатаційно-економічному відношенні;

основним компонентом дедвейту є вантаж, а водотоннажності порожнем – маса корпусу.

1.3. Контрольні запитання

1. Дайте визначення навантаженню мас судна.
2. Назвіть види навантаження.
3. Які основні відмінності між нормативним та проектним підходами до розбивки навантаження на розділи?
4. Назвіть види водотоннажності військових кораблів та цивільних суден і характерні стани навантаження суден.
5. Які розділи навантаження включають у повну водотоннажність, а які у водотоннажність порожнем?
6. Що являє собою дедвейт судна?

7. Яка відносна значимість компонентів навантаження цивільних транспортних суден?

1.4. Основні терміни та поняття

Навантаження мас	Види навантаження
Розділи навантаження	Види водотоннажності
Стани навантаження	Вантажопідйомність судна
Дедвейт	Запас водотоннажності
Водотоннажність порожнем	Стандартна водотоннажність
Повна водотоннажність	Найбільша водотоннажність
Маса корпусу	Маса обладнання
Маса енергетичної установки	Маса постачання
Маса палива	

Розділ 2. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НАВАНТАЖЕННЯ СУДНА НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ РОЗРОБКИ ПРОЕКТУ

2.1. Поняття модулів та вимірників для визначення навантаження мас

На початкових етапах розробки проекту, коли ще відсутні необхідні креслення і перелік обладнання та постачання, використовуються наближені розрахунки укрупнених складових навантаження проектного судна з використанням кореляційних залежностей між масами цих складових та елементами суден. Елементи або їх комбінації в подібних залежностях носять назву *модулів*, а коефіцієнти пропорційності – *вимірників* або *нормативів* складових навантаження. Так, наприклад, в наступних виразах для розрахунку мас корпусу та механізмів енергетичної установки (ЕУ): $P_K = q_K \times LBH$; $P_{EY} = q_{EY} \times N_{EY}$, добуток головних

розмірів судна LBH та потужність головного двигуна $N_{\text{ЕУ}}$ є модулями, а коефіцієнти $q_{\text{к}}$ та $q_{\text{ЕУ}}$ – вимірниками.

Вимірники мас визначають за статистичними даними або за навантаженням судна-прототипу. Оскільки їх значення недостатньо стабільні, для підвищення точності результатів використовують обидва шляхи. У більшості випадків користуються порівняно нескладними модулями, але намагаються підібрати для отримання значень вимірників найбільш підходящі судна-прототипи. Таким умовам можуть відповідати побудовані або спроектовані судна, максимально наближені до проектного судна за розмірами, архітектурно-конструктивним типом (АКТ), складом ЕУ та іншими технічними особливостями. Для цього часто використовуються навантаження не одного, а декількох суден-прототипів, що дозволяє отримувати найбільш підходящі значення вимірників мас. Характерною ознакою другого шляху є використання осереднених за типами та розмірами суден вимірників, відносно стабільність яких отримують за рахунок ускладнення модулів.

Слід відмітити, що визначення мас за допомогою наближених залежностей приводить до порівняно неточних результатів, однак для початкових етапів це є допустимим, тим більше, що при подальшому переході від етапу до етапу точність та достовірність розрахунків навантаження послідовно підвищується і допущені на початку неточності автоматично виправляються.

2.2. Контрольні запитання

1. Що являють собою модулі та вимірники для визначення складових навантаження?
2. Яким умовам повинні відповідати судна-прототипи?

2.3. Основні терміни і поняття

Модулі розрахунку мас

Вимірники розрахунку мас

Нормативи навантаження

Судно-прототип

Розділ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТУ У ПЕРШОМУ НАБЛИЖЕННІ

3.1. Рівняння мас та визначення водотоннажності

Рівняння мас – це аналітичний вираз рівності водотоннажності судна сумі усіх мас, що входять в його навантаження:

$$D = \sum_{i=1}^n P_i(D) + P, \quad (1)$$

де D – водотоннажність судна; $P_i(D)$ – змінні маси, які пов'язані з водотоннажністю функціональними залежностями; P – сума незалежних від водотоннажності мас, що розглядаються як постійні величини.

Існують різноманітні форми рівняння мас в залежності від розбивки навантаження мас на складові та функціональних залежностей, які прийняті для визначення кожної з мас P_i . На початкових стадіях проектування, які є предметом теорії проектування суден, обмежуються розбивкою на такі укрупнені розділи навантаження:

P_K – маса металевого корпусу;

P_O – маса обладнання (системи, судові пристрої, електрообладнання, озброєння, рідкі вантажі в корпусі тощо);

P_{EY} – маса механізмів ЕУ, яка складає головні та допоміжні механізми, масу валопроводу з підшипниками, масу обладнання машинного відділення;

$P_{ПВ}$ – маса палива, поживної води та мастила;

P_{Π} – маса постачання, команди з багажем, питної та митної води;

$P_{ЗВ}$ – запас водотоннажності;

$P_{В}$ – маса вантажу, що перевозиться, включаючи пасажирів з багажем.

В залежності від необхідності кожний вказаний розділ може розбиватися на частини, а деякі можуть бути об'єднані.

Кожна з мас P_i при проектуванні судна розглядається як функція водотоннажності або функція головних розмірів та коефіцієнтів, які характеризують форму корпусу. Окрім названих в функціональній залежності можуть входити різноманітні вимірники – параметри та нормативи. Виражаючи усі маси через водотоннажність та підставляючи їх в формулу (1), отримують *рівняння масу у функції водотоннажності*; якщо виразити маси через головні розміри, можна отримати *рівняння мас у функції головних розмірів*.

Найбільш простими та вживаними виразами, що пов'язують маси P_i з водотоннажністю D , є такі як, наприклад, вираз для маси металевго корпусу

$$P_K = a_K D. \quad (2)$$

В цьому виразі вимірник a_K називається *нормативом маси металевго корпусу* або ще *частковим коефіцієнтом* (виражає частку цієї маси в водотоннажності). Він може бути визначений за прототипом або за статистичними даними. В даному випадку водотоннажність є *модулем розрахунку маси*, а частковий коефіцієнт – її *вимірником*.

Маса обладнання визначається за формулою

$$P_O = q_O D^{2/3}. \quad (3)$$

Маса механізмів ЕУ може бути виражена як

$$P_{ЕУ} = q_{ЕУ} N_{ЕУ}, \quad (4)$$

де $N_{ЕУ}$ – потужність головних двигунів. У першому наближенні потужність головних двигунів визначається за *формулою адміралтейських коефіцієнтів*

$$N_{\text{ЕУ}} = \frac{D^{2/3} v_s^3}{C}. \quad (5)$$

У виразах (3) та (4) q_0 та $q_{\text{ЕУ}}$ – вимірники маси обладнання корпусу та ЕУ, які визначаються за допомогою прототипу у відповідності з цими виразами.

Для визначення цих та інших вимірників і характеристик можна використати дані по суднам-прототипам, наведені в дод.3.

Адміралтейський коефіцієнт C також визначається за прототипом:

$$C = \frac{\bar{D}^{2/3} \bar{v}_s^3}{\bar{N}_{\text{ЕУ}}},$$

або за статистичними даними.

Маса палива, води та мастила визначається в залежності від потужності головних двигунів, питомих витрат палива та ходового часу:

$$P_{\text{ПВ}} = k_{\text{МЗ}} q_{\text{ПВ}} N_{\text{ЕУ}} t. \quad (6)$$

У виразі (6) коефіцієнт $k_{\text{МЗ}}$ носить назву *коефіцієнта морського запасу* (призначається для збільшення кількості палива на випадок непередбачуваних затримок у рейсі). Він визначається як $k_{\text{МЗ}} = 1,1\text{--}1,2$. Питомі витрати палива, води та мастила визначаються за формулою

$$q_{\text{ПВ}} = k_1 q_{\text{ПГД}}, \quad (7)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує витрати палива, води та мастила на загальносуднові потреби: $k_1 = 1,03\text{--}1,05$ – для теплоходів; $k_1 = 1,05\text{--}1,10$ – для турбінних суден; $q_{\text{ПГД}}$ – питомі витрати палива на головний двигун, г/(кВт год).

Потужність головних двигунів $N_{\text{ЕУ}}$ визначається за формулою (5), а ходовий час – за заданим значенням дальності плавання $\mathfrak{R}$ та швидкості судна v_s : $t = \frac{\mathfrak{R}}{v_s}$.

Маси, що об'єднані у розділі "Постачання", мають невеликі значення у загальній сумі мас. У першому наближенні вони можуть прийматися як деяка частка водотоннажності

$$P_{\Pi} = a_{\Pi} D. \quad (8)$$

Запас водотоннажності, який вводиться для компенсації прорахунків у визначенні навантаження або у випадку змін, що можуть бути введені проектувальником або замовником, визначається за формулою

$$P_{\text{ЗВ}} = a_{\text{ЗВ}} D. \quad (9)$$

В залежності від стадії проекту частковий коефіцієнт запасу водотоннажності змінюється в межах: $a_{\text{ЗВ}} = 0,01 \dots 0,05$. Іноді запас водотоннажності призначається в абсолютних одиницях (він може бути також від'ємним). Тоді він приймається величиною постійною і в рівнянні мас буде відноситися до розряду заданих мас (разом з масою вантажу чи пасажирів).

Після підстановки виразів (2)–(9) у формулу (1) та введення позначень рівняння мас буде мати вигляд:

$$nD - mD^{2/3} = P. \quad (10)$$

Вирішення такого кубічного рівняння можна отримати способом підстановки (графічне вирішення) [3,19], методом простої ітерації або способом О.М.Крилова. В останньому випадку його слід привести до

вигляду $D - \frac{m}{n} D^{2/3} = \frac{P}{n}$, ввести позначення $\frac{m}{n} = \alpha$ та $\frac{P}{n} = A$ і отримати:

$$D - \alpha D^{2/3} = A.$$

Використовуючи підстановку О.М.Крилова $D^{1/3} = \alpha y$, отримаємо $\alpha^3 y^3 - \alpha^3 y^2 = A$, або остаточно: $y^3 - y^2 = \frac{A}{\alpha^3}$.

Останнє рівняння вирішується за допомогою таблиці квадратів та кубів чисел шляхом підбору такого значення y , різниця куба та квадрата якого дорівнювала б чисельно відомій правій частині цього рівняння.

П р и к л а д . Припустимо $\frac{A}{\alpha^3} = 180$. Використовуючи таблицю кубів та квадратів чисел, будемо мати

y	y^2	y^3	$y^3 - y^2$
-----	-------	-------	-------------

6	36	216	180
---	----	-----	-----

Як видно з фрагменту таблиці, різниці $y^3 - y^2 = 180$ відповідає $y = 6$.
Тоді водотоннажність може бути підрахована як $D = \alpha^3 y^3$, де $\alpha^3 = \left(\frac{m}{n}\right)^3$ – визначено раніше, а $y^3 = 216$.

Враховуючи рівняння плавучості $D = \rho_{\text{МВ}} \delta LBT$ ($\rho_{\text{МВ}}$ – питома маса морської води, т/м³), вираз для маси корпусу $P_K = q_K LBH$, а також (3)–(9), рівняння мас можна привести до вигляду

$$\rho_{\text{МВ}} \delta LBT \left(1 - a_{\Pi} - a_{\text{ЗВ}} - q_K \frac{H}{T \rho_{\text{МВ}} \delta} \right) = (\rho_{\text{МВ}} \delta LBT)^{2/3} \left(q_O + q_{\text{ЕУ}} \frac{v_s^3}{C} + q_{\text{ПВ}} k_{\text{МЗ}} \frac{v_e^2}{C_e} \Re \right) + P_B. \quad (11)$$

В рівнянні (11) v_e – експлуатаційна швидкість: $v_e = v_s - (0,5 - 1,0 \text{ вуз.})$, а C_e – адміралтейський коефіцієнт, визначений за прототипом для експлуатаційної швидкості; q_K , q_O , $q_{\text{ЕУ}}$, $q_{\text{ПВ}}$ – нормативи маси сталюого корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, води та мастила відповідно. Рівняння (11) являє собою рівняння мас у функції головних розмірів судна.

Запишемо рівняння мас (1) у вигляді:

$$D = P_K + P_{\text{ОК}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\text{ПВ}} + P_{\Pi} + P_{\text{ЗВ}} + P_B.$$

Враховуючи (2)–(9), будемо мати рівняння мас в розгорнутому вигляді

$$D = a_K D + q_{\text{ОК}} D^{2/3} + q_{\text{ЕУ}} \frac{D^{2/3} v^3}{C} + q_{\text{ПВ}} \frac{D^{2/3} v^3}{C} \frac{\Re}{v_e} + a_{\Pi} D + a_{\text{ЗВ}} D + P_B. \quad (12)$$

Виконавши усі необхідні підстановки в це рівняння, приведемо його до вигляду (10) і вирішимо відносно D .

Таким чином, будемо мати *водотоннажність першого наближення*, яку позначимо як D_1 .

Далі отримана водотоннажність першого наближення повинна бути розподілена за розділами навантаження з урахуванням виразів для їх визначення в (2)–(9). Перевіркою служить виконання рівності з точністю до третього знаку включно:

$$D_1 = P_{K1} + P_{O1} + P_{EY1} + P_{PB1} + P_{П1} + P_{ЗВ1} + P_B,$$

де $P_{П1}$ – розділи навантаження першого наближення.

3.2. Визначення характеристик форми корпусу

Визначенню головних розмірів судна повинно передувати визначення *безрозмірних характеристик форми корпусу*. На даному етапі це будуть *відносна довжина та коефіцієнти повноти корпусу*: коефіцієнт загальної повноти δ , коефіцієнт повноти площі ватерлінії α , коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута β та коефіцієнт поздовжньої повноти φ .

Відносна довжина першого наближення l_1 визначається за емпіричною формулою

$$l_1 = (2 + \frac{2}{\sqrt[3]{D_1}})v^{1/3}. \quad (13)$$

Тоді довжина між перпендикулярами може бути визначена як $L_1 = lD_1^{1/3}$.

Знаючи L_1 , можемо отримати число Фруда:

$$Fr = \frac{0,514v_s}{\sqrt{gL_1}},$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с².

Коефіцієнти форми корпусу визначаються в залежності від числа Фруда. Так, при визначенні коефіцієнта загальної повноти δ можна орієнтуватися на значення, отримувані з модифікованих формул Ейра [25]: $\delta = 1,09 - 1,68Fr$ – для суховантажних суден; $\delta = 1,05 - 1,4Fr$ – для танкерів.

Ці формули можна використовувати для числа Фруда в межах: $Fr = 0,15 - 0,30$.

Для танкерів сучасних обводів можна застосовувати таку формулу [40]

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

а для танкерів з повними обводами формулу з роботи [39].

Для чисел Фруда $Fr \leq 0,28$ добре погоджується з практичними даними, що характеризують сучасні суховантажні судна, формула Штумпфа [25]

$$\delta = 0,992 - 0,501Fr - 3,915Fr^2.$$

Можна також скористуватися формулою А.М.Вашедченко, яка дає непогані результати у широкому діапазоні чисел Фруда для усіх типів суден:

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

Відмітимо, що вибір остаточного значення коефіцієнта δ для визначеного числа Фруда можливий лише в результаті оптимізації проекту в цілому. При попередньому оцінюванні характеристик форми, як прийнято на даному етапі розробки проекту, можна приймати осереднені значення цього коефіцієнта, орієнтуючись на прототип.

Коефіцієнт повздовжньої повноти [50]

$$\varphi = 0,04 + 0,96 \delta.$$

Коефіцієнт повноти ватерлінії [50]

$$\alpha = \begin{cases} 0,8780 \varphi + 0,1733 & \text{при } \varphi < 0,85; \\ 0,6 \varphi + 0,4 & \text{при } \varphi \geq 0,85. \end{cases}$$

Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута

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

Враховуючи те, що значення цього коефіцієнта змінюється несуттєво і вплив його незначний, його можна приймати за прототипом.

Відносне значення абсциси центра величини (ЦВ) обчислюється або за прототипом

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

де $\bar{x}_c$ – абсциса ЦВ прототипу, м; $\bar{L}$ – довжина між перпендикулярами судна прототипу, або за наближеною залежністю [40]:

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

3.3. Визначення головних розмірів та їх відношень

Головні розміри проекту можна визначити, якщо відомі їх відношення.

Відношення висоти борту до осадки в значній мірі впливає на об'єм вантажних приміщень, непотоплюваність та остійність. При його визначенні у першому наближенні будемо враховувати тільки виконання умов вантажомісткості. Перевірка інших умов буде виконуватися у розд.4.

Так, для суден, які перевозять сухі вантажі, відношення висоти борту до осадки може бути виражене [18]

$$\left(\frac{H}{T}\right)_1 = (1,07\mu_B\eta_B + 0,16)k_e, \quad (14)$$

де μ_B – *питома вантажна кубатура вантажу*, яка вказана у завданні на проектування, м³/т; $\eta_B = P_B/D$ – *коефіцієнт утилізації водотоннажності по вантажопідйомності* (або *частковий коефіцієнт вантажу*), який приймається за прототипом; k_e – поправочний коефіцієнт (екстраполяції), визначення якого пов'язане з використанням значення $\left(\frac{H}{T}\right)$ прототипу як екстраполятора:

$$k_e = \left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right) / \left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)_P, \quad (15)$$

де $\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)$ – фактичне відношення висоти борту до осадки прототипу;

$\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)_p$ – те ж відношення для прототипу, але розраховане за формулою

(14) при $k_e = 1,0$.

Рівняння (14) носить назву *рівняння вантажомісткості*.

Для танкера рівняння вантажомісткості має вигляд [18]

$$\left(\frac{H}{T}\right) = \left(\frac{1,08\eta_B}{L_T/L\rho_B} + \eta_B\right) \frac{\delta}{\delta_T} k_e, \quad (16)$$

де L_T – довжина танкової (вантажної) частини корпусу, м; L – довжина судна між перпендикулярами, м; ρ_B – густина рідкого вантажу, т/м³;

$\delta_T = \frac{W_B}{L_TBH}$ – коефіцієнт повноти танкової частини, що визначається за прототипом; W_B – об'єм вантажних танків, розміщених на довжині L_T , м³;

$\eta_B = \bar{P}_B/\bar{D}$ – коефіцієнт баластування (для його визначення використовується прототип); $\bar{P}_B$ – маса баласту прототипу, т; $\bar{D}$ – його водотоннажність.

В формулу (16) також вводиться коефіцієнт екстраполяції k_e , який розраховується як в (15).

Відношення ширини до осадки на даній стадії розрахунків можна прийняти за прототипом:

$$\left(\frac{B}{T}\right)_1 = \left(\frac{\bar{B}}{\bar{T}}\right). \quad (17)$$

За відсутністю прототипу або у випадках, коли потрібно уточнити значення відношення ширини до осадки $\left(\frac{B}{T}\right)_1$ його можна отримати з умови остійності:

$$h = \rho + z_c - z_g,$$

де h – метацентрична висота; ρ – поперечний метацентричний радіус; z_g – апліката ЦМ; z_c – апліката ЦВ.

Запишемо вираз для відносної метацентричної висоти у вигляді

$$\frac{h}{B} = \psi_p \frac{B}{T} + \psi_c \frac{T}{B} - \zeta_g \frac{H}{T} \frac{T}{B},$$

де $\psi_p = \frac{k_s \alpha^2}{12\delta}$; $k_s = \begin{cases} 1,06 \pm 0,05 & \text{для } s - \text{подібних ватерліній;} \\ 1,03 \pm 0,05 & \text{для випуклих ватерліній;} \end{cases}$

$$\psi_c = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\delta} \right)^{1/2}; \quad \zeta_g = \frac{\bar{z}_g}{H} - \text{відносна апліката ЦМ судна, яка може бути}$$

визначена за прототипом.

Якщо задати величину $\frac{h}{B}$, можна отримати квадратне рівняння, вирішене відносно $\frac{B}{T}$ у вигляді:

$$\frac{B}{T} = \frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - b},$$

де $a = \frac{h}{B} \frac{1}{\xi_p}$; $b = \frac{\psi_c - \zeta_g \frac{H}{T}}{\psi_p} \frac{H}{T}$ - може бути обчислене за формулами

(14) або (16).

Враховуючи практику проектування та експлуатації суден, для яких задовольняється аварійна остійність та забезпечується плавність хитавиці, значення відносної метацентричної висоти можна приймати:

для суховантажних суден

$$0,03 \leq \frac{h}{B} \leq 0,05;$$

для танкерів, газовозів, навалочних суден

$$0,08 \leq \frac{h}{B} \leq 0,15.$$

Для всіх видів суховантажних суден $\frac{h}{B}$ в першому наближенні можна визначати також за модифікованою формулою Нідермаєра

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

де B_0 – очікувана ширина проекту, яку можна визначити через ширину прототипу: $B_0 = \bar{B} \left(\frac{D_1}{D} \right)^{1/3}$.

Умову остійності судна можна також використати для обмежень відношення $\frac{B}{T}$ проєктованого судна. Воно повинно бути таким, щоб при плаванні на хвилюванні судно не зазнавало різкої хитавиці. Тому значення $\frac{B}{T}$ потрібно обмежити зверху. Для цього потрібно використати відому формулу Ховгарда, яку називають також "капітанською" формулою:

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

де $[\tau]$ – допустимий період хитавиці, який відповідно до Правил Регістру [32] повинен бути не менший ніж 12 с; c_τ – коефіцієнт впливу моменту інерції маси судна на період його хитавиці (для транспортних суден його можна прийняти як $0,74 \leq c_\tau \leq 0,82$).

Відношення довжини до ширини проєктованого судна визначається з умови ходовості

$$\left(\frac{L}{B} \right)_1 = \sqrt{\frac{l_1^3 \delta k_{\text{вч}} \rho_{\text{мв}}}{\left(\frac{B}{T} \right)_1}}. \quad (18)$$

Слід відзначити, що відношення $\frac{L}{B}$ на даний час повинно вибиратися не тільки з урахуванням вимог ходовості, але й з умови впливу з неї маси корпусу, яка є мінімальною, як правило, при значеннях $\frac{L}{B} < 6,0$. Тому, визначивши його за виразом (18), потрібно порівняти це значення з відповідним значенням прототипу і прийняти рішення.

Маючи відношення головних розмірів та водотоннажність першого наближення, вирішимо рівняння плавучості у вигляді

$$D_1 = k_{\text{вч}} \rho_{\text{мв}} \delta L_1 B_1 T_1, \quad (19)$$

де $k_{\text{вч}}=1,005\dots1,02$ – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи теоретичного креслення (ТК) частини корпусу (килі, зовнішня обшивка, руль, гвинт). Вирішення рівняння (19) можна отримати, наприклад, якщо підставити вирази для L_1 та T_1 через B_1 з (17), (18)

$$D_1 = k_{\text{вч}} \rho_{\text{мв}} \delta \left(\frac{L}{B} \right)_1 B_1^3 \left(\frac{T}{B} \right)_1, \quad (20)$$

а потім визначити ширину судна як

$$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/T)_1}{k_{\text{вч}} \rho_{\text{мв}} \delta (L/B)_1}}, \quad (21)$$

а довжину, осадку та висоту борту через $\left(\frac{L}{B} \right)_1$, $\left(\frac{T}{B} \right)_1$ і $\left(\frac{H}{T} \right)_1$.

Правильність вирішення можна перевірити, якщо підставити отримані значення L_1 , T_1 , B_1 в (19). Рівність повинна виконуватися з точністю до трьох знаків включно.

3.4. Контрольні запитання та завдання

1. Що являє собою рівняння мас проектного судна?
2. Назвіть укрупнені розділи навантаження, які входять до рівняння мас.
3. Які основні форми рівняння мас ви знаєте?
4. Як визначаються вимірники мас, що складають навантаження судна?
5. Як у першому наближенні визначається потужність головних двигунів?
6. Що називається запасом водотоннажності?
7. Опишіть способи вирішення рівняння мас.
8. Напишіть рівняння мас у функції водотоннажності.
9. Як отримати водотоннажність проектного судна у першому наближенні?

10. Назвіть безрозмірні характеристики форми корпусу судна.
11. Як визначається довжина між перпендикулярами судна у першому наближенні?
12. Запишіть вирази для обчислення коефіцієнтів форми корпусу у першому наближенні.
13. Як обчислюється абсциса центра величини?
14. На що впливає відношення висоти борту до осадки?
15. Що таке питома вантажна кубатура вантажу?
16. Що називається коефіцієнтом утилізації водотоннажності по вантажопідйомності (частковим коефіцієнтом вантажу)?
17. Запишіть рівняння вантажомісткості для суховантажних суден.
18. Який вигляд має рівняння вантажомісткості для наливних суден?
19. Як на першому етапі визначається відношення ширини судна до осадки?
20. Запишіть рівняння для відносної метацентричної висоти.
21. Запишіть капітанську формулу і дайте пояснення.
22. Яка умова служить для визначення відношення довжини судна до ширини?
23. Вирішіть рівняння плавучості відносно ширини судна.
24. Як визначаються головні розміри судна у першому наближенні?

3.5. Основні терміни і поняття

Рівняння мас	Рівняння мас в функції водотоннажності
Рівняння мас в функції головних розмірів	Норматив маси металевого корпусу
Частковий коефіцієнт	Формула адміралтейських коефіцієнтів
Адміралтейський коефіцієнт	Коефіцієнт морського запасу
Питома витрати палива	Спосіб підстановки Крилова

Експлуатаційна швидкість	Водотоннажність першого наближення
Безрозмірні характеристики	Відносна довжина форми корпусу
Питома вантажна кубатура	Коефіцієнти повноти форми корпусу
Рівняння вантажомісткості	Коефіцієнт утилізації водотоннажності
Коефіцієнт виступаючих частин	Умова остійності
Відносна метацентрична висота	Умова ходовості
Капітанська формула	

Розділ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТУ У ДРУГОМУ НАБЛИЖЕННІ

4.1. Уточнений розрахунок потужності головного двигуна та його вибір. Розробка схеми загального розташування

Оскільки в рівнянні мас першого наближення потужність головних двигунів визначалась наближено, значення її у другому наближенні потрібно уточнити. Збільшення або зменшення значення потужності приведе до зміни маси палива та механізмів ЕУ і як результат – водотоннажності. Ці зміни будуть враховані рівнянням мас другого наближення.

Для визначення уточненого значення $N_{\text{ЕУ}}$ на даному етапі проектування можна використати метод Холтропа [51]. Розрахунки проводяться на ЕОМ за допомогою програми, що входить у комплекс учбових програм. Для вибору головного двигуна можна використати дані дод.4, в якому наведено каталог сучасних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Вибираються потужність, частота обертання, питомі витрати палива та основні розміри двигуна.

На наступному етапі потрібно провести початкову розробку схеми загального розташування проекту. Для цього за вибраною довжиною головного двигуна визначається довжина машинного відділення (МВ) у відповідності з [7, 8]:

$$L_{\text{МВ}} = \frac{\bar{L}_{\text{МВ}}}{\bar{L}_{\text{ГД}}} L_{\text{ГД}},$$

де $\bar{L}_{\text{ГД}}$ $L_{\text{ГД}}$ – відповідно довжина головного двигуна прототипу та проекту судна, м, або за наближеною залежністю

$$L_{\text{МВ}} = 11 + 0,14\sqrt{N_{\text{ЕУ}}}.$$

Далі за допомогою прорисовки визначають довжину вантажної частини, форпіка, ахтерпіка та бака і узгоджують ці значення з Правилами Регістру [32]. Отримані величини є вихідними даними для задач наступного етапу (підрозд.4.2).

4.2. Вирішення рівняння мас другого наближення. Розрахунок головних розмірів та складових навантаження мас

У другому наближенні доцільно використовувати рівняння мас, виражених у функції головних розмірів. Складемо це рівняння мас дещо в іншому вигляді ніж (11), враховуючи рівняння плавучості, вирази для мас металевго корпусу $P_{\text{МК}} = q_{\text{МК}} \delta_{\text{П}} LBH$ та обладнання корпусу $P_{\text{ОК}} = q_{\text{ОК}} (LBH)^{2/3}$, а також значення потужності головних двигунів $N_{\text{ЕУ}}$, взяті з каталогу:

$$D \left(1 - q_{\text{МК}} \frac{\delta_{\text{П}}}{\delta} \frac{H}{T} \frac{1}{\rho_{\text{МВ}} k_{\text{МЗ}}} - a_{\text{П}} - a_{\text{ЗВ}} \right) = D^{2/3} \left(q_{\text{ОК}} \left(\left(\frac{H}{T} \right) \frac{1}{\rho_{\text{МВ}} k_{\text{МЗ}} \delta} \right)^{2/3} \right) + q_{\text{ЕУ}} N_{\text{ЕУ}} + q_{\text{ПВ}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{е}} \frac{\Re}{v_{\text{е}}} + P_{\text{В}}. \quad (22)$$

В рівнянні (22) усі величини описані вище, окрім коефіцієнта повноти повного об'єму корпусу судна (по верхню палубу) $\delta_{\text{П}}$, який може бути визначений або за прототипом, або за допомогою емпіричного

виразу $\delta_{\Pi} = \delta \frac{T}{H} + 1,05\alpha \left(1 - \frac{T}{H}\right)$, та $N_{\text{ЕУ}}^{\text{е}}$ – потужності головного двигуна, яка відповідає експлуатаційній швидкості $v_{\text{е}}$.

Значення відношення $\left(\frac{T}{H}\right)$ приймається у виразі для δ_{Π} за результатами першого наближення.

Вирішивши рівняння мас будь-яким придатним способом, визначення головних розмірів проекту другого наближення та їх перевірку проводять відповідно до підрозд. 3.3.

Розбивка навантаження мас на окремі укрупнені складові проводиться з урахуванням виразів для них в (22).

При виконанні дипломного проекту судна виконується детальний розрахунок складових водотоннажності [13]. Оскільки складові дедвейту судна відомі з попередніх розрахунків, то основна увага приділяється розрахунку складових водотоннажності порожнем. При цьому маса судна порожнем обчислюється як сума 28 укрупнених розділів навантаження: металевий корпус, надбудова, фундаменти та підкріплення, дільні речі, ізоляція, покриття, обладнання приміщень, судові пристрої і системи, енергетична та електроенергетична установка, рідкий вантаж, з використанням загальноприйнятих в теорії проектування суден модулів $(LBH)^{2/3}$, LBH , LB , $N_{\text{ЕУ}}$, тощо:

$$D_{\text{ПОР}} = \sum_{i=1}^{28} P_i .$$

Маса металевих корпусу (без маси надбудови) розраховується за залежністю, розробленою на основі обробки великої кількості статистичних даних:

$$P_1 = q_{\text{МК}} \delta^{0,334} L^{1,759} B^{0,712} H^{0,2} T^{0,374} ,$$

де $q_{\text{МК}}$ – вимірник маси металевих корпусу, який знаходиться за залежністю

$$q_{\text{МК}} = \frac{\bar{P}_1}{\bar{\delta}^{0,334} \bar{L}^{1,759} \bar{B}^{0,712} \bar{H}^{0,2} \bar{T}^{0,374}} ,$$

де $\bar{P}_1$ – маса металевого корпусу прототипу.

Конструктивні відмінності проекту судна від прототипу (інша кількість палуб, наявність поздовжніх перебірок, зміна льодового класу) враховуються за допомогою поправочних коефіцієнтів:

$$q_{\text{МК}} = q_{\text{МК}}^0 k_{\text{Л}} k_{\text{П}} k_{\text{Р}} \dots,$$

де $k_{\text{Л}}$, $k_{\text{П}}$, $k_{\text{Р}}$ – коефіцієнти впливу конструктивних особливостей судна.

Наприклад, вплив на масу металевого корпусу льодового класу визначається за допомогою коефіцієнта $k_{\text{Л}}$, який можна обчислити за формулою [48]

$$k_{\text{Л}} = 1 + n \left(0,025 - \frac{0,017D}{180000} \right),$$

де D – водотоннажність судна по проектну осадку, т; n – коефіцієнт, який приймається з табл.4.1 в залежності від льодового класу [48].

Вплив на масу металевого корпусу кількості палуб враховується за допомогою коефіцієнта палубності [49]

$$k_{\text{П}} = 1 + (n_{\text{ПАЛ}} - 1)/50,$$

де $n_{\text{ПАЛ}}$ – кількість палуб судна.

Таблиця 4.1. Коефіцієнт впливу льодового класу на масу металевого корпусу судна

Клас судна	ЛП2	ЛП3	ЛП4	ЛП5
n	1	2	3	4

Маса надбудови

$$P_2 = q_{\text{НБ}} V_{\text{НБ}},$$

де $q_{\text{НБ}} = \frac{\bar{P}_2}{\bar{V}_{\text{НБ}}}$ – вимірник маси надбудови; $\bar{P}_2$, $\bar{V}_{\text{НБ}}$ – відповідно маса та

об'єм надбудови прототипу.

Маса фундаментів, підкріплення

$$P_3 = \bar{P}_3 \frac{LBH}{\bar{L}\bar{B}\bar{H}},$$

де $\bar{P}_3$ – маса фундаментів прототипу; $\bar{L}\bar{B}\bar{H}$ – кубічний модуль прототипу.

Маса дільних речей P_4 , ізоляції та зашивки P_5 , покриття, пофарбування P_6

$$P_{4,5,6} = \bar{P}_{4,5,6} \frac{(LBH)^{2/3}}{(\bar{L}\bar{B}\bar{H})^{2/3}},$$

де $\bar{P}_4$, $\bar{P}_5$, $\bar{P}_6$ – маса дільних речей, ізоляції та зашивки, покриття, пофарбування прототипу.

Маса обладнання приміщень, постів

$$P_7 = \bar{P}_7 \frac{N_{\text{ЕК}}}{\bar{N}_{\text{ЕК}}},$$

де $\bar{P}_7$ – маса обладнання приміщень, постів прототипу; $\bar{N}_{\text{ЕК}}$ – кількість членів екіпажу прототипу.

Маса повітря в корпусі

$$P_8 = \bar{P}_8 \frac{D}{\bar{D}},$$

де $\bar{P}_8$ – маса повітря в корпусі прототипу; $\bar{D}$ – водотоннажність прототипу.

Маса рульового пристрою

$$P_9 = \bar{P}_9 \frac{LT\bar{v}_s^2}{\bar{L}\bar{T}\bar{v}_s^2},$$

де $\bar{P}_9$ – маса рульового пристрою прототипу; $\bar{v}_s$ – експлуатаційна швидкість прототипу, вуз.

Маса якірного пристрою

$$P_{10} = \bar{P}_{10} \frac{D^{2/3} + 2,3BH}{\bar{D}^{2/3} + 2,3\bar{B}\bar{H}},$$

де $\bar{P}_{10}$ – маса якірного пристрою прототипу.

Маса швартовного, буксирного пристроїв

$$P_{11} = \bar{P}_{11} \frac{BT}{\overline{BT}},$$

де $\bar{P}_{11}$ – маса швартовного та буксирного пристроїв прототипу.

Маса шлюпкового, рятувального пристроїв

$$P_{12} = \bar{P}_{12} \frac{N_{\text{ЕК}}}{\overline{N}_{\text{ЕК}}},$$

де $\bar{P}_{12}$ – маса шлюпкового та рятувального пристроїв прототипу.

Маса вантажного пристрою P_{13} , рангоуту та такелажу P_{14} та інших пристроїв P_{15}

$$P_{13,14,15} = \bar{P}_{13,14,15} \frac{LBH}{\overline{LBH}},$$

де $\bar{P}_{13}$, $\bar{P}_{14}$, $\bar{P}_{15}$ – маса вантажного пристрою, рангоуту та такелажу, інших пристроїв прототипу.

Масу систем судна (трюмної P_{16} , протипожежної P_{17} , побутового водозабезпечення P_{18} , вентиляції P_{19} , рефрижерації P_{20} , інших систем P_{21} та механізмів систем P_{22}) обчислюється через кубічний модуль LBH . Так, наприклад, маса трюмних систем розраховується за формулою

$$P_{16} = \bar{P}_{16} \frac{LBH}{\overline{LBH}},$$

де $\bar{P}_{16}$ – маса вантажної системи прототипу.

Маса енергетичної установки

$$P_{23} = P_{\text{ГД}} + (\bar{P}_{23} - \bar{P}_{\text{ГД}}) \frac{N_{\text{ЕУ}}}{\overline{N}_{\text{ЕУ}}},$$

де $\bar{P}_{23}$, $\bar{N}_{\text{ЕУ}}$ – відповідно маса і потужність енергетичної установки прототипу; $\bar{P}_{\text{ГД}}$ – маса головного двигуна прототипу.

Маса електроенергетичної системи, внутрішньосуднового зв'язку, керування

$$P_{24} = \bar{P}_{24} \frac{N_{\text{ЕУ}}}{\overline{N}_{\text{ЕУ}}},$$

де $\bar{P}_{24}$ – маса електроенергетичної системи прототипу.

Маса озброєння

$$P_{25} = \bar{P}_{25} \frac{D}{\bar{D}},$$

де $\bar{P}_{25}$ – маса озброєння прототипу.

Маса запасних частин

$$P_{26} = \bar{P}_{26} \frac{N_{\text{ЕУ}}}{\bar{N}_{\text{ЕУ}}},$$

де $\bar{P}_{26}$ – маса запасних частин прототипу.

Маса постійних рідких вантажів в корпусі судна

$$P_{27} = \bar{P}_{27} \frac{LB}{\bar{LB}},$$

де $\bar{P}_{27}$ – маса постійних рідких вантажів в корпусі судна прототипу.

Запас водотоннажності, остійності

$$P_{28} = \bar{P}_{28} \frac{D}{\bar{D}},$$

де $\bar{P}_{28}$ – маса запасу водотоннажності та остійності прототипу.

Визначимо сумарну масу укрупнених складових навантаження:

маса корпусу судна

$$P_{\text{К}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8;$$

маса суднових пристроїв

$$P_{\text{ПР}} = P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15};$$

маса суднових систем

$$P_{\text{С}} = P_{16} + P_{17} + P_{18} + P_{19} + P_{20} + P_{21} + P_{22};$$

водотоннажність порожнем

$$D_{\text{ПОР}} = P_{\text{К}} + P_{\text{ПР}} + P_{\text{С}} + P_{23} + P_{24} + P_{25} + P_{26} + P_{27} + P_{28}.$$

Потім обчислюється фактична вантажопідйомність судна за залежністю

$$P_{\text{В1}} = D_1 - D_{\text{ПОР}} - P_{\text{ПВ}} - P_{\text{П}},$$

та порівнюється з заданою. Якщо відносна похибка розрахунку

$\Delta P_B = \frac{|P_{Bl} - P_B|}{P_{Bl}}$ перевищує 0,5 %, то обчислюється водотоннажність у другому наближенні

$$D_2 = \frac{P_B}{P_{Bl}} D_1.$$

Після обчислення коефіцієнта

$$\lambda = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

головні елементи судна та потужність головного двигуна у другому наближенні розраховуються за залежностями [26]:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{B_2}{B_1} = \frac{H_2}{H_1} = \frac{T_2}{T_1} = \lambda;$$

$$\frac{N_{EV}^2}{N_{EV}^1} = \lambda^2.$$

Коефіцієнти повноти судна залишають незмінними. Далі обчислюють водотоннажність порожнем і т.д. Процес повторюється до виконання заданої точності розрахунків.

Після уточненого розрахунку водотоннажності приступають до розрахунків ординат теоретичного креслення (ТК) та його побудови. Потім розробляють епюру ємності судна та креслення загального розташування судна.

4.3. Розрахунок ординат теоретичного креслення. Перевірка вантажомісткості та остійності

Для проектування обводів ТК можна використовувати учбову програму *LS* або систему *SDS*. Вони дають можливість спроектувати за допомогою програмних комплексів для ЕОМ обводи ТК суховантажних суден, танкерів, транспортних рефрижераторів, контейнеровозів, накатних та навалочних суден [17].

Програми *LS* та *SDS* дозволяють також отримати характеристики місткості та остійності проекту, якими можна скористуватися для перевірки вантажомісткості, а також початкової остійності, параметрів діаграми статичної остійності та критерію погоди у відповідності до Правил Регістру [32]. Якщо відношення головних розмірів було вибрано правильно, тобто вимоги з вантажопідйомності та остійності виконуються, необхідно приймати отримані значення головних розмірів за остаточні. В протилежному випадку слід відкоригувати ці відношення, ще раз вирішити рівняння мас другого наближення та провести усі необхідні наступні розрахунки.

Після остаточного вибору головних розмірів проекту приступають до побудови ТК.

4.4. Контрольні запитання і завдання

1. Для чого необхідно проводити уточнений розрахунок потужності головного двигуна?
2. Які характеристики головного двигуна слід вибирати?
3. Опишіть розробку схеми загального розташування проектованого судна.
4. Напишіть вирази для мас металевого корпусу та обладнання корпусу, які використовуються в рівнянні мас другого наближення.
5. Напишіть вираз для визначення маси палива.
6. Напишіть рівняння мас другого наближення.
7. Як, використовуючи рівняння мас, провести розбивку навантаження на окремі складові?
- 8 Назвіть основні складові водотоннажності порожнем, які використовуються при уточнених розрахунках.

4.5. Основні терміни і поняття

Схема загального розташування	Довжина машинного відділення
Довжина вантажної частини	Довжина форпіка
Довжина ахтерпіка	Коефіцієнт повноти повного об'єму корпусу судна
Укрупнені розділи навантаження	Конструктивні особливості судна
Льодовий клас судна	Коефіцієнт палубності
Кубічний модуль	

Розділ 5. ВИКОРИСТАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ МАС

5.1. Диференціальне рівняння мас. Коефіцієнт Нормана

За допомогою *диференціального рівняння мас Нормана* можна визначити приріст водотоннажності судна-прототипу, який спричинений змінами техніко-експлуатаційних показників цього судна, вимірників змінних мас і абсолютних значень постійних мас, що входять у навантаження. Іншими словами, це рівняння дозволяє знайти водотоннажність проектного судна, яке відрізняється від прототипу вантажопідйомністю, швидкістю, дальністю плавання, вимірниками маси корпусу і механізмів (наприклад, у зв'язку з переходом до іншої категорії льодових підкріплень, іншого типу енергетичної установки) та іншими характеристиками.

Таке рівняння мас використовується здебільшого у випадках, коли розбіжність значень вказаних характеристик проекту та прототипу невелика.

Диференціальне рівняння мас отримують диференціюванням вихідного алгебраїчного рівняння мас, складеного відповідно до

навантаження судна – прототипу, у якому усі змінні маси виражені у функції водотоннажності:

$$P = D - F(D, a, b, c, \dots), \quad (23)$$

де P – постійні маси, які не залежать від водотоннажності судна; D – водотоннажність прототипу; $F = \sum P_i$ – сума усіх змінних мас, які залежать від водотоннажності судна D , його техніко-експлуатаційних характеристик і вимірників $a, b, c, \dots$

Після диференціювання отримаємо:

$$dP = dD - dF = dD - \frac{dF}{\partial D} dD - \frac{dF}{\partial a} da - \frac{dF}{\partial b} db - \frac{dF}{\partial c} dc \dots$$

Запишемо це рівняння у вигляді:

$$dP = dD - \frac{dF}{\partial D} dD - [dF]_0, \quad (24)$$

де $[dF]_0$ – повний диференціал функції F (тобто усіх змінних мас) по всім незалежним змінним $a, b, c, \dots$ окрім водотоннажності.

З останнього рівняння отримаємо пошукуваний приріст водотоннажності у вигляді:

$$dD = \frac{dP + [dF]_0}{1 - \left(\frac{\partial F}{\partial D}\right)}. \quad (25)$$

Введемо позначення

$$\eta_H = \frac{1}{1 - \left(\frac{\partial F}{\partial D}\right)}, \quad (26)$$

яке називається *коефіцієнтом Нормана*. Вираз для dD запишеться так:

$$dD = \eta_H \{dP + [dF]_0\}. \quad (27)$$

Останній вираз і являє собою *диференціальне рівняння мас Нормана*. Кожна з величин цього рівняння має чітке фізичне значення: dD – пошукуваний приріст водотоннажності прототипу, обумовлений змінами P та $a, b, c, \dots$, тобто величинами $dP, da, db, dc, \dots$, які є заданими; dP – приріст постійних мас, що не залежать від водотоннажності, в першу чергу,

вантажопідйомності прототипу; $[dF]_0$ – приріст усіх змінних мас, обумовлений змінами швидкості, дальності плавання, вимірників мас, пропульсивних та інших характеристик прототипу.

Оскільки прирости P та $F = \sum P_i$, які обумовлені вимогами завдання на проектування нового судна, що відрізняється від прототипу вантажопідйомністю, швидкістю та іншими характеристиками, визивають відповідний приріст водотоннажності, це, в свою чергу, є причиною повторного збільшення (або зменшення) цих же мас. Наприклад, збільшення швидкості v на величину dv приведе до збільшення потужності головного двигуна, а відповідно мас механізмів і палива P_M і $P_{ПВ}$. Разом з тим виросте і водотоннажність судна, що приведе до росту опору води його рухові. Так як задана швидкість повинна бути витримана, то необхідно буде ще збільшити $N_{ЕУ}$, відповідно і маси P_M і $P_{ПВ}$. Одночасно збільшаться і інші змінні маси, які залежать від водотоннажності, в першу чергу, маса корпусу судна. Цей повторний вплив приросту мас, що входять у навантаження прототипу (як змінних, так і постійних), на всі інші змінні маси через приріст водотоннажності і враховується введенням в останнє рівняння коефіцієнта Нормана. Значення цього коефіцієнта завжди більше одиниці, причому воно буде тим більше, чим більша частка змінних мас у навантаженні судна, тобто у суден з відносно важкими корпусами, у швидкохідних суден з потужними енергетичними установками та великою дальністю плавання.

При практичному використанні диференціального рівняння мас диференціали d_i замінюються на кінцеві прирости Δ_i . Неминуча похибка розрахунків, яка виникає при цьому, є прийнятною, якщо, наприклад, приріст швидкості не перевищує 4–5 %, а водотоннажності 20 %.

У суден одного типу значення η_H коливається в порівняно вузьких межах. Танкери та судна для перевезення масових вантажів мають $\eta_H = 1,2–1,7$; універсальні суховантажні судна – $\eta_H = 1,5–1,8$; пасажирські судна – $\eta_H = 1,8–2,2$; У бойових кораблів η_H , як правило, більше 3,0.

Щоб вирішити рівняння (27) і знайти dD , а потім і $D_1 = D + dD$, необхідно попередньо отримати розрахункові вирази для η_H , $[dF]_0$ та обчислити їх значення.

Показати як отримуються вказані розрахункові вирази можна на наступному прикладі. Записується вихідний вираз функції F

$$F = \sum P_i = P_K + P_M + P_{ПВ} + \dots = q_K D + q_M \frac{D^{\frac{2}{3}} v^3}{C} + q_{ПВ} \Re \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E^2}{C_E} + \dots, \quad (28)$$

від якого береться часткова похідна по D :

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial D} &= \sum \frac{\partial P_i}{\partial D} = \frac{\partial(q_K D)}{\partial D} + \frac{\partial\left(q_M \frac{D^{\frac{2}{3}} v^3}{C}\right)}{\partial D} + \frac{\partial\left(q_{ПВ} \Re \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E^2}{C_E}\right)}{\partial D} + \dots = \\ &= q_K + \frac{2}{3} \frac{q_M}{D^{\frac{1}{3}}} + \frac{2}{3} \frac{q_{ПВ}}{D^{\frac{1}{3}}} + \dots \end{aligned} \quad (29)$$

Результати диференціювання приводяться у зручну для розрахунків форму:

$$\frac{\partial F}{\partial D} = \frac{P_K}{D} + \frac{2}{3} \frac{P_M}{D} + \frac{2}{3} \frac{P_{ПВ}}{D} + \dots \quad (30)$$

Отримане значення $\frac{\partial F}{\partial D}$ дає можливість підрахувати коефіцієнт Нормана.

Далі, виходячи з того, що $[dF]_0 = \sum [dP_i]_0$, виводять розрахункові формули для усіх $[dP_i]_0$ і потім підраховують їх значення. У даному випадку:

$$\begin{aligned} [dP_K]_0 &= d[q_K D]_0 = \frac{\partial P_K}{\partial q_K} dq_K = D dq_K = P_K \frac{dq_K}{q_K}; \\ [dP_M]_0 &= d\left[q_M \frac{D^{\frac{2}{3}} v^3}{C}\right]_0 = \frac{\partial P_M}{\partial q_M} dq_M + \frac{\partial P_M}{\partial v} dv + \frac{\partial P_M}{\partial C} dC = \\ &= \frac{D^{\frac{2}{3}} v^3}{C} dq_M + 3q_M \frac{D^{\frac{2}{3}} v^2}{C} dv - q_M \frac{D^{\frac{2}{3}} v^3}{C^2} dC = \end{aligned} \quad (31)$$

$$= P_M \frac{dq_M}{q_M} + 3P_M \frac{dv}{v} - P_M \frac{dC}{C} = P_M \left(\frac{dq_M}{q_M} + 3 \frac{dv}{v} - \frac{dC}{C} \right); \quad (32)$$

$$\begin{aligned} [dP_{\Pi B}]_0 &= d \left[q_{\Pi B} \Re \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E^2}{C_E} \right]_0 = \frac{\partial P_{\Pi B}}{\partial q_{\Pi B}} dq_{\Pi B} + \frac{\partial P_{\Pi B}}{\partial \Re} d\Re + \frac{\partial P_{\Pi B}}{\partial v_E} dv_E - \frac{\partial P_{\Pi B}}{\partial C_E} dC_E = \\ &= \Re \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E^2}{C_E} dq_{\Pi B} + q_{\Pi B} \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E^2}{C_E} d\Re + 2q_{\Pi B} \Re \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E}{C_E} dv - q_M \Re \frac{D^{\frac{2}{3}} v_E^2}{C_E^2} dC_E = . \\ &= P_{\Pi B} \frac{dq_{\Pi B}}{q_{\Pi B}} + P_{\Pi B} \frac{d\Re}{\Re} + 2P_{\Pi B} \frac{dv}{v} - P_{\Pi B} \frac{dC_E}{C_E} = P_{\Pi B} \left(\frac{dq_{\Pi B}}{q_{\Pi B}} + \frac{d\Re}{\Re} + 2 \frac{dv}{v} - \frac{dC_E}{C_E} \right) \quad (33) \end{aligned}$$

При розрахунках $[dF]_0$ нескінченно малі прирости dq_K , dv тощо, прирівнюють до кінцевих приростів Δq_K , Δv тощо.

Приріст водотоннажності буде дорівнювати:

$$dD = \{[dP_K]_0 + [dP_M]_0 + [dP_{\Pi B}]_0 + \dots + dP\} \eta_H.$$

Постатейний перерахунок змінних мас може бути виконаний за допомогою формул:

$$dP_K = [dP_K]_0 + \frac{P_K}{D} dD; \quad (34)$$

$$dP_M = [dP_M]_0 + \frac{2}{3} \frac{P_M}{D} dD; \quad (35)$$

$$dP_{\Pi B} = [dP_{\Pi B}]_0 + \frac{2}{3} \frac{P_{\Pi B}}{D} dD. \quad (36)$$

5.2. Приклад використання коефіцієнта Нормана

Задача, яка наводиться нижче, зводиться до визначення за прототипом водотоннажності та її складових транспортного судна, навантаження якого наведено в табл.5.1 [26]. Необхідно збільшити швидкість судна-прототипу на 5 % та дальність плавання на 10 %. При цьому маса вантажу повинна бути зменшена на 1000 т.

Стовпець V табл.5.1 складає добуток відносних мас на множники, що фігурують у формулі (30). Ці множники вказані у стовпці IV табл.5.1.

Сумуючи ці добутки, отримуємо

$$\frac{\partial F}{\partial D} = 0,394.$$

Тоді коефіцієнт Нормана буде дорівнювати

$$\eta_H = \frac{1}{1 - 0,394} = 1,65.$$

У стовпці VI наведені диференціали, які підраховані у відповідності з формулами (31)–(33) наступним чином:

$$[dP_K]_0 = 0;$$

$$[dP_M]_0 = 670 \times 3 \times 0,05 = 100 \text{ т};$$

$$[dP_{IB}]_0 = 2250 \times (0,1 + 2 \times 0,05) = 450 \text{ т}.$$

Таким чином,

$$[dF]_0 = \sum [dP_i]_0 = +550 \text{ т}.$$

Таблиця 5.1. Розрахунок водотоннажності і складових навантаження за Норманом

Навантаження	Маси прототипу, т	Маса прототипу.в частках D	Множники	$\frac{\partial P_i}{\partial D}$ (III×IV)	$[dP_i]_0$	$\frac{\partial P_i}{\partial D} \times dD$ (V)× dD	dP_i (V×VII)	Виправлені маси, т
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Корпус	5450	0,290	1,0	0,290	–	–210,0	–210,0	5240
Механізми	670	0,036	0,667	0,024	+100,0	–20,0	+80,0	750
Паливо	2250	0,12	0,667	0,080	+450,0	–60,0	+390,0	2640
Сума	8370	–	–	0,394	+550	–	+260,0	8630
Вантаж	10000	–	–	–	–1000	–	–1000	9000
Постачання	110	–	–	–	–	–	–	110
Запас водотоннажності	300	–	–	–	–	–	–	300

Наванта- ження	Маси прототипу, т	Маса прототипу.в частках D	Множники	$\frac{\partial P_i}{\partial D}$ (III×IV)	$[dP_i]_0$	$\frac{\partial P_i}{\partial D} \times dD$ (V)× dD	dP_i (V×VII)	Виправлені маси, т
Сума	10410	–	–	–	–1000	–	–1000	9410
ВСЬОГО	18780	–	–	–	–450	–	–740	18040

Сумуючи цей приріст із заданою зміною мас, яка дорівнює -1000 т, знаходимо, як це вказано в табл.5.1,

$$\Delta 1 = [dF]_0 + dP = -1000 + 550 = -450 \text{ т.}$$

Це відповідає зменшенню водотоннажності

$$dD = \eta_n \{ [dF]_0 + dP \} = 1,65 \times (-450) = -740 \text{ т}$$

і, відповідно,

$$D = 18780 - 740 = 18040 \text{ т.}$$

В стовпці VII табл.5.1 визначені додаткові прирости мас, що пов'язані зі зменшенням водотоннажності. Для цього числа стовпця V помножені на $dD = -740$ т. Повний приріст мас визначається у стовпці VIII шляхом визначення суми чисел стовпців VI та VII.

Водотоннажність, що отримана у стовпці IX як сума мас, співпадає з отриманим вище значенням водотоннажності 18040 т.

Відзначимо, що розрахунки з використанням коефіцієнта Нормана зручно проводити в табличній формі. В дод.6 наведено приклад такого розрахунку в середовищі Windows для електронних таблиць Excel.

5.3. Контрольні запитання та завдання

1. Що визначають за допомогою диференціального рівняння мас?
2. Чим спричиняється приріст водотоннажності проектного судна по відношенню до судна-прототипу?
3. У яких випадках може використовуватися диференціальне рівняння мас?
4. Як можна отримати диференціальне рівняння мас?

5. Запишіть вихідне рівняння для виведення диференціального рівняння мас.
6. Запишіть вираз для пошукованого приросту водотоннажності проекту.
7. Напишіть вираз для коефіцієнта Нормана.
8. Опишіть фізичний зміст суті використання коефіцієнта Нормана.
9. Які прирости характеристик судна не позначаються на сумарній похибці розрахунків?
10. У яких межах коливаються значення коефіцієнта Нормана для різних типів суден?
11. Від чого залежить величина коефіцієнта Нормана?
12. Напишіть формули для постатейного розрахунку змінних мас.
13. Визначте за схемою табл.5.1 водотоннажність та складові навантаження транспортного судна в середовищі Excel.

5.4. Основні терміни і поняття

Диференціальне рівняння мас	Змінні маси
Постійні маси	Приріст водотоннажності судна
Алгебраїчне рівняння мас	Повний диференціал сумарної функції змінних мас
Незалежні змінні	Коефіцієнт Нормана

Розділ 6. ПОБУДОВА ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ¹

Проекції ТК розміщують у відповідності до загальноприйнятих правил креслення [38]. Якщо має місце циліндрична вставка з шириною,

більшою ширини судна, проекцію КОРПУС можна розмістити в середній частині проекції БІК.

В залежності від розмірів судна ТК виконується у масштабі 1:25, 1:50, 1:100, 1:250, 1:300. Потрібно мати на увазі, що масштаб вибирається з урахуванням також того, щоб ширина проекції КОРПУС була не меншою 150 мм. В залежності від масштабу вибирається формат аркушу для креслення.

ТК виконують, розбивши довжину судна на 20 теоретичних шпаций, нумеруючи шпангоути від 0 до 20, а висоту борту на 15 ватерліній (від 0 до 14). При цьому в підводній частині корпусу розмічають 11 ватерліній, а в надводній – 4. Допускається кількість ватерліній зменшити вдвоє. З метою кращого узгодження ТК призначається два батокса.

Необхідність вказаної розбивки пов'язана з тим, що вона прийнята в програмі генерації ТК, за допомогою якої можна отримати таблицю його ординат.

6.1. Побудова сітки теоретичного креслення

Побудову ТК потрібно починати з накреслення сітки. Вона будується у відповідності зі схемою розбивки теоретичних шпангоутів та ватерліній, яка описана вище. Сітку потрібно виконувати тушшю тонкими лініями. Усі неточності, що мають місце при її побудові, можуть зробити неможливим узгодження ТК. У зв'язку з цим вона повинна бути виконана дуже акуратно, з використанням надійного креслярського інструменту, з обов'язковою перевіркою діагоналей прямокутників, які не повинні відрізнятися один від одного більше чим на 0,5 мм. Перпендикуляри до основної лінії потрібно виконувати за допомогою геометричної побудови.

Слід витримувати наступну послідовність побудови сітки ТК:

¹ Нижче описується технологія побудови ТК "вручну", але вона з успіхом може бути застосована при використанні комп'ютерних систем, таких як, наприклад, AutoCAD.

1. На листі креслення визначається місце положення відповідно до вибраного масштабу проєкцій ТК, таблиці головних елементів та основного штампу.

2. На розмічених місцях положення сітки проводять базові лінії: основну лінію (ОЛ) на проєкціях КОРПУС та БІК, діаметральну площину (ДП) на проєкціях КОРПУС та НАПІВШИРОТА, лінію площини мідель-шпангоута на проєкціях БІК та НАПІВШИРОТА. При цьому особливу увагу слід звернути на перпендикулярність вказаних ліній.

3. На базових лініях відкладають розрахункову довжину судна (довжину між перпендикулярами $L_{\perp\perp}$), ширину B та осадку T . Через відмічені точки проводять носовий перпендикуляр (НП) та кормовий перпендикуляр (КП) (у відповідності з [32] носовий перпендикуляр проводиться через точку перетину лінії форштевня та конструктивної ватерлінії (КВЛ), а кормовий – по осі балера руля), а також лінії, які обмежують найбільшу ширину судна та КВЛ.

4. Проводять розмічення та накреслення теоретичних шпангоутів, ватерліній та батоксів, а також додаткові вказані лінії (якщо потрібно). Потім необхідно провести ретельну перевірку сітки.

6.2. Обрис діаметрального батокса на проєкції БІК

Форма форштевня залежить від призначення судна і визначається вимогами Правил Регістру [32]. Найбільш поширені форштевні з кутом нахилу до НП $15\text{--}30^\circ$, що дозволяє загострити ватерлінії вище КВЛ і створити необхідний розвал шпангоутів. При числах Фруда $Fr = 0,25\text{--}0,35$, а для дуже повних суден та при низьких числах Фруда ($Fr < 0,20$), можна рекомендувати бульбову носову кінцевість.

Кільова лінія повинна співпадати з ОЛ.

Рекомендується використовувати типові форми кінцевостей серійних моделей транспортних суден різноманітного призначення, за результатами

випробувань яких складені графіки буксировочного опору [43]. Доцільно також використовувати прототип.

Морські судна, за виключенням великих контейнеровозів, накатних суден, супертанкерів, великотоннажних рудовозів, мають сідловатість, яка призначається у відповідності з "Правилами про вантажну марку морських суден" [33]. Можна також використати прототип.

6.3. Побудова ватерліній, шпангоутів та батоксів. Узгодження обрисів теоретичного креслення

Після побудови діаметрального батокса слід приступати до накреслення ватерліній на проекції НАПІВШИРОТА. Для цього використовують ординати ТК, отримані за допомогою ЕОМ. Таблиця ординат виводиться таким чином, що шпангоути є її рядками, а ватерлінії – стовпцями. Одинадцятий зліва стовпець – КВЛ, п'ятнадцятий – ВП. Після накреслення ватерліній потрібно їх "згладити" за допомогою рейки.

Потім на проекцію КОРПУС переносять ординати усіх ватерліній, а також точки перетину діаметрального батокса з ними. Отримані таким чином для кожного шпангоута всі необхідні точки потрібно з'єднати плавними лініями. Остаточне накреслення шпангоутів рекомендується проводити тільки після отримання плавних ватерліній та батоксів.

Для побудови батоксів необхідно з проекції НАПІВШИРОТА перенести точки перетину батоксів з ватерлініями на відповідні ватерлінії проекції БІК, а проекції КОРПУС – перетинання батоксів зі шпангоутами – на шпангоути проекції БІК і з'єднати точки плавною лінією. При накресленні нижньої гілки батокса потрібно враховувати підвищення днища, якщо воно має місце.

Завершується побудова узгодженням ТК, яке забезпечує плавність обводів. Спочатку потрібно добитися плавності батоксів, що може привести до переміщення відповідних точок на проекціях БІК та НАПІВШИРОТА. Потім забезпечують плавність ватерліній та проводять коригування побудованих шпангоутів на проекції КОРПУС.

6.4. Позначення на теоретичному кресленні

У вітчизняній практиці шпангоути на ТК нумеруються арабськими цифрами з носа до корми (допускається і навпаки – з корми до носа). Тоді нульовий шпангоут відповідає шпангоутіві, що лежить у площині НП, 10-й шпангоут – у площині міделя, 20-й – у площині КП. Номери шпангоутів на проекції БІК проставляються під ОЛ, на проекції НАПІВШИРОТА – над кожним шпангоутом. Шпангоути, що розміщені до носа від НП, позначаються зі знаком "мінус" (-1 , -2 тощо) [38].

Ватерлінії нумерують також проводиться арабськими цифрами. За нульову ватерлінію приймається ватерлінія, яка лежить в основній площині (ОП). Номери ватерліній на проекціях БІК та КОРПУС ідуть знизу доверху і проставляються ззовні від НП та КП (БІК) або ззовні габаритної лінії ширини з двох сторін проекції КОРПУС. Номери ватерліній на проекції НАПІВШИРОТА проставляються над кожною ватерлінією на носі та в кормі, а при наявності бульба – також біля точки примикання її до ДП [38].

Батокси нумеруються римськими цифрами від ДП до борту. Номери батоксів проставляються на усіх проекціях ТК. Потрібно також надписати назви палубних ліній, фальшборту, козирка на усіх проекціях та позначити базові лінії: ДП, ОЛ.

Роботу над ТК можна вважати закінченою лише після того, коли над основним штампом буде поміщена наступна таблиця головних елементів судна:

Довжина найбільша $L_{\text{нб}} = \dots$ м.

Довжина між перпендикулярами $L_{\perp\perp} = \dots$ м.

Ширина $B = \dots$ м.

Висота борту $H = \dots$ м.

Осадка по КВЛ $T = \dots$ м.

Водотоннажність об'ємна $V = \dots$ м.

Абсциса центра величини $x_c = \dots$ м.

Апліката центра величини $z_c = \dots$ м.

Коефіцієнт загальної повноти $\delta = \dots$

Коефіцієнт повноти площі ватерлінії $\alpha = \dots$

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута $\beta = \dots$

Розділ 7. ПОБУДОВА ЕПЮРИ ЄМНОСТІ ТА ДИФЕРЕНТ

Здиферентувати судно – це так розподілити вантажі по його довжині, щоб ЦМ та ЦВ розмістити на одній вертикалі при розрахунковій посадці судна, тобто задовольнити другій умові статички

$$x_G = x_C, \quad (37)$$

де x_G, x_C – абсциси ЦМ та ЦВ. При диферентуванні слід враховувати, що ТК судна вже розроблено і положення ЦВ призначено так, щоб опір води рухові судна наближався до мінімально можливого. Тому приведення ЦМ та ЦВ на одну вертикаль здійснюється, як правило, переміщенням вантажів і тільки в крайньому випадку – за рахунок збільшення прийнятої раніше довжини судна з відповідною зміною його елементів та коригуванням ТК.

Удиферентування, що пов'язане з переміщенням вантажів, можна розбити на чотири етапи:

- початкова розстановка перебірок;
- визначення абсцис ЦМ складових навантаження;
- визначення диференту, який має місце при попередній розстановці перебірок та розподілу дедвейту;
- переміщення вантажів та перебірок з метою приведення ЦМ судна на одну вертикаль з ЦВ при заданому диференті.

7.1. Початкова розстановка поперечних перебірок

Перед тим, як провести розстановку перебірок, необхідно вибрати

архітектурно-конструктивний тип (АКТ) судна, тобто попередньо визначити, існує чи ні подвійне дно (ПД), кількість палуб, положення МВ, положення та довжину надбудов, рубок, наявність сидлуватості та вигину бімсів. Сидлуватість доцільно приймати стандартною. Метою розстановки перебірок є забезпечення непотоплюваності судна при різноманітних варіантах навантаження.

При положенні МВ, зміщеному в корму від середини, під першим трюмом виділяють паливнобаластну цистерну або розміщують диптанк в носовій кінцевості для забезпечення диферентівки в баластному переході (необхідно забезпечити осадку носом $T_n > 0,03 L$ з умови відсутності слемінгу, а осадку кормою прийняти такою, щоб гвинт був повністю занурений у воду, тобто $T_k = D_{гв}$). Ємність такої цистерни або диптанка орієнтовно повинна складати біля 1,5 % від об'ємної водотоннажності судна при проміжному положенні МВ і 3 % – при кормовому.

Кількість поперечних водонепроникних перебірок на суховантажних судах призначають в функції довжини судна відповідно до правил Регістру (табл.7.1).

При виконанні курсового та дипломного проекту при довжині судна більше 185 м кількість перебірок погоджують з викладачем.

Окрім того, слід мати на увазі, що максимальна *довжина трюму* універсальних суховантажних суден (УСВ) не повинна перевищувати 30 м. При розміщенні перебірок, що виділяють вантажні приміщення танкера, необхідно враховувати такі фактори, як довжину судна та обмеження максимального об'єму гіпотетичного виливу вантажу в море при пошкодженні корпусу судна відповідно до правил Конвенції запобіганню забруднення з суден [34].

Таблиця 7.1. Мінімальна кількість поперечних водонепроникних перебірок суховантажних суден

Довжина судна, м	Загальна кількість перебірок	
	Машинне відділення в середній частині	Машинне відділення* в кормі ¹

До 65	4	3
Від 65 до 85	4	4
Від 85 до 105	5	5
Від 105 до 125	6	6
Від 125 до 145	7	6
Від 145 до 165	8	7
Від 165 до 185	9	8
Більше 185	По узгодженню з Регістром	

* Перебірка ахтерпіка є кормовою межею машинного відділення

Відповідно до [34] довжина будь-якого вантажного *танка* не повинна бути більшою за величину, яка обчислюється за даними табл.7.2.

Крім того у відповідності з правилами міжнародної Конвенції по попередженню забруднення з суден (МАРПОЛ 73/78) та [34] мінімальна висота подвійного дна $h_{\text{пд}}$ повинна бути не меншою ніж 2,0 м або $B/15$, в залежності від того, що менше, але у будь-якому випадку не менше 1,0 м (рис.7.1). Отже якщо $h_{\text{вк}} < h_{\text{пд}}$, то висота подвійного дна приймається рівною $h_{\text{пд}}$ і навпаки.

Відстань між подвійними бортами повинна бути не менше ніж (рис.7.2) $w = 0,5 + \frac{DW}{20000}$ м або $w = 2,0$ м, в залежності від того, що менше, але не менше 1,0 м.

Крім того, у відповідності з правилами конвенції МАРПОЛ 73/78 на танкерах необхідно улаштувати відстійні танки місткістю 3 % від місткості вантажних, тобто

$$W_{\text{вд}} = 0,03W_{\text{в}} = \frac{0,03P_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}(1 - 0,05)},$$

де 0,05 – коефіцієнт, що враховує недолив і втрати місткості на набір.

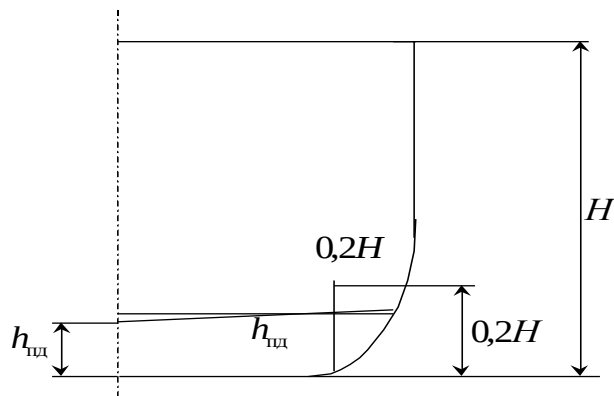


Рис.7.1. Вибір висоти подвійного дна

Вантажні танки відокремлюють від МВ кофердами довжиною одну шпацию, але не менше 0,6 м. Заміною кофердамів можуть бути насосні відділення, цистерни для палива.

Таблиця 7.2. Допустима довжина вантажних танків нафтоналивного судна

Наявність та розташування перебірок в районі вантажних танків			Допустима довжина вантажного танку
Відсутність повздовжньої перебірки			$\left(0,5 \frac{b_i^*}{B} + 0,1\right)L$, але не більше $0,2L$
Наявність однієї повздовжньої перебірки в діаметральній площині			$\left(0,25 \frac{b_i}{B} + 0,15\right)L$
Наявність двох та більше повздовжніх перебірок	Для бортових танків		$0,2L$
	Для центральних танків	$\frac{b_i}{B} \geq \frac{1}{5}$	$0,2L$
		За відсутності повздовжньої перебірки в діаметральній площині	$\left(0,5 \frac{b_i}{B} + 0,1\right)L$
		За наявності повздовжньої перебірки в діаметральній площині	$\left(0,25 \frac{b_i}{B} + 0,15\right)L$

* b_i – мінімальна відстань від борту судна до зовнішньої повздовжньої перебірки даного танку, м, визначена від внутрішньої поверхні зовнішньої обшивки під прямим кутом до діаметральної площини на рівні, що відповідає літньому надводному борту судна

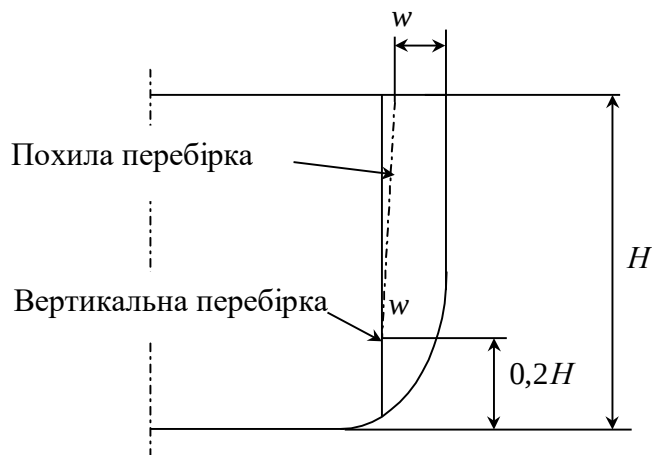


Рис.7.2. Розташування перебірки подвійного борту

Висоту вертикального кіля слід приймати не меншою ніж [32]:

$$h_{\text{БК}} = (L - 40) / 570 + 0,004B + 3,5 \frac{T}{L}, \text{ м.}$$

Форпикова перебірка НП повинна розташовуватися на відстані не менше 5 % довжини судна та не більше 3 м плюс 5 % довжини судна від НП (рис.7.3). Якщо якась частина корпусу судна нижче ватерлінії виступає за носовий перпендикуляр, наприклад, бульбовий ніс, відстань, вказана вище, вимірюється від точки, що знаходиться посередині довжини такого виступу. Або ця величина вимірюється на відстані, що дорівнює 1,5 % довжини судна чи на відстані 3 м в ніс від носового перпендикуляра в залежності від того що менше (див. рис.7.3).

Положення ахтерпикової перебірки назначають з умови зручного обслуговування сальника, який розташований на носовому зрізі дейдвудної труби. Ця перебірка ставиться на відстані приблизно $0,06L_{\perp\perp}$ від КП таким чином, щоб між нею і ахтерпиковою перебіркою укладалося ціле число практичних шпацій.

Абсолютну довжину MB визначають як в розд.4.1. Інші перебірки на суднах розташовують таким чином, щоб отримати трюми приблизно однакового об'єму. При цьому потрібно слідкувати, щоб перебірка не потрапила на середину практичної шпації. На суховантажних багатопалубних суднах положення проміжних палуб призначають

відповідно до таких умов

$$W_{TB} / W_{TP} = 0,8; \quad h_{TB} > 2,6 \text{ м}; \quad h_{TP} < 7,0 \text{ м},$$

де $W_{TB}, W_{TP}, h_{TB}, h_{TP}$ – об'єм твіндека та об'єм трюму, висота твіндека та трюму відповідно.

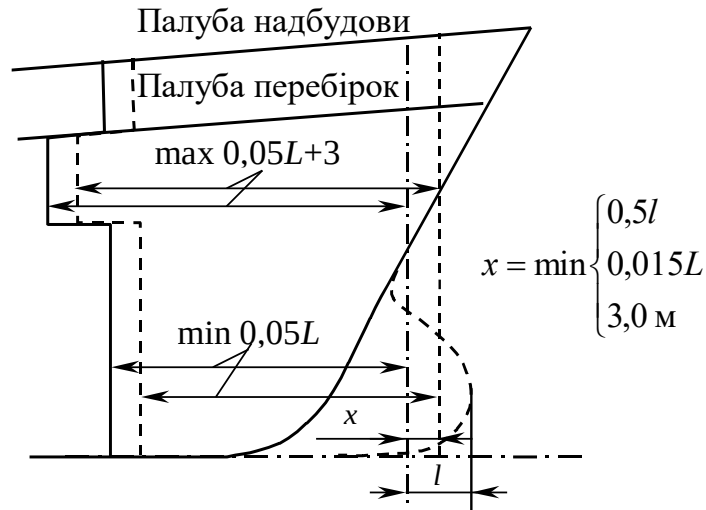


Рис.7.3. Розташування форпикової перебірки

7.2. Побудова епюри ємності та визначення координат центра мас

Епюра ємності (ЕЄ) – це креслення, яке виконується з метою розміщення об'ємів усіх приміщень судна по його довжині. За його допомогою можна провести перевірку відповідності фактичних об'ємів в корпусі судна тим, які необхідні. ЕЄ будують з використанням ТК та поздовжнього перерізу судна.

Схему поздовжнього перерізу та ЕЄ слід креслити на листі формату А1: у верхній частині – схему, у нижній – епюру. Схема поздовжнього перерізу повинна складати: обриси діаметрального батокса, палуб, перебірок, ПД, цистерн для палива, води та баласту, надбудов (рубок).

Масштаб площ поперечних перерізів корпусу судна по висоті потрібно вибирати таким, щоб вся епюра повністю розмістилася під схемою. У відповідності з масштабом відкладають площі теоретичних шпангоутів від ОЛ вгору, з'єднують їх плавною лінією і отримують побудовну по шпангоутам (ППШ), яка показує розподіл підводного об'єму

по довжині судна.

Основою для побудови ЕЄ може бути таблиця масштабу Бонжана, яка отримується для згенерованого ТК за допомогою програми для ЕОМ. На кожній теоретичній шпациї епюри відкладають по вертикалі площі шпангоутів до відповідних горизонтальних перекриттів, розміщених на схемі. У випадку, коли апліката перекриття не відповідає аплікаті ватерлінії, для якої виводяться значення площ масштабу Бонжана, необхідно виконувати інтерполяцію.

Точки, які відповідають одному перекриттю, з'єднуються плавною лінією. В окремих випадках вона може мати стрибок (у випадку стрибкоподібної зміни аплікати перекриття). Отримані лінії відповідно позначають (верхню палубу – ВП, нижню палубу – НП, подвійне дно – ПД тощо).

При побудові епюри необхідно звернути увагу на дві обставини:

якщо на судні має місце циліндрична вставка та сідлуватість, то на ЕЄ можуть з'явитися два горби з вершинами, які розміщені приблизно на $0,2L_{\perp}$ від кінцевостей;

точки примикання ЕЄ до осі абсцис повинні співпадати по вертикалі з точками перетину ВП з фор – та ахтерштевнем.

Площі трюмів, твіндеків, цистерн на ЕЄ відповідають їх теоретичним об'ємам. З метою перевірки достатності об'ємів під вантаж необхідно обчислити *місткість по сипучому вантажу*, а у випадку УСВ та лісовозів – ще й *кипову місткість*. При обчисленні місткості по сипучому вантажу лишки на об'єм набору, трапів, трубопроводів, тощо, складають: 5 % – для трюмів УСВ; 2,5 % – для вантажних відсіків танкерів; 9–10 % – для відсіків подвійного днища суден усіх типів. Кипову місткість можна приймати приблизно рівною 92 % від місткості по сипучому вантажу.

Обчислення ємності відсіків бажано виконувати в табличній формі.

На епюрі кожне приміщення повинно мати назву та значення чистої місткості по специфікаційному вантажу.

Координати центра маси об'ємів приміщень по довжині

визначаються як ЦМ трапеції, основою якої є площі носової та кормової перебірок, а по висоті – як аплікати підвищення ЦМ площі середнього перерізу приміщення над ОЛ.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, чи розміщуються вантажі, паливо та вода на судні чи ні. Якщо вантаж не розміщується, то на суховантажному судні можна передбачити подовжений бак чи ют, якщо вони не були прийняті на самому початку проектування. Це приведе до появи додаткових твіндеків та збільшить ємність вантажних приміщень.

Якщо цього недостатньо або отримана надмірна місткість, то необхідно відповідним чином змінити висоту борту.

При обчисленні координат ЦМ судна відносно різноманітних випадків навантаження необхідно визначати окремо координати ЦМ порожнього судна та дедвейту (в табличній формі).

Координати ЦМ для розділів P_K та P_O знаходять з використанням даних прототипу:

$$z_i = \frac{\bar{z}_i}{\bar{H}} H; \quad x_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{L}} L,$$

де z_i – апліката ЦМ корпусу або обладнання; x_i – абсциса ЦМ корпусу або обладнання.

Для розділу P_{EV} координати ЦМ визначають за аналогічними формулами, але з урахуванням АКТ проекту.

Як відомо, дедвейт складається з чотирьох основних складових: вантаж, що перевозиться; запаси палива, води та мастила; постачання, екіпаж і провізія; рідкий баласт (останній може бути відсутнім). Координати ЦМ цих складових визначаються з урахуванням побудованої ЕЄ.

Визначення центрів маси окремих складових розділів навантаження та судна в цілому виконується у відповідності з загальновідомими формулам теоретичної механіки.

7.3. Диферент

Розрахувавши координати ЦМ судна для визначеного навантаження, необхідно перевірити умову (37). Якщо вона не виконується, судно буде мати *диферент*

$$\Delta T = \frac{D(x_G - x_C)}{M}, \text{ см.} \quad (38)$$

В (38) M – момент, що диферентує судно на 1 см, який визначається за формулою

$$M = \frac{DH}{100L},$$

де H – поздовжня метацентрична висота, наближене значення якої може бути визначене за формулою Фан-дер-Фліта:

$$H \cong R = \frac{1}{k_1} \frac{\alpha^2}{\delta} \frac{L^2}{T}; \quad k_1 = 12\alpha(3 - 2\alpha).$$

Значення поздовжнього метацентричного радіусу R також можна отримати з таблиці елементів ТК, яка видається однією з вказаних вище програм.

Якщо $\Delta T \leq L/2000$, то судно можна вважати здиферентованим. В протилежному випадку необхідно виконувати власне процес здиферентування.

Метод здиферентування здебільшого залежить від величини диференту у випадку першоразового перерозподілу вантажів. Якщо диферент невеликий (10–15 см), він може бути усунений переміщенням вздовж судна прісної води або частини палива. Переміщенням усього запасу палива, води та мастила можна компенсувати й значно більший диферент.

Величину переміщення ЦМ палива, води та мастила можна визначити за формулою

$$\Delta x_{\text{пв}} = \frac{D(x_G - x_C)}{P_{\text{пв}}}.$$

Якщо переміщенням цієї складової навантаження здиферентувати судно не вдається, то необхідно змінювати АКТ проекту, що звичайно призводить до розробки нового варіанту, який буде мати інші головні елементи, або потрібно буде застосовувати нетрадиційний підхід до компоновки загального розташування судна.

7.4. Контрольні запитання і завдання

1. Запишіть умову здиферентування судна.
2. Виділіть етапи практичного здиферентування судна.
3. Назвіть основні ознаки архітектурно-конструктивного типу судна.
4. Опишіть, як призначається мінімальна кількість поперечних водонепроникних перебірок універсальних суховантажних суден.
5. Яка максимальна довжина трюму універсальних суховантажних суден?
6. Вимоги МАРПОЛ 73/78 до вантажних танків нафтоналивних суден.
7. Напишіть формулу для обчислення висоти вертикального кіля.
8. Як за правилами Регістру визначається довжина форпіка.
9. Що являє собою епюра ємності судна.
10. Опишіть послідовність побудови епюри ємності і вкажіть на її практичну значимість.
11. Опишіть схему визначення центра мас судна по окремим складовим водотоннажності.
12. Як здійснюється перевірка умови удиферентування судна.

7.5. Основні терміни і поняття

Епюра ємності	Диферент
Довжина форпіку	Довжина ахтерпіку
Довжина машинного відділення	Довжина трюму
Довжина танка	Висота вертикального кіля
Кипова місткість	Місткість по сипучому вантажу

Розділ 8. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОГО СУДНА

8.1. Загальні положення. Критерій економічної ефективності

Забезпечення високої ефективності функціонування судна пов'язане з розв'язанням комплексної проблеми не тільки проектування його як системи, яка відповідає останнім вимогам науки і техніки, але й обґрунтуванням прийнятого рівня ефективності експлуатації.

Вказана проблема може бути вирішена виключно лише з використанням оптимізаційних методів, основою яких є проведення багатоваріантних розрахунків. пошук і вибір варіанту, який є найбільш ефективним. Оптимізаційні моделі, що використовуються при цьому, являють собою систему рівнянь (або досить складних алгоритмів), одне з яких є критерієм ефективності, який мінімізується або максимізується. Критерій виражається через параметри, що підлягають оптимізації, а інші рівняння являють собою співвідношення між параметрами або між параметрами і їх граничними значеннями. Ці рівняння створюють так звану систему обмежень в задачі оптимального проектування. Формування та реалізація оптимізаційних моделей викладені в достатній кількості праць, зокрема в [11,29,30].

У більшості випадків при вирішенні задач оптимізації таких складних об'єктів, якими є судна, виникає необхідність дослідити простір параметрів, що оптимізуються, в багатокритеріальній постановці [10,12,14,20]. При цьому об'єкт, що оптимізується, представляється у вигляді не простої системи, а системи з розвинутою структурою, коли кожному елементу її ставиться у відповідність одна і тільки одна цільова

функція.

Використання такого підходу відкриває можливість переходу від емпіричного призначення вимог до характеристик суден до їх обґрунтування з урахуванням економічної ефективності у комплексній постановці.

Постановка задач обґрунтування економічної ефективності проектів суден викладена в роботах [15,21,37]. Вони базувалися на діючому директивному документі [22], в якому перевага віддавалася таким загальноприйнятним критеріям соціалістичного періоду, як зведені витрати та питомі зведені витрати. В сучасних умовах перехідного періоду, коли встановлюються ринкові відносини, при економічному обґрунтуванні проекту судна повинні використовуватися критерії, в основі яких лежить прибуток від його експлуатації. Але в умовах початкових етапів проектування питомі зведені витрати не втратили свого значення і тепер [37]. Істотним у даному випадку є ще й те, що зараз ще немає надійної інформаційної бази для моделювання експлуатації судна та прибутку від неї. Тому в курсовому та дипломному проектуванні при економічному обґрунтуванні проекту перевагу віддано питомим зведеним витратам.

Зведені витрати (ЗВ) визначаються за формулою [15, 21]:

$$\text{ЗВ} = B_c \theta + C,$$

де B_c – *вартість (побудовна) судна*; θ – *нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень*, значення якого можна прийняти рівним 0,125; C – *річні експлуатаційні витрати*.

Питомі зведені витрати являють собою відношення зведених витрат до *провізної спроможності судна* (Q):

$$\text{ПЗВ} = \frac{B_c \theta + C}{Q}.$$

У першому наближенні зведені витрати (млн. руб/т) можна визначити у відповідності з [41] за формулою:

$$\text{ЗВ} = 0,5 + 0,008DW + 0,19B_c + \frac{8 \cdot 10^{-6} N_{\text{ЕУ}} R n_P}{v_S}, \quad (38)$$

де n_p – кількість рейсів, яку здійснює судно за рік; R – дальність кругового рейсу, миль; B_c – вартість судна, яка визначається за формулою:

$$B_c = \left[2,25 \left(\frac{L B}{7300} \right)^{\frac{1}{2}} + 0,7 \left\{ \frac{L (B + H)}{11500} \right\}^{\frac{2}{3}} + 0,65 \left(\frac{N_{\text{ев}}}{10} \right)^{\frac{1}{3}} \right] DW^{\frac{1}{2}},$$

де $N_{\text{ев}}$ – потужність головного двигуна, МВт; DW – дедвейт, тис. т.

Залежність (38) вигідно відрізняється тим, що побудована безпосередньо в функції головних розмірів, дедвейту та потужності головних двигунів судна. Однак використання означеної залежності є досить обмеженим з огляду на те, що в ній закладені ціни до 1990-го року. Але її можна використовувати для порівняльного якісного аналізу варіантів.

Причиною ускладнень, які виникають останніми роками при визначенні побудовної вартості є те, що практикою проектування суден в нинішньому перехідному періоді ще не накопичено необхідного фактичного матеріалу. Характерним зараз є те, що вартість судна стає відомою тільки після його побудови.

У зв'язку з цим при визначенні зведених витрат можна рекомендувати використовувати не побудовну вартість проекту судна, а його ціну. Ціни суден на світовому ринку дуже коливаються, що залежить від року побудови судна, його технічного стану, тощо. Це значно ускладнює обробку даних, а статистика по щойно побудованих суден є в наш час малодоступною. Тому отримані на основі даних з іноземних періодичних видань та роботи [42] і наведені нижче залежності для визначення світових *цін на судна* хоча в кількісному відношенні мають дещо умовний характер, але досить добре відображають якісний характер їх зміни.

8.2. Визначення ціни універсальних суховантажних, навалочних суден та танкерів

Ціну універсальних суховантажних суден можна встановити за допомогою такої статистичної залежності:

$$\Pi_C = 1,92 DW - 0,029 DW^2 - 0,115, \text{ млн. USD};$$

$$7 \leq DW \leq 20, \text{ тис.т.}$$

Для танкерів можна використати залежність:

$$\Pi_T = 0,143 DW + 0,00018 DW^2 + 21,55, \text{ млн. USD};$$

$$30 \leq DW \leq 120, \text{ тис.т.}$$

Для навалочників:

$$\Pi_B = 0,158 DW - 9,7 \cdot 10^{-6} DW^2 + 11,163, \text{ млн. USD};$$

$$25 \leq DW \leq 100, \text{ тис.т.}$$

8.3. Розрахунок кількості рейсів та провізної спроможності проектного судна

Для розрахунку кількості рейсів, яку виконує судно за рік необхідно знати *втрати швидкості судна на хвилюванні*, що можуть бути визначені [37]:

$$\Delta v_s = 1,11 - 0,01L + 0,0000255L^2, \quad (39)$$

де L – довжина судна, м.

Ходовий час:

$$t_{\text{ход}} = \frac{R}{24v_s(1 - \Delta v_s)}$$

де v_s – швидкість судна, вуз.

Час на проведення вантажних операцій визначається залежністю:

$$t_B = \frac{P_B}{N_{\text{BO1}}}(\eta_{P1} + \eta_{P2}) + \frac{P_B}{N_{\text{BO2}}}(\eta_{P1} + \eta_{P2}),$$

де P_B – вантажопідйомність судна, т; N_{BO1}, N_{BO2} – норми вантажообробки в іноземних та вітчизняних портах відповідно, т/добу; η_{P1}, η_{P2} – коефіцієнт використання вантажопідйомності в прямому та зворотному рейсі.

Час, що відводиться на маневрування, на очікування причалу, тощо, доба:

$$t_{\text{доп}} = 1,0.$$

Кількість рейсів, яку здійснює судно за рік:

$$n_P = \frac{T_{\text{ЕКС}}}{t_{\text{ХОД}} + t_B + t_{\text{доп}}}.$$

Вказану кількість рейсів можна визначити за наближеною залежністю [41]:

$$n_P = \frac{T_{\text{ЕКС}}}{R / 24v_s + K},$$

де $K = 5 - \left(\frac{R}{6000} \right)$. При $R \geq 6000$ $K = 5$.

Таким чином, річну провізну спроможність судна можна визначити як:

$$Q = P_B n_P (\eta_{P1} + \eta_{P2}).$$

8.4. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати розраховуються у відповідності з усталеною практикою як сума окремих витрат, описуваних нижче. Вони визначаються за якийсь встановлений термін часу, як правило – рік. Питомі характеристики окремих витрат, отримані авторами в результаті обробки статистичних даних. Деякі з них можуть бути задані викладачем.

Витрати на амортизаційні відрахування, які входять до складу експлуатаційних витрат, визначаються:

$$C_{\text{АМ}} = B_C N_{\text{АМ}} / 100, \quad \text{млн. USD},$$

де N_{AM} – норма амортизаційних відрахувань, % (рекомендується приймати $N_{AM} = 7,5$ %).

Витрати на поточний ремонт складають:

$$C_{PEM} = 38,3 + 0,117DW_1 + 0,03DW_1^2, \text{ тис. USD},$$

де $DW_1 = DW / 1000$ – дедвейт, який підраховується в тис.т.

Витрати на постачання:

$$C_{\Pi} = 0,005B_C, \text{ млн USD}.$$

Витрати на утримання екіпажу:

$$C_{EK} = 365n_{EK}q_{EK}10^{-6}, \text{ млн USD},$$

де q_{EK} – питомі витрати на утримання екіпажу (задаються викладачем), $\frac{USD}{\text{осіб} \cdot \text{доба}}$, n_{EK} – кількість членів екіпажу.

Навігаційні витрати за добу можна визначити за виразом:

$$q_{HAB} = 130,2 + 0,229DW_1 - 0,003DW_1^2, \frac{USD}{\text{доба}}.$$

Тоді навігаційні витрати в млн USD визначаються як:

$$C_{HAB} = q_{HAB}T_{EK}10^{-6},$$

де $T_{EK} = 332$ – термін експлуатаційного періоду судна.

Кількість палива, води, яка витрачається за рейс:

$$Q_{PB} = \frac{1,05q_{\Pi}10^{-6}2L_{\Pi}N_{EY}}{v_e - \Delta v_e},$$

де q_{Π} – питомі витрати палива ЕУ, $\frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}$; L_{Π} – відстань між портами призначення, милі; N_{EY} – експлуатаційна потужність ЕУ, кВт; v_e – експлуатаційна швидкість, вуз., Δv_e – втрати швидкості на хвилюванні відповідно з (39).

Кількість мастила, яка витрачається за рейс визначиться:

$$Q_M = 0,04Q_{PB}, \text{ т}$$

Тоді витрати на мастило можуть бути визначені як

$$C_M = k_M10^{-6}Q_Mn_P, \text{ млн USD}.$$

Витрати на паливо та воду:

$$C_{\Pi} = k_{\PiВ} 10^{-6} Q_{\PiВ} n_P, \text{ млн } USD.$$

В останніх виразах k_M , $k_{\PiВ}$ – *вартість 1 тонни мастила та палива* відповідно (задаються викладачем).

Непрямі витрати визначаються у вигляді

$$C_H = q_K (C_{AM} + C_{PEM} + C_{EK} + C_{HAB}), \text{ млн } USD,$$

де $q_H = 0,045$.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати визначаються як сума витрат, описаних вище:

$$C = C_{AM} + C_{PEM} + C_{EK} + C_{HAB} + C_{\PiВ} + C_M + C_H.$$

На закінчення відзначимо, що розрахунки економічної ефективності судна зручно проводити в таблицях, в які повинні входити дані як для проекту так і прототипу. В дод.7 наведено приклад такого розрахунку в середовищі Windows для електронних таблиць Excel.

8.5. Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть критерії, які використовуються при економічному обґрунтуванні судна.
2. Напишіть вираз для зведених витрат.
3. Що являють собою питомі зведені витрати.
4. Чому дорівнює коефіцієнт ефективності капітальних вкладень і яка його суть?
5. На яких підставах зараз доцільно побудовну вартість у розрахунках питомих зведених витрат замінити ціною судна?
6. У функції якої характеристики судна визначається його ціна?
7. Напишіть і поясніть залежність для кількості рейсів, яку здійснює судно за рік.
8. За який період часу розраховуються експлуатаційні витрати?

9. Напишіть і поясніть залежність для річної провізної спроможності судна.

10. Напишіть і поясніть вираз для кількості палива, води і мастила, яка витрачається за рейс.

11. Назвіть складові експлуатаційних витрат судна.

12. Визначте питомі зведені витрати судна в середовищі Windows для електронних таблиць Excel.

8.6. Основні терміни і поняття

Зведені витрати	Питомі зведені витрати
Прибуток	Вартість (побудовна) судна
Нормативний коефіцієнт ефективності	Річні експлуатаційні витрати капітальних вкладень
Провізна спроможність	Ціна судна
Втрати швидкості судна на хвилюванні	Норми вантажообробки
Витрати на амортизаційні відрахування	Коефіцієнт використання вантажопідйомності
Норми амортизаційних відрахувань	Непрямі витрати
Витрати на поточний ремонт	Витрати на постачання
Витрати на утримання екіпажу	Навігаційні витрати
Термін експлуатаційного періоду	Витрати на мастило
Витрати на паливо та воду	Вартість 1 тонни мастила
Вартість 1 тонни палива	

Розділ 9. ПОСТАНОВКА І МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СУДЕН

9.1. Системний підхід в задачі проектування суден

В теорії проектування суден одним з основних принципів є *системний підхід*, ключовим науковим поняттям якого є поняття "система".

Системою називається вибраний об'єкт дослідження; а всі інші об'єкти, що впливають на функціонування системи, але не входять до неї, визначаються як середовище. Сучасне судно є складною системою, яка складається із таких взаємозв'язаних підсистем: корпусу, енергетичної установки, навігаційного устаткування, вантажних приміщень, засобів зв'язку, засобів керування, суднових пристроїв тощо. Крім того, кожна з цих підсистем сама може бути поділена на елементи ще меншої складності. Одночасно судно є елементом ще більш складної системи – транспортного комплексу.

Основним принципом системного підходу є комплексне дослідження системи, тобто дослідження її як єдиного цілого з узгодженням функціонування усіх підсистем. У відповідності з даним принципом кожен елемент системи варто вивчати у зв'язку та взаємодією з іншими елементами. Тому оптимізація основних характеристик судна стає неможливою у відриві від систем більш вищого рівня, які є для нього своєрідним зовнішнім середовищем, тобто кожне нове транспортне судно повинно розглядатися не як самостійна автономна одиниця, а як елемент єдиної системи (флоту). В цьому полягає головна особливість сучасного підходу до проектування судна [29].

9.2. Загальна постановка задачі оптимізації головних елементів судна

У відповідності з викладеним вище системним підходом задача вибору основних характеристик судна на етапі передескізної проробки проекту є найбільш складною та відповідальною. Вона може вирішуватися

за допомогою традиційного варіантного [3,8] або оптимізаційного методів [29]. Останній метод в наш час набув дуже широкого поширення.

Задача оптимізації характеристик суден в сучасних умовах має комплексний характер, а її складність призводить до того, що оптимізацію основних характеристик судна необхідно проводити у декілька взаємопов'язаних між собою етапів. Спочатку проєктант самостійно, або за допомогою замовника обґрунтовує доцільність створення даного конкретного судна, його місце в транспортному комплексі і визначає або уточнює початкові дані (завдання на проєктування) для безпосередньої розробки проєкту. У відповідності з прийнятою в теорії проєктування суден термінологією [7] подібне обґрунтування називається *зовнішнім проєктуванням*, а сама задача – задачею оптимізації структури і характеристик поповнення флоту. Для її вирішення насамперед потрібно вивчити структуру і об'єми вантажопотоків, характеристики основних ліній перевезень (максимально допустима осадка, довжина, ширина тощо), склад наявного флоту, умови використання майбутнього проєкту, його взаємодію з іншими суднами транспортного комплексу, елементом якого воно є. Крім того, в даній задачі повинен враховуватися стан і перспективи розвитку суднобудівної промисловості. Результатом її розв'язання є кількість суден, яку потрібно залишити у складі флоту та характеристики і кількість суден, проєкти яких потрібно розробити. Ці дані є основою для створення технічного завдання на розробку проєкту і надалі використовуються для вирішення задачі оптимізації основних елементів судна (*задачі внутрішнього проєктування*).

Метою вказаної внутрішньої задачі є визначення оптимальних головних елементів судна у відповідності з відомими з попереднього етапу вантажопідйомності або дедвейту, швидкості руху та дальності плавання. Іноді розглядають сумісно ці дві задачі, коли разом з оптимізацією головних розмірів судна та параметрів форми корпусу проводиться вибір оптимальної вантажопідйомності та швидкості руху судна.

Основними складовими оптимізаційної задачі є цільова функція (критерій оптимізації), незалежні змінні та обмеження.

Розглянемо ці складові. Першою складовою задачі є *цільова функція*, яка показує в якому сенсі рішення повинно бути найкращим. Як правило, в задачах оптимального проектування суден найбільш використовуваним є економічний критерій (прибуток, експлуатаційні витрати тощо). Критерій вибирається особою, яка приймає рішення і в загальному вигляді може оцінювати якості судна як бажані (наприклад, прибуток), так і небажані (наприклад, невиробничі витрати, витрати матеріалу тощо). Тоді в першому випадку говорять про максимізацію критерію, а в другому – про його мінімізацію.

Незалежні змінні – це такі характеристики судна (вихідні дані на проектування, головні розміри, коефіцієнти форми корпусу тощо), оптимальні значення яких потрібно визначити.

Обмеження формують допустимі значення незалежних змінних. Вони можуть бути функціональними та параметричними [46]. *Параметричні обмеження* задають граничні значення незалежних змінних. *Функціональні обмеження* – це вимоги до якостей судна (остійності, ходовості, експлуатаційні вимоги тощо), задані функціями.

Таким чином, для того, щоб задача мала оптимальне рішення вона повинна задовольняти двом вимогам: повинна бути забезпечена реальна можливість отримання більше одного рішення (допустимі рішення); повинен бути прийнятий критерій, що показує, в якому сенсі рішення з числа допустимих, що приймається, повинно бути найкращим, тобто оптимальним.

Сформулюємо *задачу оптимального проектування в загальній постановці*. Для цього позначимо вектор незалежних змінних через $x = \{x_i\}$, $i = 1, \dots, n$, де n – кількість незалежних змінних, а вектор початкових даних $U = \{U_j\}$, $j = 1, \dots, m$, де m – кількість заданих параметрів проектування. Тоді, якщо економічну ефективність судна розраховувати за допомогою критерію $f(x, U)$, а його якості описувати

функціями $g_j(x, U)$, то задачу в загальному вигляді можна сформулювати так: визначити такі значення незалежних змінних, які задовольняють наступним умовам:

критерій економічної ефективності приймає найменше (найбільше) значення

$$f(x, U) \rightarrow \min (\max);$$

виконуються вимоги до якостей судна (функціональні обмеження)

$$g_j(x, U) \geq a_j, \quad j=1, 2, \dots, k,$$

де k – кількість обмежень задачі; a_j – норми та рівні допустимих значень якостей судна у відповідності з нормативними документами та експлуатаційними вимогами;

значення незалежних змінних лежать в допустимих межах (параметричні обмеження)

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Отже, поставлена задача зводиться до визначення таких значень невідомих $\{x\}$, які мінімізують (максимізують) функцію $f(x, U)$ в обмеженому просторі змінних (області визначення).

9.3. Класифікація оптимізаційних задач та методи їх розв'язання

Класифікацію задач оптимізації, які виникають при проектуванні суден, будемо виконувати за наступними ознаками: початкові дані, незалежні змінні, критерій та обмеження.

В залежності від початкових даних, незалежних змінних, цільової функції та обмежень розрізняють різні класи задач (рис.9.1). Вони вимагають і відповідних методів розв'язання і, як наслідок, – програмних засобів. Найхарактерніші класи задач оптимізації наведені в табл.9.1.

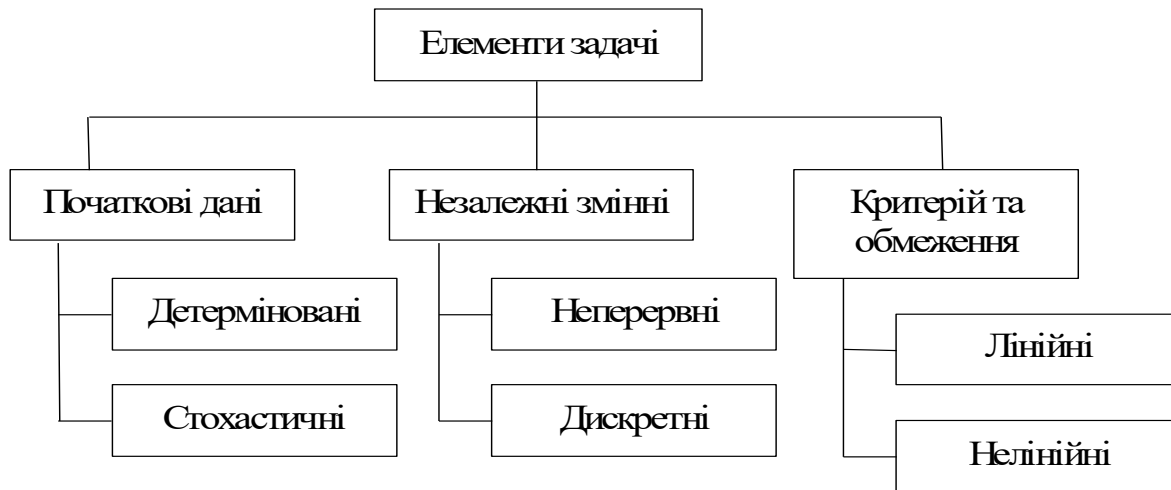


Рис.9.1.Класифікація оптимізаційних задач

Таблиця.9.1. Класи оптимізаційних задач

Початкові дані	Незалежні змінні	Критерій, обмеження	Задача
Детерміновані	Неперервні	Лінійні	Лінійного програмування
	Цілочисельні (дискретні)	Лінійні	Цілочисельного (дискретного) програмування
	Неперервні, цілочисельні	Нелінійні	Нелінійного програмування
Стохастичні	Неперервні	Лінійні, нелінійні	Стохастичного програмування

В залежності від кількості критеріїв оптимізації, які можуть бути визначені особою, що приймає рішення, розрізняють однокритеріальні та багатокритеріальні задачі оптимізації.

Спочатку коротко охарактеризуємо однокритеріальні методи пошуку оптимуму. Оскільки оптимізаційна задача в проектуванні суден, як правило, є нелінійною (через нелінійність показників економічної ефективності), то для безпосереднього її розв’язання потрібно скористатися методами нелінійного програмування [45]. Серед них розрізняють методи розв’язання задач без обмежень (*безумовна оптимізація*) та з обмеженнями (*умовна оптимізація*).

Методи нелінійного програмування, орієнтовані на розв'язання задач безумовної оптимізації в залежності від інформації, яка використовується для отримання наступної точки пошуку, поділяють на такі три групи:

прямі методи, які використовують безпосередньо значення цільової функції. Серед найбільш поширених методів даного класу перш за все потрібно назвати методи Гауса-Зейделя, Розенброка, Пауелла, Хука і Джівса [1,4,27,35,47];

методи першого порядку, які використовують додатково також значення перших похідних критерію оптимізації. Методи першого порядку збігаються набагато швидше ніж прямі методи, оскільки вони використовують похідні, що характеризують напрямки найбільшого спадання (зростання) функції. Найбільш поширеними методами першого порядку, що використовуються при вирішенні оптимізаційних задач нелінійного програмування, є градієнтні. Градієнтні методи мають декілька різновидностей, які визначаються правилами вибору ступенів варіювання та робочих кроків на кожному етапі руху до оптимуму [9,35,45];

методи другого порядку, які до того ж потребують наявності других похідних цільової функції.

Найчастіше для розв'язання задачі оптимізації характеристик судна використовуються прямі методи та методи першого порядку.

Тепер розглянемо методи вирішення *багатокритеріальних задач* [12, 14], які класифікуються в залежності від важливості критеріїв та від того, яким чином часткові критерії об'єднують в компромісний критерій [31] (рис.9.2).

Перший спосіб полягає в тому, щоб багатокритеріальну задачу звести до однокритеріальної і розв'язувати її звичайними методами оптимізації. Це можна зробити за допомогою методу послідовних поступок. Суть цього методу полягає в тому, що один з критеріїв оптимізації приймається за цільову функцію, а для інших вказують деякі граничні умови (тобто вони стають обмеженнями). Задачу вирішують звичайними методами

однокритеріальної оптимізації в декількох варіантах, які відрізняються один від одного граничними значеннями.

Другий спосіб вирішення багатокритеріальної задачі полягає в тому, що вводиться компромісна цільова функція (згортання критеріїв в один). При цьому потрібно враховувати відносну важливість кожного критерію оптимізації. В залежності від того, яким чином часткові критерії об'єднуються в один, розрізняють критерії адитивні, мультиплікативні та максимінні (мінімаксні).

Як правило, при побудові компромісної цільової функції необхідно виконати нормалізацію критеріїв, тобто зведення їх до безрозмірного вигляду.

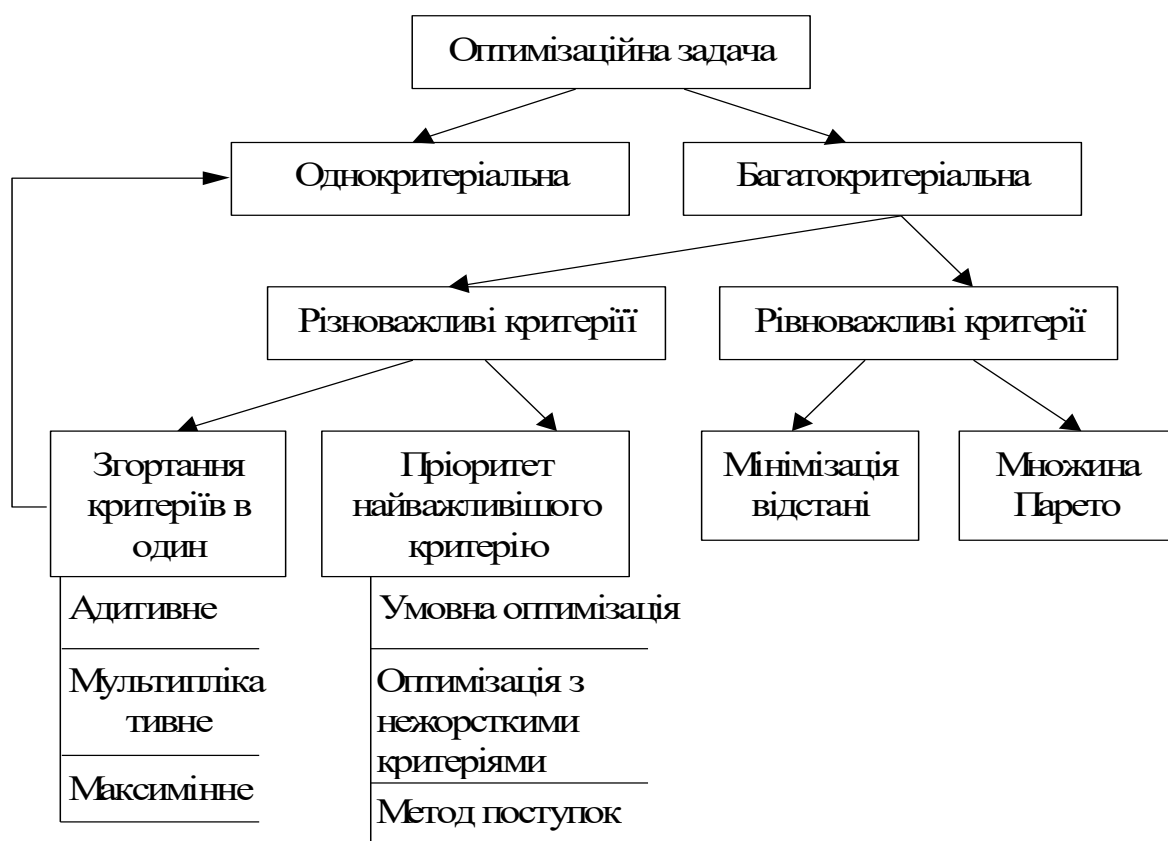


Рис.9.2.Класифікація оптимізаційних задач та методів їх розв'язання в залежності від кількості критеріїв

В адитивних критеріях цільова функція отримується шляхом складення нормованих значень часткових критеріїв f_k . Прикладом адитивної компромісної цільової функції може бути

$$f(x) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \frac{f_k}{f_{km}} \rightarrow \min ,$$

де K – кількість критеріїв оптимізації; f_{km} – нормативне значення часткового критерію оптимізації.

Таким чином, для оптимізації за такою цільовою функцією необхідно мати додаткові величини f_{km} та α_k . Значення нормованої величини f_{km} , як правило, назначається на основі технічного завдання. Якщо такого значення немає, то можна вирішити задачу оптимізації при максимізації (мінімізації) цієї величини і знайдене значення прийняти за нормативне.

Вагові коефіцієнти α_k назначаються при умові $\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1$ за допомогою експертних оцінок.

Мультиплікативний критерій отримується шляхом множення часткових критеріїв

$$f(x) = \prod_{k=1}^K \alpha_k \frac{f_k}{f_{km}} \rightarrow \min .$$

В основі побудови *максимінних критеріїв* лежить принцип максиміну, суть якого полягає в такій варіації незалежних змінних x , при якій послідовно "підтягуються" ті нормовані критерії, чисельні значення яких при початковому вирішенні стали найменшими. Внаслідок того, що операції виконуються в області компромісу, підтягування "відстаючого" критерію обов'язково призводить до зниження значної частини інших критеріїв. В результаті при проведенні послідовних кроків можна прийти до певної рівності суперечливих (конфліктних) часткових критеріїв, що і є метою принципу максиміну.

Формально принцип максиміну формулюється таким чином: потрібно вибрати такі $X^{(0)} \in X$, при яких реалізується максимум із мінімальних значень часткових критеріїв, тобто

$$f(X^{(0)}) = \min_X \max_k \{f_k(X)\}, k = 1, \dots, K, X = (x_1, \dots, x_n).$$

Якщо часткові критерії $f_k(x)$ потрібно мінімізувати, то самим

"відстаючим" критерієм є той, який приймає максимальне значення. В такому випадку принцип рівномірної компенсації формулюється у вигляді мінімаксної задачі:

$$f(X^{(0)}) = \min_k \max_X \{f_k(X)\}, k = 1, \dots, K, X = (x_1, \dots, x_n).$$

Інший спосіб багатокритеріального вибору полягає у відмові від виділення єдиної "найкращої" альтернативи та прийнятті гіпотези, що перевагу однієї альтернативи перед іншою можна віддавати лише тоді, коли перша по всіх критеріях краща за іншу. Якщо ж перевага хоча б за одним критерієм не співпадає з перевагою за іншим, то такі альтернативи визнаються незрівнянними. В результаті попарного порівняння альтернатив всі гірші за всіма критеріями альтернативи відхиляються, а всі інші незрівнянні між собою приймаються. Останні створюють так звану множину Парето (якщо вони не відносяться до однієї альтернативи) і вибір на цьому закінчується. При необхідності вибору єдиної альтернативи слід застосовувати додаткові міркування: вводити нові, додаткові критерії і обмеження, використовувати жереб, або скористатися послугами експертів.

Прикладами вирішення багатокритеріальних задач в проектуванні суден можуть бути задачі робіт [10, 20].

Розглянемо основні методи вирішення стохастичної задачі оптимізації характеристик судна. Перший метод дозволяє звести таку задачу за допомогою спеціального математичного апарату до детермінованого еквіваленту і розв'язати її методами нелінійного програмування. В основу цього методу покладено так званий дельта-метод [30, 44] головною ідеєю якого є оцінка статистичних характеристик системи (математичного сподівання, дисперсії, третього та четвертого моментів) з невідомим законом розподілу випадкової величини критерію оптимізації і відновлення цього закону за першими чотирма моментами.

Для цього використовується розвинення функції $f(x)$ в багатомірний ряд Тейлора відносно математичного сподівання $E(x)$, при збереженні членів ряду до другого порядку включно.

Даний спосіб не знайшов широкого застосування в практиці проектування суден через те, що він вимагає для всіх без винятку початкових даних, яким приписано ймовірнісний характер, наявності статистичних характеристик (математичного сподівання, дисперсії, третього та четвертого центральних моментів, кореляційних моментів для залежних величин).

Другий метод вирішення стохастичної задачі оптимізації застосовує апарат теорії ігор. Приклад його використання для розв'язання зовнішньої задачі проектування (оптимізація структури поповнення флоту) наводиться в роботах [11, 37]. Загальна схема розв'язання задач даним способом наведена на рис.9.3.

Вказана схема передбачає:

відбір скінченної кількості варіантів початкових даних або "станів природи" згідно з термінологією, прийнятою в [28];

знаходження оптимальних характеристик судна (варіантів розвитку системи) для кожного "стану природи" шляхом розв'язання детермінованої оптимізаційної задачі;

складання платіжної матриці, елементи якої показують економічний ризик, пов'язаний з вибором проекту, що не відповідає оптимальному варіанту судна для даного "стану природи";



Рис.9.3. Загальна схема розв'язання оптимізаційних задач в умовах невизначеності

обробка платіжної матриці за допомогою критеріїв Вальда, Севіджа та інших, і виявлення раціональних з позиції цих критеріїв варіантів, або груп варіантів проектів суден.

Аналізуючи даний спосіб, слід вказати на такі основні його недоліки: по-перше, це припущення про можливість тільки наперед розглянутих станів природи (варіантів зовнішніх умов), один з яких точно здійсниться. По-друге, компромісні розв'язання вибираються з наперед заданої множини допустимих планів. Крім того, апарат теорії невизначеності взагалі не включає які-небудь методи отримання розв'язань, з яких формується множина допустимих планів. Для цього використовують інші методи, наприклад, методи математичного програмування. За їх допомогою знаходять локально-оптимальні плани для всіх розглянутих

станів природи. Однак можливість дослідження інших допустимих планів (більш вдалий для вибору компромісного плану, чим локально-оптимальні) залишається невикористаною. Ніяких інших способів пошуку таких "проміжних" допустимих розв'язань теорія невизначеності не пропонує. Вона тільки допомагає вибрати розв'язання з числа розглянутих. По-третє, теорія невизначеності не знімає проблему невизначеності у прийнятті рішень, тобто не вказує, за яким же критерієм (Вальда, Севіджа, Гурвіца, Лапласа) необхідно проводити вибір оптимального варіанту.

Третім методом розв'язання оптимізаційної задачі в стохастичній постановці є метод імітаційного моделювання. Як метод наукового дослідження імітаційне моделювання відноситься до класу чисельних методів і дає змогу використовувати в практиці проектування суден активний експеримент з математичною моделлю судна. Проведення ж натурного експерименту, у більшості випадків, пов'язане з великими матеріальними витратами. За характером відображення процесу роботи судна імітація на ЕОМ схожа з натурним експериментом, але внаслідок використання математичної моделі та ЕОМ виконується за короткий термін та з мінімальними витратами. В порівнянні з детермінованими математичними моделями імітаційна модель більш адекватно відображає процес функціонування судна та враховує випадковий характер економічних нормативів. Але, як і будь-якому методу, імітаційному моделюванню притаманні недоліки, до яких, насамперед, потрібно віднести складність та трудомісткість побудови алгоритму моделювання, а також те, що результати моделювання отримують зі статистичними похибками і тому вони повинні інтерпретуватися за допомогою відповідних статистичних тестів. Але все ж, незважаючи на ці недоліки, імітаційне моделювання є одним з найефективніших методів дослідження складних стохастичних систем.

Пошук оптимуму з використанням імітаційного моделювання здійснюється прямими або двохетапними методами.

Двохетапні методи виконують апроксимацію поверхні відгуку (цільової функції) за результатами спостережень з використанням факторного планування в околі початкової точки пошуку. Використовуючи деякий оптимізаційний алгоритм, наприклад, градієнтний метод, проводиться пошук оптимальних значень незалежних змінних для підбраної залежності. Отримані таким чином значення незалежних змінних формують наступну точку пошуку. Процес повторюється до знаходження екстремальної точки.

Двохетапні методи відрізняються один від одного перш за все виглядом апроксимуючого полінома, оптимізаційними алгоритмами та типом планування. Як правило, для початкового визначення місцезнаходження оптимуму використовується поліном першого порядку:

Потім, за отриманим рівнянням регресії поверхні відгуку, проводиться пошук екстремуму. Для оптимізації можна застосувати будь-який вищевказаний алгоритм, але при цьому потрібно враховувати його ефективність пошуку та особливості цільової функції. Так, наприклад, якщо виконується умова, що цільова функція неперервна і диференційована по незалежних змінних в області пошуку, то можна використати будь-який градієнтний алгоритм. Але найчастіше в оптимізаційних задачах із застосуванням планування експериментів використовують методи, які спеціально створені для планування експериментів: крутого сходження при пошуку максимуму (найшвидшого спуску при пошуку мінімуму) та симплекс-метод [23, 24].

Метод крутого сходження було запропоновано Боксом та Уілсоном як синтез найкращих рис градієнтних методів та методів покоординатного спуску, причому пробні досліди для встановлення напрямку руху також виконують методом повного або дробового факторного експериментів. Від градієнтних методів тут перейнято виконання робочих кроків уздовж вектор-градієнта, визначеного в районі початкової (базової) точки, а від методу покоординатного спуску – принцип руху не на один робочий крок (як в методі градієнта), а до тих пір, коли буде досягнуто частинний

екстремум цільової функції по напрямку градієнта, без його коригування на кожному робочому кроці. Проведення пробних дослідів методом повного факторного експерименту дає змогу оцінити напрям градієнта більш точно, ніж при традиційному методі градієнтів.

Таким чином, в загальному вигляді метод Бокса-Уілсона полягає в послідовному повторенні таких кроків: побудові факторного експерименту в околі деякої точки; обчисленні оцінки градієнта в цій точці за результатами експерименту; круте сходження в напрямку оцінки градієнта; знаходження оцінки максимуму (мінімуму) цільової функції по даному напрямку.

Недоліком даного методу є складність планування пробних дослідів, яка вимагає одночасного варіювання зразу усіх факторів відносно базової точки.

Заслугує також на увагу метод симплекс-планування. При симплекс-плануванні прямування до області оптимуму у факторному просторі виконується переміщенням симплексу, тобто послідовним відкиданням вершин з мінімальним (максимальним) значенням цільової функції та побудові нового симплексу. Тут пошук проводиться не після серії дослідів, як, наприклад, при використанні крутого сходження, а після кожного дослідів, починаючи з $(n+1)$ дослідів. В результаті утворюється послідовність симплексів, що переміщуються до області оптимуму. Але при використанні симплекс планування виникають дві важливі проблеми, яких важко уникнути при використанні ЕОМ. Перша з них – це можливе зациклювання симплексу, тобто обертання симплексу навколо однієї з вершин. Це явище виникає внаслідок похибки експерименту та коли цільова функція має високі гребені та круті яри. Для її вирішення пропонуються різноманітні способи, наприклад, використання модифікованого симплексного методу (розтягування та стискування симплексу) або обмеження кількості обертів навколо однієї вершини, після чого проводиться вибір вершини не з мінімальним, а з наступним більшим значенням. Але в більшості випадків реалізувати ці способи програмно

дуже складно. Інша важлива проблема – визначення моменту своєчасного завершення пошуку. Якого-небудь єдиного ефективного критерію для визначення моменту зупинки і дотепер немає. Так для цього пропонується використовувати явище зациклювання і завершення пошуку проводити після досягнення заданої кількості обертання симплексів з однією і тією ж вершиною. В будь-якому випадку, застосування симплекс-методу потребує інтерактивного діалогу людини і комп'ютера, що не завжди є прийнятним для оптимізаційної задачі. Також за недолік необхідно вважати те, що симплексний метод не дає змогу безпосередньо отримати математичний опис ділянки поверхні відгуку, яка досліджується, та те, що в умовах пологих поверхонь він, як і більшість вищеназваних оптимізаційних алгоритмів, не дає точного розв'язання.

Серед основних переваг симплексного методу можна виділити такі: достатньо висока перешкодостійкість при виборі напрямку руху до екстремуму; висока швидкість виходу в область екстремуму. Але головним недоліком (для проектування суден) як методу крутого сходження, так і методу симплекс-планування є складність урахування функціональних обмежень.

Після виходу в район екстремуму (за наявності обмежень – умовного) положення оптимальної точки уточнюється за допомогою полінома 2-го порядку.

Після знаходження адекватного опису поверхні відгуку необхідно в'яснити, чи існує екстремум і якщо він існує, знайти його координати. Проте аналізувати поліном другого порядку у такій формі хоча і можна, але дуже складно. У зв'язку з цим потрібно застосовувати спеціальні методи математичного аналізу. Детальний опис застосування імітаційного моделювання в проектуванні суден можна знайти в роботах [2, 5, 6, 16].

9.4.Контрольні запитання

1. Дайте визначення системи.

2. Викладіть сутність системного підходу до оптимізації характеристик судна.
3. Сформулюйте оптимізаційну задачу в загальній постановці.
4. Дайте визначення складових оптимізаційної задачі.
5. Наведіть класифікацію оптимізаційних задач.
6. Назвіть основні методи розв'язання детермінованої оптимізаційної задачі.
7. Дайте короткий опис методів вирішення багатокритеріальної задачі.
8. Які методи побудови компромісної цільової функції ви знаєте?
9. Для чого виконується нормування цільової функції?
10. Дайте коротку характеристику основних методів розв'язання стохастичної оптимізаційної задачі.
11. Яка загальна схема розв'язання стохастичної задачі апаратом теорії ігор?
12. Викладіть сутність методів імітаційного моделювання.

9.5. Основні терміни і поняття

Система	Системний підхід
Зовнішнє проектування	Внутрішня задача
Загальна постановка задачі оптимального проектування судна	Незалежні змінні
Цільова функція	Обмеження задачі оптимізації
Функціональні обмеження	Параметричні обмеження
Умовна оптимізація	Безумовна оптимізація
Прямі методи	Методи першого порядку
Методи другого порядку	Багатокритеріальна задача
Аддитивний критерій	Мультиплікативний
критерій	

Розділ 10. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАГАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ СУДНА

10.1. Креслення загального розташування. Порядок розробки та оформлення

Креслення, на яких показується розташування усіх приміщень, необхідних для забезпечення експлуатаційних та навігаційних якостей судна, називаються кресленнями загального розташування. До них відносять:

- боковий вид з розрізом підводної частини;
- плани палуб, платформ, трюму, надбудов, рубок;
- характерні поперечні перерізи (два–три);
- додаткові креслення в залежності від особливостей проекту.

При виконанні курсового проекту плани платформ, деяких палуб, поперечних перерізів можуть не наводитись по узгодженню з керівником курсового проекту.

Масштаб креслень загального розташування (бокового вигляду, планів палуб та поперечних перерізів) повинен бути однаковим з масштабом теоретичного креслення і прийматися в залежності від габаритних розмірів судна одним з таких: 1:25, 1:50, 1:100, 1:200. Плани палуб надбудов допускається виконувати в масштабі 1:100. На кресленні, де зображено повздовжній розріз судна, наводяться такі характеристики судна (у вигляді табл.10.1):

Розробка креслень загального розташування розпочинається з креслення базових ліній. Базовою лінією для креслення повздовжнього розрізу є ОЛ, для планів палуб, платформ та трюмів – ДП. На базових лініях усіх проекцій наносяться практичні шпангоути. Нумерація шпангоутів – з носа в корму, причому нульовий шпангоут співпадає з НП. В ніс від НП нумерація має від'ємний знак.

Таблиця 10.1. Характеристики судна на кресленні поздовжнього розрізу судна

Найменування	Розмірність	Позначення	
Довжина найбільша	м	$L_{\text{нб}}$	
Довжина між перпендикулярами	м	$L_{\perp\perp}$	
Ширина	м	B	
Висота борту	м	H	
Осадка проектна	м	T	
Дедвейт при проектній осадці	т	DW	
Місткість вантажних танків(трюмів)	м ³	W	
Марка головного двигуна			
Продовж. табл. 10.1			
Максимальна потужність	кВт	N	
Частота обертання гребного гвинта	хв ⁻¹	—	
Дальність плавання	милі	—	
Швидкість судна експлуатаційна	вузли	v	
Екіпаж	осіб	—	
Клас			

Зовнішні обводи корпусу на боковому вигляді та на планах усіх палуб викреслюються по ТК і повинні повністю йому відповідати. На боковому вигляді у кожного штевня наносять умовне позначення КВЛ.

На проекції кожної палуби (платформи) окрім її обводу наносять обвід вище розташованої палуби. На плані трюму (танка) необхідно показати два обводи: подвійного дна та найближчої палуби. Обводи виконують суцільними основними лініями. Поперечні перебірки на планах палуб показують також суцільними основними лініями та доводять до обводу вище розташованої палуби.

Безпосереднє komponування суднових приміщень розпочинається після розробки переліку приміщень, необхідних для нормальної експлуатації судна та визначення їх площ та об'ємів за допомогою нормативних, довідкових матеріалів та даних по суднах-прототипах.

Крім розташування приміщень на кресленнях загального розташування повинні бути показані:

- всі двері, трапи, люки, ілюмінатори;
- суднові пристрої (рульовий, якірний, рятувальний, швартовний, вантажний);
- радіоантени, антени радіопеленгаторів;
- навігаційні та ходові вогні;
- гвинторульовий комплекс;
- габаритні обриси головного двигуна, осі валопроводу, рушій.

На зображенні головного двигуна вказується його марка та потужність. На кресленнях, окрім графічного зображення судна, обладнання, пристроїв, повинні бути пояснювальні надписи:

- вантажопідйомність стріл та кранів;
- місткість шлюпок, катерів та плотів;
- найменування усіх приміщень;
- спеціальне обладнання та пристрої.

Усі проєкції на кресленні загального розташування потрібно розташовувати так, щоб зазори між ними та краями креслення були приблизно однаковими. Кожна проєкція повинна мати зверху напис з її назвою, розміщений ближче до цієї проєкції.

Усі креслення загального розташування виконуються олівцем на ватмані з обов'язковим дотриманням діючих у суднобудуванні нормативних вимог. Допускається (по узгодженню з керівником курсового проєкту) креслення загального розташування виконувати на ЕОМ з використанням AutoCad або інших графічних пакетів програм.

Формати креслень повинні вибиратися у відповідності з ГОСТ 2.301–68, а масштаби – з ГОСТ 2.302–68. Усі надписи на кресленнях повинні бути виконані шрифтами, які відповідають ГОСТ 2.304–81.

Умовні спрощення зображення суднових виробів, обладнання, пристроїв та дільних речей повинні зображуватися на кресленнях у відповідності з ОСТ5.03.38–87.

10.2. Класифікація суднових приміщень

На кожному транспортному судні передбачено три групи суднових приміщень:

1. Спеціальні, необхідні для виконання судном його основних функцій. На вантажних суднах це трюми, твіндеки, диптанки, танки;

2. Службові, які необхідні для нормальної експлуатації судна як плавучої інженерної споруди. До них відносяться такі приміщення:

головних механізмів – машинне та котельне відділення;

допоміжних механізмів – електростанції, насосне відділення, якірних механізмів, румпельне відділення та ін.;

навігаційних запасів – цистерн для палива, мастила, поживної води для котлів;

навігаційні – рульова та штурманська рубка, радіорубка, гірокомпасна, трансляційна, АТС та ін.;

загальносуднові господарчі – теслярна, шкіперська, тросова, ліхтарна, малярська, та інші комори;

баластні цистерни;

ланцюговий ящик;

кофердами;

тунель гребного гвинта.

3. Приміщення для екіпажу;

житлові приміщення;

громадські – кают-компанія, салони комскладу та команди, їдальня, спортзал, плавбасейн, бібліотеки, фотокаюта та ін.;

санітарно-гігієнічні – лазні, душові, умивальники, туалетні;

господарчі та побутові – суднова канцелярія, камбуз, буфетні, пральня, комори провізії та матеріального постачання, майстерні;

медичні – амбулаторія, лазарет, ізолятор та ін.

Для обслуговування приміщень усіх категорій на суднах використовуються комунікації, тобто, коридори, вестибулі, тамбури, ліфти, трапи.

10.3. Основні положення розташування приміщень на судні

10.3.1. Спеціальні приміщення

Головним фактором в проектуванні загального розташування судна є розташування спеціальних приміщень.

Незважаючи на велику різноманітність вантажів та їх особливостей, існують загальні вимоги, яким повинні задовольняти вантажні приміщення всіх транспортних суден. Визначаючи розміри, розташування та обладнання вантажних приміщень, необхідно забезпечити: збереження вантажів, потрібні умови проведення вантажних робіт та повне використання кубатури вантажних приміщень.

Докорінні відмінності вантажів, які перевозяться, обумовили існування трьох основних типів транспортних суден: суховантажних, наливних та пасажирських. В даному посібнику розглянуто тільки спеціальні приміщення суховантажних та наливних суден.

До вантажних приміщень суховантажних суден належать вантажні трюми, твіндеки, цистерни та диптанки. При розподілі сумарного об'єму вантажних приміщень по довжині та висоті на цих суднах слід виходити з наявності на судні вантажів, найбільш ймовірних для даного судна. При цьому потрібно звертати увагу на необхідність зменшення кількості

перебірок, так як це позитивно позначається на економічних показниках роботи судна.

Більш детально питання вибору розмірів вантажних приміщень вже було розглянуто в розд.7.1.

10.3.2. Службові приміщення

10.3.2.1. Приміщення суднової енергетичної установки

Суднова енергетична установка розташовується в МВ в середній частині судна, кормі або займає проміжне положення.

У відповідності з вимогами Регістру [32] кожне машинне відділення повинно мати не менше двох виходів до рятувальних шлюпок та плотів. Кожний з двох виходів повинен знаходитися як можна далі один від одного та складатися зі сталевих трапів, які ведуть до дверей виходу з цих приміщень. Один із виходів може проходити через сталеві двері, що керуються з двох сторін, в приміщення, яке має самостійний вихід. Крім вищезазначених виходів, кожне МВ повинно мати аварійний вихід. Його можна не робити, якщо з МВ є вихід в тунель гребного вала, який в свою чергу має аварійний вихід на відкриту палубу.

10.3.2.2. Приміщення допоміжних механізмів

Суднову електростанцію розташовують, як правило, в межах МВ – по бортам від головного двигуна, або ярусом вище, на платформі. Осі генераторів потрібно розташовувати вздовж судна, а головний розподільний щит – впоперек.

Утилізаційні котли знаходяться або в шахті МВ, або в кожусі димової труби, допоміжні котли – на платформі МВ, іноді в окремому відсіку.

Шахти котельного та машинного відділень часто об'єднують в одну. Розміри шахт повинні бути достатніми для діставання дизель-генераторів та котлів, частин головного двигуна.

Розміри та конструкція *кожуха димової труби* повинні бути такими, щоб не задимлювалось судно.

Запасний пост керування судном призначається для аварійних ситуацій. Часто він розташовується в румпельному відділенні над ахтерпіком і має штурвал та магнітний компас.

10.3.2.3. Цистерни навігаційних запасів

Розташування *цистерн навігаційних запасів* палива та мастила, поживної води для котлів виконується у відповідності з попередньою схемою повздовжнього розрізу та епюрою ємності. Найчастіше вони розміщуються в МВ.

Форпик та *ахтерпик*, як правило, використовуються для розташування водяного баласту.

Приміщення судових запасів та *спорядження* розташовують в районі житлових та громадських приміщень (комори інвентарю для прибирання, килимів, килимків, чохлів, культ та спортінвентарю), та в районі відкритих палуб (комори аварійно-рятувального, водолазного, зварювального майна).

10.3.2.4. Навігаційні приміщення

Навігаційні приміщення складаються з рульової рубки, штурманської рубки, радіорубки, крил ходового містка та запасного поста керування. Ходовим містком називають всю палубу на рівні рульової рубки. Внутрішнім трапом ходовий місток повинен з'єднуватися як з нижче розташованою палубою, так і з навігаційним містком.

Головний пост керування судна у відповідності з [32] повинен розташовуватися на *ходовому містку* в закритому приміщенні в *рульовій рубці*. В ньому зосереджуються усі засоби керування судном, прилади спостереження, засоби зв'язку та сигналізації.

Розташування ходового містка повинно забезпечувати:

можливість постійного нагляду за рухом судна;
хорошу видимість з максимальним оглядом поверхні води;
хорошу чутність звукових сигналів зустрічних суден;

Пост керування судном рекомендується влаштовувати в діаметральній площині. Огляд поверхні води з поста керування судном не повинен бути затінений на відстані більше ніж дві довжини судна, або 500 м, в залежності від того, що менше (при кормовому розташуванні надбудови), а також, в напрямку до носа судна на 10° кожного борту незалежно від палубного вантажу, який перевозиться, осадки судна та диференту.

Розміри рульових рубок (ширина та довжина вздовж судна) змінюються від 3,0x2,5 до 14x4 м; на більшості середньотоннажних суден приблизно 8x3 м. В кормовій перебірці роблять один або два виходи – в штурманську рубку та інші суднові приміщення. В бокових перебірках влаштовують двері для виходу на крила ходового містку, які знаходяться по бортах рульової рубки.

Конструкція та розташування вікон в рульовій рубці повинні відповідати таким вимогам:

простір між вікнами повинен бути мінімальним та не розміщуватися безпосередньо перед робочим місцем вахтового;

для попередження відбиття передні вікна рубки повинні мати нахил від вертикалі, виступаючи в своїй верхній частині назовні на кут не менше 10° та не більше 25° ;

поляризоване та тоноване скло не повинно встановлюватися;

ясний огляд, по крайній мірі, через два передніх вікна рубки і. в залежності від її конструкції, через додаткову кількість вікон повинен забезпечуватися завжди, незалежно від умов погоди.

Штурманська рубка повинна бути розміщена в приміщенні, суміжному з рульовою рубкою в корму від неї. Допускається влаштовувати рульову і штурманську рубку в одному приміщенні. Штурманська рубка, як правило, має двоє дверей – в рульову рубку та в

коридор. Найбільш характерними є штурманські рубки площею біля 20 м². Широке застосування знаходять об'єднані рульові та штурманські рубки, розділені тільки невисокою напівперегородкою.

Радіорубка повинна знаходитися на палубі ходового містка або вище, поблизу від місця з якого здійснюється керування судном, переважно з лівого борту. В окремих випадках, коли розміри ходового містка дозволяють розмістити на ньому тільки штурманську та рульову рубки, допускається розміщення радіорубки на одну палубу нижче від ходового містка. Радіорубка не повинна використовуватися для проходу в приміщення, які не мають відношення до радіоустаткування, а також як каюта для постійного проживання. Каюта начальника радіостанції повинна розташовуватися суміжно з радіорубкою, а якщо це не можливо, то на відстані не більш як 20 м (довжина шляху) від радіорубки і не нижче ніж на одну палубу. Каюти радіооператорів також повинні розташовуватися поблизу радіорубки. Площа радіорубки повинна бути не менше ніж у два рази більше площі, яка займається радіоустаткуванням і меблями у плані (в курсовому та дипломному проектуванні площу радіорубки приймати 12–16 м²). Поблизу радіорубки розміщують її підсобні приміщення – *аккумуляторну* та *агрегатну*. Площа аккумуляторної складає 3–4 м², агрегатної – 4–5 м². Вихід з аккумуляторної влаштовують безпосередньо на відкриту палубу, а з агрегатної – на палубу, або в коридор.

Лоцманська каюта влаштовується на ходовому містку з забезпеченням безперешкодного проходу на навігаційний місток. Площа її приблизно 6 м².

Приміщення лага та ехолоту розміщують на подвійному дні.

Гірокомпасні на вітчизняних судах розташовують на палубі, поблизу вантажної ватерлінії в діаметральній площині, на відміну від іноземних, на яких гірокомпасні розташовують на ходовому містку всередині блока інших приміщень. Гірокомпасна займає площу 6–8 м².

Радіолокаторна установка має окреме приміщення на ходовому містку площею 4–7 м².

10.3.2.5. Загальносуднові господарчі приміщення

Шкіперську комору розміщують окремо в носовій частині судна. Вхід в шкіперську може виконуватися або через двері в перебірці, які відкриваються назовні, або через люк, встановлений на палубі. Трап повинен бути нахиленим.

Ліхтарна та *малярна* розташовується на верхній палубі окремо від житлових та громадських приміщень та мають виходи на відкриту палубу.

Основний комплекс майстерень розташовують в межах МВ під верхньою палубою. Тільки теслярна майстерня влаштовується на верхній палубі, серед приміщень бака. Мінімальні площі різноманітних комор наведено в табл.10.2.

Таблиця 10.2. Мінімальні площі приміщень

Назва приміщення	Мінімальна площа, м ²	Назва приміщення	Мінімальна площа, м ²
Шкіперська	20	Комора спортінвентарю	5
Малярна	7	Комора культінвентарю	6
Ліхтарна	5	Комора кіноплівок	5
Такелажна	6	Тросова	15
Комора тентів і брезентів	15	Комора боцманського майна	7
Комора аварійного майна	10	Комора матеріально-технічного спорядження	9
Комора інвентарного спорядження	10	Комора прибирального інвентарю	5
Комора буфетного спорядження	4	Комора столового спорядження	4

Розміри *тунелю гребного вала* повинні бути достатніми для проходу, огляду та ремонту підшипників, а також монтажних робіт при заміні окремих секцій валопроводу. Ширина тунелю 1,5–1,8 м, висота приблизно 2 м. На великих суднах висота тунелю може бути більшою.

Для зручності робіт при розбиранні валопроводу кормову частину тунелю розширюють, доводячи її до бортів. Довжина рецеса залежить від розмірів гребного валу і рівняється 3–8 м. Висота рецесу дорівнює висоті тунелю, але при низькому тунелі може підніматися над його склепінням на 0,3–0,6 м. Довжина носового рецесу 2–3 м, ширина дорівнює подвоєній ширині тунелю.

Виходи із *тунелів*, призначених для валопроводів та трубопроводів, повинні бути в водонепроникних шахтах, виведені вище граничної лінії занурення. Один з виходів може вести в машинне відділення. Аварійний вихід із тунелю гребного вала влаштовують в районі кормового рецесу, по перебірці ахтерпіку. На великих сучасних суднах, при значній кількості палуб, в МВ передбачають ліфт, який забезпечує можливість підйому до верхнього ярусу надбудови. Ліфт не повинен розглядатися як вихідний шлях.

10.3.3. Приміщення для екіпажу

10.3.3.1. Комплектація екіпажу

Екіпаж кожного судна очолюється капітаном і складається з командного складу та суднової команди. До командного складу відносять: старшого помічника капітана, старшого механіка, 2 помічника капітана, 3 помічника капітана, 4 помічника капітана, 2 механіка, 3 механіка, 4 механіка, старшого електромеханіка, електромеханіків, начальника суднової радіостанції.

Суднова команда складається із палубної та машинної команди та команди побутового обслуговування. В склад палубної команди входять: боцман, старший рульовий, матроси I та II класу. В склад машинної команди входять: мотористи I та II класу, електрики, рефрижераторний машиніст, судновий токар, донкерман (на наливних суднах).

До обслуговуючого персоналу відносять: повара, пекаря, буфетників, прибиральників.

10.3.3.2. Житлові приміщення.

Для розміщення екіпажу та пасажирів можна використовувати будь-які приміщення на судні, за виключенням:

- приміщень без природного освітлення та вентиляції;
- приміщень за перебітками форпіку в ніс та ахтерпіку в корму над або під верхньою палубою;
- приміщень розташованих безпосередньо над цистернами з паливом та котельними приміщеннями або сумісно з ними;
- приміщень, які мають безпосередній вихід в інші приміщення, де розташовані котли, механізми, запаси палива, а також малярну та ліхтарну.

Приміщення командного складу розташовують на верхніх ярусах надбудови (блок-каюта капітану по правому борту на ярус нижче рульової рубки), а суднової команди – ближче до верхньої палуби та МВ. Житлові приміщення екіпажу поділяються на каюти, які складаються з одного приміщення з умивальником або санітарною кабіною, та блок-каюти з двох та більше приміщень. Мінімально допустима площа житлових приміщень команди на усіх (крім риболовних) суднах валовою місткістю від 1000 до 10000 рег. т складає 3,72 м² на одну особу. На суднах місткістю більше 10000 рег. т площа житлових приміщень команди повинна бути не менше 4,65 м² на одну особу, а площа кают комскладу – не менше 7,43 м².

На суднах місткістю більше 3000 рег.т рекомендується влаштування *блок-каюти* капітана із кабінету, спальні та санвузла, теж саме відноситься до старшого комскладу суден більше 8000 рег. т, на яких в блок-каюту капітана бажано включити ще й салон.

Команда на суднах розміщується в *одномісних* або максимум *двомісних каютах*. Практично на більшості морських вантажних суден

дедвейтом від 2000 до 10000 т використовуються такі норми площ в житлових приміщеннях (табл.10.3).

Таблиця 10.3. Норми житлових приміщень

Назва приміщення	Площа, м ²		
	Мінімаль-на	Рекомендова-на	Максималь-на
Двомісна каюта	10	12	14
Одномісна каюта без санвузла	8	10	12
Одномісна каюта з санвузлом	12	15	18
Блок каюта із кабінету, спальні та санвузла	22	27	32
Блок каюта із кабінету, салону, спальні та санвузла	38	44	50

10.3.3.3. Громадські приміщення

До громадських приміщень відносяться: їдальня та салон команди, кают-компанія та салон комскладу, курильна, бібліотека та приміщення для занять, спорткаюта та спортплощадка на відкритій палубі, закритий та відкритий плавбасейн, бар, кафетерій. На суднах з багаточисельним екіпажем (промислові бази) влаштовується кінозал.

Більшість громадських приміщень потребує значних площ та хорошого природного освітлення, тому розташовуються на верхніх ярусах надбудови, де можна використовувати значні за розмірами ілюмінатори. Деякі громадські приміщення – споркаюти, закриті басейни, кінозали, ресторани, бари можна розташовувати в приміщеннях без денного світла.

Громадські приміщення не повинні розташовуватися поряд з санітарно-гігієнічними, і в будь-якому випадку відокремлюються від них коридорами або тамбурами.

Номенклатура громадських приміщень залежить від величини судна та чисельності екіпажу. Наприклад, на малих суднах допускається влаштування сумісної столової для команди та комскладу, яка може навіть

виконувати і функції салону відпочинку. Спортзал, закритий басейн, бар і т.д. можна улаштовувати лише на великих суднах з порівняно невеликою командою.

На усіх середніх та великотоннажних суднах обладнуються їдальні для команди та кают-компанія для комскладу, які необхідно розташовувати суміжно з камбузом або на одній палубі, або на різних, і тоді їжа із розташованого нижче камбуза подається в буфетну столової або кают-компанії спеціальним ліфтом. Буфетна, в будь-якому випадку необхідна та служить проміжним ланцюгом між камбузом та приміщенням для прийняття їжі.

Площі столової та кают-компанії визначаються виходячи із кількості посадочних місць та норм площі на одне посадочне місце. В столовій передбачається 70 % місць від кількості членів команди, яка користується цими приміщеннями. В кают-компанії необхідно обладнувати місця для усіх членів комскладу, які користуються нею. Рекомендовані при проектування площі приміщень для прийняття їжі наведено в табл.10.4.

Салон команди розташовується суміжно зі столовою. Між ними встановлюється легка розсувна напівперебірка, прибравши яку можна об'єднати приміщення для проведення лекцій, співбесід або перегляду кінофільму.

Таблиця 10.4. Рекомендовані площі кают-компанії та їдальні

Найменування приміщення	Площі на одне посадочне місце (м ²) при дедвейті (т)		
	до 16000	16000–25000	більше 25000
Кают-компанія	2,0	2,2	2,6
Їдальня	1,4	1,8	2,2

Салон комскладу розташовується аналогічним чином поряд з кают-компанією. Кількість місць в салонах відпочинку повинна бути не менше 1/3 від кількості членів екіпажу. Площа на одне місце в салонах може бути прийнята 1,8–2,5 м² у відповідності з величиною судна.

Кімната для паління для команди та *салон для паління* комскладу обов'язково влаштовується на нафтоналивних суднах. На невеликих

суднах допускається сумісна кімната для паління. Ця кімната обладнується меблями для сидіння, урнами та попільничками.

Бібліотека на судні займає площу від 6 до 12 м², а читальний зал або каюта для занять 8–22 м² в залежності від величини судна.

Каюта для індивідуальної творчості може мати площу 6–16 м². Кафетерій або бар – 10–22 м².

Спорткаюта (спортплощадка) та басейни поділяються на різні типи, застосування яких обумовлено як величиною судна, так і районом плавання. На сучасних великотоннажних суднах площа спорткают досягає 50 м² та займає два яруси надбудови.

Для покращання умов життєпридатності рекомендується:

збільшення площі кают команди до 14...18 м²;

стабілізацію площі кают комскладу в межах 18...20 м²;

забезпечення усіх членів команди одномісними каютами;

обладнання кают індивідуальними санвузлами;

вирівнювання стандарту кают команди та комскладу;

виділення окремої зони громадських приміщень;

розширення номенклатури громадських приміщень, в яку бажано ввести: бібліотеку, приміщення для занять, майстерню, спорткаюту, критий басейн, каюту для гучних ігор (теніс, морський більярд), спортплощадку на відкритій палубі, фотокаюту, кафетерій або бар;

обов'язковий розподіл функцій приміщень для прийняття їжі та приміщень для відпочинку.

10.3.3.4. Господарчі та побутові приміщення.

Харчоблок – група приміщень на судні, призначених для обробки продуктів, приготування їжі, миття та зберігання посуду.

Номенклатура та кількість приміщень харчоблоку для конкретного судна визначається чисельністю екіпажу та пасажирів, призначенням судна, тривалістю рейсу та районом плавання. Площі приміщень

визначаються виходячи з раціонального розташування обладнання і проходів для обслуговування та ремонту.

Приміщення харчоблоку на судах, як правило, розташовуються у кормовій перебірки або у одного з бортів в кормовій частині. В окремих випадках, коли харчоблок неможна розміщувати у зовнішніх стінок, допускається влаштування його в діаметральній площині судна з обов'язковим забезпеченням при цьому природного освітлення камбузу через світловий люк. Розташовувати харчоблок в носових районах надбудови недоцільно, оскільки запах приготовленої їжі буде розповсюджуватися по всіх приміщеннях судна. Харчоблок по можливості проектується у вигляді комплексу з максимальним наближенням до нього столових, кают-компаній та ресторанів. Приміщення харчоблоку не допускається розміщувати сумісно з гальюнами, душовими, пральними, хімічними коморами та приміщеннями з високою температурою повітря.

Заготівельна – приміщення або вигородка харчоблоку для попередньої обробки сировини та заготівлі напівфабрикатів: при 35 особах, які харчуються на судні, не виділяється із камбузу; при більшій кількості (до 100 осіб) виділяється від камбузу напівперебіркою.

Хлібопекарня розташовується в одному приміщенні з камбузом на судах з екіпажем до 35 осіб та розділяється напівперебіркою при кількості екіпажу від 35 до 100 осіб.

Посудомийна призначена для централізованого миття, сушіння, та зберігання столової та чайної посуду, має два вікна для прийняття брудної та видачі чистої посуду. Посудомийна суднах часто сполучається з буфетними, відокремлюючись напівперебіркою.

Буфетні призначені для видачі та сервіровки столів при столових та кают-компаніях. В буфетних приготівляють чай, кофе, зберігають холодні закуски, масло, сир, ковбасу та інші продукти, які подаються на столи не через камбуз. Розташовуються буфетні між камбузом та столовою (кают-

компанією) та можуть мати дві вигородки для хліборізки та миття столової та чайної посуду.

Камбуз призначений для теплової обробки продуктів, тобто для основної та завершальної стадії приготування їжі. Камбуз розміщують біля зовнішньої перебірки, найчастіше, в кормовій частині надбудови або по бортам поблизу з провізійними коморами та буфетними. Для орієнтовного розрахунку площі камбузів та буфетних можна скористуватися даними, наведеними в табл.10.5.

Провізійні комори. Номенклатура провізійних комор на судні визначається чисельністю екіпажу та пасажирів, автономністю та районом плавання судна.

Основою для проектування провізійних комор конкретного судна служить кількість раціоно-днів. Це умовна одиниця забезпечення продуктами харчування на судні однієї особи на одну добу автономного плавання. Кількість раціоно-днів одержують множенням кількості осіб на кількість діб його автономного плавання.

Комори для зберігання продуктів, що швидко псуються і охолоджуються, повинні бути на всіх судах, тривалість плавання яких перевищує 12 годин. На судах з кількістю раціоно-днів до 300 допускається улаштування тільки двох охолоджуваних комор: однієї для м'яса та жирів, другої для овочів, картоплі та засолених продуктів.

Таблиця 10.5. Площі приміщень харчоблоку на морських вантажних судах

Дедвейт, т	1500	4500	7500	12500	20000	50000	80000
Екіпаж, ос.	26...29	41...46	43	47...49	53...57	66	73
Камбуз, включаючи хлібопекарню та заготівельну	10...16	20...30	25...35	30...40	35...45	40...55	45...60

Буфетна кают-компанії	4...6	6...10	7...11	7...11	8...12	8...12	8...14
Буфетна столової команди	4...6	5...10	6...12	6...12	8...14	10...16	10...16

Провізійні комори розташовуються в одному блоці поблизу камбузу або під ним на одній або двох палубах на одній вертикалі так, щоб навантаження провізії проходило через одну шахту, а доставка в камбуз – за допомогою спеціального ліфту.

Не слід розташовувати провізійні комори сумісно з машинними відділеннями, камбузами, душовими, пральними, цистернами для палива та мастила. Одним із традиційних місць розташування провізійних комор на морських вантажних суднах є приміщення під верхньою палубою, які частково знаходяться під відкритою верхньою палубою для улаштування вантажного люка, а частково під приміщеннями харчоблоку.

Входи в провізійні комори не можна влаштовувати поряд або напроти входів в санітарно-гігієнічні та медичні приміщення. Проходи між коморами та камбузом повинні бути зручними та короткими шириною не менше 800 мм. Двері комор відкриваються назовні (окрім видаткової комори хліба). Видаткову комору з добовим запасом провізії розташовують біля камбузу. Запас провіанту розраховують виходячи із добових норм на одну особу (в кг):

м'ясо та м'ясопродукти	– 0,25
риба та рибопродукти	– 0,20
масло та жири	– 0,085
молоко, сир, яйця	– 0,25
овочі, картопля	– 0,95
напої: для екіпажу	– 0,40
для пасажирів	– 1,00
сухі продукти (цукор, крупа, макарони, кондитерські вироби)	– 0,25
хліб та хлібобулочні вироби	– 0,60
борошно	– 0,45

фрукти

– 0,25

Добові норми, помножені на кількість раціоно-днів, дають можливість визначення площ на основі норм завантаження (табл.10.6, 10.7). В цих таблицях вантажну площу визначають діленням кількості продуктів, які потрібно зберігати в коморах, на норму завантаження її площі. Величина коефіцієнта вибирається в залежності від можливостей розташування комор на судні. Більші значення потрібно розглядати як допустимі, менші – як рекомендовані.

Таблиця 10.6. Норми завантаження продовольчих комор

Найменування комори	Норма завантаження, кг на 1м ²	Найменування комори	Норма завантаження, кг на 1м ²
1. Охолоджувані		2. Неохолоджувані	
м'яса та птиці	250	сухих продуктів (без борошна)	250
риби	300	сухих продуктів (з борошном)	300
Яєць та молочних продуктів	300	борошна (зберігання на стелажах)	500
овочів	400	борошна (зберігання в штабелях)	1000
фруктів	400	хліба	250
напоїв	400	витратні продукти	200

Пральні, сушильні, гладильна та комори білизни розташовують в одному блоці, ізолюваному від інших приміщень екіпажу, як правило, в кормовій частині судна нижче верхньої палуби, яка не використовується для постійного перебування людей.

Таблиця 10.7. Коефіцієнт збільшення площі комор

Вантажні площі комор, м ²	Коефіцієнт для комор	
	охолоджуваних	неохолоджуваних
До 2,6	2,0...2,2	1,9...2,0
2,6...4,0	1,8...2,1	1,6...1,9

4...6	1,6...1,9	1,5...1,7
6...10	1,4...1,7	1,4...1,6
10...16	1,3...1,5	1,2...1,4
більше 16	1,3	1,2

В перелік санітарно-побутових приміщень входять:

механічна пральня;

окремі приміщення для ручного прання, сушильної машини, гладильної машини, для ручного прасування;

сушіння білизни;

дезінфекційна камера;

комора брудної білизни;

комора чистої білизни;

приміщення для робочого одягу;

сушильня прозодягу.

Для прання особистого одягу повинна встановлюватися окремо пральна машина в спеціальному приміщенні. Поблизу пральної обладнується сушильна та комора брудної білизни. Чиста білизна зберігається поблизу житлових приміщень екіпажу.

Гладильна за браком місця може бути розташована сумісно з пральною. Для зберігання робочого спецодягу передбачаються приміщення, обладнані індивідуальними шафами: для палубної команди в районі сушильних приміщень, для машинної команди – поблизу МВ.

Площі приміщень прального блоку визначаються в залежності від чисельності екіпажу (табл.10.8).

Таблиця 10.8. Норми площ прального блоку

Чисельність екіпажу, осіб	Площа приміщень, м ²				
	пральної	гладильної	комора чистої білизни	комора брудної білизни	Сушильня
До 25	7,0	–	3,5	4,0	3,0

20...50	10,0	5,5	5,5	5,0	3,0
51...100	18,0	11,0	7,6	7,5	2,4

Примітка: при чисельності екіпажу до 25 осіб гладильна не передбачається, а гладильний стіл ставиться в пральній;

при чисельності екіпажу більше 51 особи сушильною служить дезинфекційна камера стандартної площі.

10.3.3.5. Санітарно-гігієнічні приміщення

Санітарно-гігієнічні приміщення розміщують поблизу житлових. Забороняється їх улаштування над житловими, суспільними, медичними, службовими та приміщеннями харчоблоку. Неможна розташовувати входи в лазні, ванни та душові поряд або напроти входу в приміщення харчоблоку.

Загальні туалети не розташовують поблизу приміщень харчоблоку та медичних. Перед туалетами для команди влаштовується тамбур, для якого використовується приміщення умивальників. Передбачається на 6–8 осіб один унітаз та одна душова кабіна або ванна. При цьому члени екіпажу, які мають індивідуальні санвузли, до уваги не приймаються. Крани умивальників встановлюються із розрахунку – один на 6 осіб. В окремих туалетах обов'язковий умивальник, який не враховується при загальному розрахунку.

На суднах місткістю більше 500 рег. т. влаштовується одна палубна туалетна для портових працівників з виходом на відкриту палубу. Бажано також улаштування однієї туалетної на навігаційному містку.

Враховуючи відвід стічних та фанових вод, санітарно-гігієнічні приміщення розміщують так, щоб траси трубопроводів за борт, або в фекальні цистерни були найкоротшими. Для цього санітарно-гігієнічні приміщення на різних ярусах суміщають по висоті один над одним.

10.3.3.6. Медичні приміщення

Медичні приміщення призначені для надання медичної допомоги членам екіпажу та пасажиром. Розташовуються вони на достатній відстані від житлових приміщень та харчоблоку, в малошумних місцях.

Перелік та кількість приміщень для конкретного судна визначається чисельністю екіпажу та пасажирів, призначенням судна, тривалістю рейсу, районом плавання.

Амбулаторія – приміщення призначене для огляду та лікування хворих, надання невідкладної медичної допомоги, діагностичного обстеження та медичного огляду. За відсутності на судні операційної, стоматологічного та фізотерапевтичного кабінетів і аптеки, амбулаторія виконує їх функції.

Ізолятор – приміщення для інфекційних хворих. Вхід в ізолятор улаштовується з відкритої палуби через тамбур (або зсередини приміщення). Ширина проходів повинна давати можливість доставки хворих на носилках. Ізолятор обладнується окремим санвузлом з умивальником, унітазом та ванною з душем.

Лазарет – приміщення для стаціонарного лікування хворих, обладнаний одним або декількома ліжками. Вхід в лазарет влаштовується через тамбур, а ширина проходів повинна давати можливість доставки хворих на носилках. Лазарет має окремий санвузол з умивальником, унітазом та ванною з душем.

Медичні приміщення групуються в один блок, який розташовується в надбудові на нижніх ярусах по можливості ближче до середини, в стороні від основних магістральних коридорів та приміщень з джерелами шуму. Медичний блок не допускається розташовувати безпосередньо над МВ, суміжно з камбузами, туалетами та іншими приміщеннями, які негативно впливають на санітарно-гігієнічний режим медичних приміщень.

Для визначення складу медичних приміщень на конкретному вантажному судні необмеженого району плавання можна користуватися даними табл.9.9.

На суднах з чисельністю екіпажу менше 25 осіб та на суднах з тривалістю рейсу менше доби влаштовується тільки санітарна каюта. Площа одномісного стаціонару або ізолятору складає 6 м², а двомісний стаціонар займає 10 м².

Таблиця 10.9. Склад медичних приміщень

Найменування приміщення	Кількість приміщень при чисельності екіпажу, осіб		
	20...40	41...80	Більше 80
Амбулаторія	1	1	1
Лазарет	—	1	1
Кількість ліжок в лазареті	—	1	2
Ізолятор одномісний	1	1	1

10.4. Обладнання і засоби комунікацій на судні

Розташування та влаштування виходів, дверей, коридорів та трапів повинно забезпечити можливість швидкого доступу із приміщень до місць посадки на рятувальні шлюпки та плоти.

Входи та двері. На вантажних суднах валовою місткістю 500 рег. т та більше на кожному рівні житлових приміщень повинно бути передбачено не менше двох максимально віддалених один від одного виходів із кожного обмеженого приміщення або групи приміщень; при цьому із приміщень, розташованих нижче відкритої палуби, основним виходом повинен бути вихід через похилий трап, другим виходом може бути шахта з вертикальним трапом або похилий трап; із приміщень, розташованих вище відкритої палуби, виходами повинні бути двері або похилі трапи, які ведуть на відкриту палубу, або їх комбінації. Ліфти не повинні розглядатися як виходи. Ширина виходів із житлових та службових

приміщень повинна бути не менше 0,6 м [32]. Розміри вихідного люка із вантажних трюмів повинні бути не менше 0,6х0,6 м.

Пристрої для закривання вихідних дверей або люків повинні керуватися з двох сторін.

Двері повинні відкриватися таким чином:

двері житлових та службових приміщень, які виходять в коридор – всередину приміщень;

двері громадських приміщень – назовні або в обидві сторони;

двері в кінцевих перебірках надбудов та в зовнішніх поперечних перебірках рубок – назовні, в напрямку найближчого борту;

двері у зовнішніх повздовжніх перебірках рубок – назовні, в напрямку в ніс.

Розсувні двері у виходів та шляхів евакуації не допускаються за винятком дверей рульової рубки. Ширина дверей, які ведуть в каюти та службові приміщення, повинна бути не менше 0,6 м (рекомендується 0,65 м).

Коридори та проходи. Усі коридори та проходи повинні забезпечувати безперешкодний рух людей по ним. Тупики довжиною більше 7 м на вантажних судах з кількістю людей на борту судна не менше 50 осіб не допускаються.

Ширина магістральних коридорів в районі житлових приміщень пасажирів та екіпажу повинна бути не менше 0,9 м, а відгалужуваних – не менше 0,8 м. Ширина головного проходу до столової або кают-компанії повинна бути не менше 0,8 м [32].

На вантажних судах ширина палубних проходів, які ведуть до місць посадки людей в рятувальні шлюпки та плоти, повинна бути не менше 0,9 м.

Похилі та вертикальні трапи. Ширина похилих та вертикальних трапів повинна бути не менше ширини коридору, який примикає до них. Мінімально допустима ширина – 0,8 м. У кожного трапу повинна бути передбачена достатньо велика площадка, яка виключає небезпечне

зосередження людей при евакуації. Ширина площадки – не менше ширини трапів. Трапи по можливості потрібно розташовувати вздовж судна. Трапи на відкритих палубах встановлюються не ближче 1,0 м від борту.

Похилі трапи не повинні мати кут нахилу більше 60° . В МВ допускається кут нахилу трапів 65° . Вертикальні та скобтрапи в вантажних трюмах цистернах і т.д. повинні мати ширину не менше 300 мм. На великих сучасних суднах додатково встановлюються ліфти, які йдуть від подвійного дна до рівня ходового містка.

На рис.10.1 показано просторове зображення трапів з необхідними умовними позначеннями на кожному ярусі.

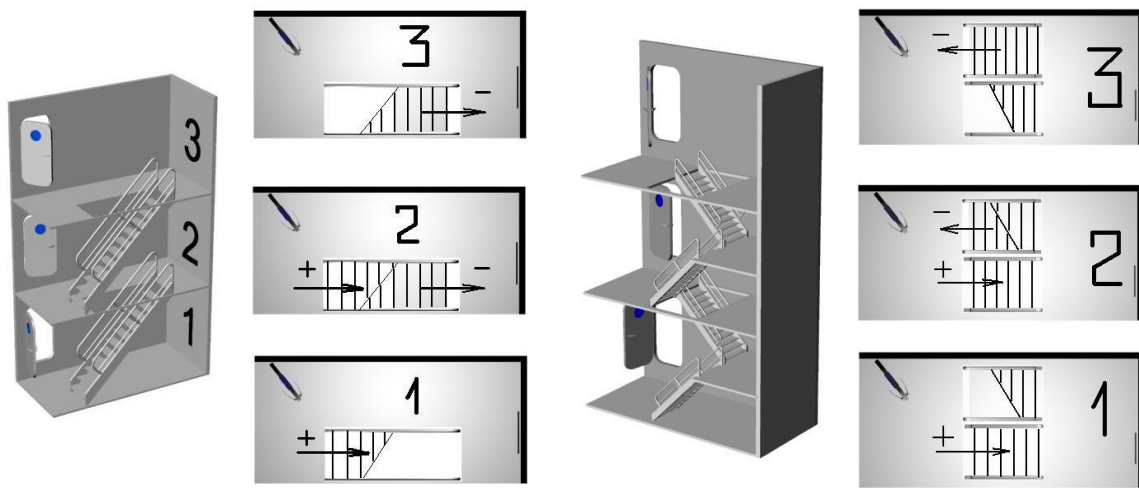


Рис.10.1. Просторове і умовне зображення трапів

10.5. Фальшборт та леєрна огорожа

На всіх відкритих ділянках палуби надводного борту і палуб надбудов та рубок встановлюється фальшборт та леєрна огорожа, висота яких повинна бути не менше 1,0 м від палуби.

Фальшборт повинен бути підкріплений стійками, відстань між якими не повинна перевищувати 1,8 м. Відстань між стійками леєрної огорожі не перевищує 1,5 м, а просвіт під самим нижнім леєром не повинен бути більше 230 мм, відстань між іншими леєрами – не більше 380 мм [32]. Якщо судно має закруглений ширстрек, леєрні стійки встановлюються на плоскій частині палуби. Для захисту екіпажу від взаємодії моря при переходах в

житлові приміщення, машинне відділення та всі інші місця, які використовуються при експлуатації судна, повинні бути передбачені певні конструкції у вигляді рятувальних леєрів, перехідних містків, підпалубних переходів, тощо.

На наливних судах на рівні палуби надбудов, між ютом та середньою надбудовою, або рубкою, якщо вони є на судні, повинен бути встановлений в повздовжньому напрямку, поблизу діаметральної площини судна, постійний перехідний місток, або інші рівноцінні засоби доступу, які замінюють перехідний місток, наприклад, підпалубні переходи. Ширина проходів – не менше 1 м. Повинні бути передбачені безпечні та зручні східні трапи з рівня перехідного містка на палубу; відстань між трапами не повинна перевищувати 40 м.

10.6. Сигнальні вогні

Судно з механічним двигуном на ходу повинно мати такі основні вогні: топовий передній та топовий задній, бортові вогні, кормовий, якірний носовий якірний кормовий (круговий вогонь), "Не можу керуватися", маневровказівний.

Топовий це білий вогонь розташований в діаметральній площині судна, який освітлює дугу в 225° . Бортові вогні – зелений вогонь по правому борту та червоний по лівому; кожний з цих вогнів освітлює дугу горизонту в $112,5^{\circ}$. Кормовий вогонь представляє собою білий вогонь, розташований, наскільки це практично можливо, ближче до корми судна, який освітлює дугу горизонту в 135° . Маневровказівний вогонь – вогонь білого кольору, який освітлює дугу в 360° . Круговий вогонь (якірний носовий та якірний кормовий) – вогонь білого кольору, який освітлює дугу горизонту в 360° . "Не можу керуватися" – два кругових ліхтарі з червоним вогнем, які освітлюють дугу горизонту в 360° .

Розташування сигнальних вогнів на судні довжиною більше 50 м показано на рис.10.2. Правила розташування вогнів такі [32]:

передній топовий ліхтар повинен встановлюватися на фок-мачті або перед нею на висоті не менше 6 м над корпусом судна. Якщо ширина судна перевищує 6 м, то цей ліхтар встановлюється над корпусом на висоті не менше ширини судна, однак немає необхідності, щоб він знаходився над корпусом судна на висоті понад 12 м;

задній топовий ліхтар повинен встановлюватися в ДП судна. Вертикальна відстань між заднім і переднім топовим ліхтарями повинна бути не менше ніж 4,5 м і, крім того, при всіх диферентах, можливих у нормальних умовах експлуатації, вогонь заднього ліхтаря повинен бути видимий вище вогню переднього ліхтаря і роздільно від нього на відстані 1000 м від форштевня при спостереганні з рівня моря;

горизонтальна відстань між переднім та заднім топовими ліхтарями повинна бути не менше $1/2$ довжини судна, однак немає необхідності, щоб ця відстань перевищувала 100 м. Передній топовий ліхтар повинен розміщуватися не далі $1/4$ довжини судна від форштевня;

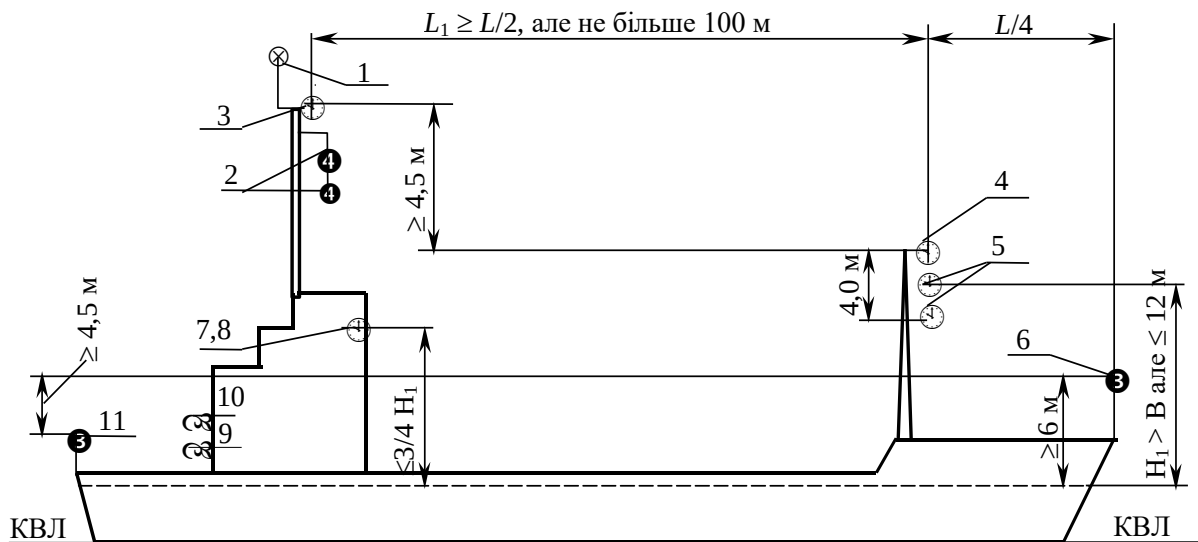


Рис.10.2. Схема розташування штатних місць розташування основних вогнів на суднах з механічним двигуном довжиною ≥ 50 м:

1 – вогонь маневровказівний, який дублює звуковий сигнал (рекомендований); 2 – "Не могу керуватися" (червоний); 3, 5 – топові перший та другий відповідно (білі); 4 – буксирні (білі); 6 – якірний носовий; 7, 8 – бортові правий (зелений) та лівий (червоний); 9 – кормовий (білий); 10 – буксирувальний (жовтий); 11 – якірний кормовий; □ – білий

стаціонарний сигнально-відзначувальний вогонь з круговим освітленням; $\aleph$ – стаціонарний сигнально-відзначувальний вогонь з секторним освітленням; $\square$ – червоний вогонь з круговим освітленням; $\otimes$ – стаціонарний сигнально-проблисковий вогонь

на суднах з механічним приводом, на яких встановлено два топові ліхтарі, бортові ліхтарі повинні розташовуватися позаду переднього топового ліхтаря над корпусом судна на висоті не більше $3/4$ висоти переднього топового ліхтаря;

кругові ліхтарі з білим вогнем повинні встановлюватися в носовій і кормовій частинах судна; при цьому кормовий ліхтар з білим вогнем повинен встановлюватися нижче такого ж носового ліхтаря не менше ніж на 4,5 м. На суднах довжиною 50 м і більше висота встановлення носового кругового ліхтаря з білим вогнем над корпусом судна повинна бути не менше 6 м;

ліхтар маневровказівний повинен розташовуватися в тій же самій повздовжньо-вертикальній площині, що і топові ліхтарі і за можливістю на висоті на 2 м вище від переднього топового ліхтаря; при цьому він повинен розташовуватися не менше ніж 2 м вище, або нижче заднього топового ліхтаря;

кормовий ліхтар повинен встановлюватися, наскільки це практично можливо, ближче до корми і ДП судна.

На судні довжиною 20 м та більше відстань між ліхтарями, розташованими один над одним повинна бути не менше 2 м і нижній з них повинен бути на висоті не менше 4 м над корпусом судна; ця остання вимога не розповсюджується на випадок, коли судно несе кормовий вогонь сумісно з буксировочним.

10.7. Рятувальні засоби

Кожне судно забезпечується рятувальними засобами індивідуального (рятувальні круги та пояси) та колективного користування (рятувальні

шлюпки та плоти). Спорядження суден рятувальними засобами регламентується Правилами Регістру [32]. Так судна необмеженого району плавання повинні мати:

пасажирські (судна, які перевозять більше 12 осіб, разом з пасажирами) – рятувальні шлюпки для розміщення 50 % усіх людей на судні з кожного борту, рятувальні плоти, що спускаються 25 % людей;

вантажні – рятувальні шлюпки, що вміщують 100 % людей на судні з кожного борту та додатково рятувальні плоти на 100 % осіб.

Вантажні судна, в яких рятувальні шлюпки (або шлюпка) спускаються з корми судна у вільному падінні, можуть забезпечуватися рятувальними шлюпками місткістю, достатньою для розміщення всіх людей, що знаходяться на судні. Крім того, на кожному борту судна повинні бути розміщені один або декілька рятувальних плотів, достатніх для розміщення 100 % людей, що знаходяться на судні. Принаймні з одного борту судна рятувальні плоти повинні обслуговуватися спусковими пристроями.

Усі вантажні судна повинні бути забезпечені принаймні одною черговою шлюпкою. Довжина чергової шлюпки повинна бути не менше 3,8 м але не більше 8,5 м. Чергові шлюпки можуть бути жорсткими, надутими і комбінованими. Місткість чергової шлюпки повинна допускати розміщення не менше 5 осіб на сидіннях і однієї людини в лежачому положенні.

Основні типи рятувальних шлюпок наведені в дод.5, а їх характеристики подаються в табл.5.1 Д

10.8. Контрольні запитання

1. Що називають кресленнями загального розташування.
2. Дайте класифікацію судових приміщень.
3. Перерахуйте склад та розташування постів керування судна.
4. Основні вимоги до розташування рульової рубки.

5. Хто з членів екіпажу відноситься до старшого командного складу та які їх обов'язки?
6. Де не можна розташовувати житлові приміщення на судах?
7. Які громадські приміщення призначені для командного складу та для команди?
8. Які приміщення на судах відносяться до санітарно-гігієнічних, адміністративних, побутових та господарчих?
9. Назвіть тенденції розвитку архітектурно-конструктивного типу суден.
10. Назвіть основні вимоги до розташування медблоку, харчоблоку та провізійних комор.
11. Розкажіть про спорядження судна рятувальними засобами.
12. Обґрунтуйте склад та розташування на судні навігаційних приміщень.
13. Назвіть основні вимоги до екологічної безпеки сучасних наливних суден.
14. Які основні сигнально-відзнакові вогні судна?
15. Назвіть основні нормативні документи, що використовуються при проектуванні суден.
16. Назвіть основні вимоги до розташування житлових приміщень

10.9. Основні терміни і поняття

Спеціальні приміщення
Приміщення для екіпажу
Громадські приміщення
Медичні приміщення
Виходи

Службові приміщення
Житлові приміщення
Господарчі приміщення
Побутові приміщення
Трапи

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аоки М.* Введение в методы оптимизации. Пер. с англ. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
2. *Апполинариев В.И.* Оптимизация характеристик промышленного судна на базе имитационного моделирования // Судостроение. – 1990. – № 3. – С.12–16.
3. *Ашик В.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1984. – 449 с.
4. *Банди Б.* Методы оптимизации: Вводный курс: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 127 с.
5. *Бондаренко О.В.* Застосування методу імітаційного моделювання в проектуванні суден // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ. – 2001. – №2 (374). – С.28–37.
6. *Бондаренко О.В.* Оптимізація характеристик нафтоналивного судна на основі імітаційного моделювання: Дис...канд. техн. наук: 05.08.03. – Миколаїв, 2001. – 222 с.
7. *Бронников А.В.* Проектирование морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1984. – 327 с.
8. *Бронников А.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1990. – 327 с.
9. *Васильев Ф.П.* Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1988. – 549 с.
10. *Голиков И.В., Бондаренко А.В.* Применение метода ЛП-поиска при проектировании научно-исследовательских судов // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ. – 2001. – №4 (376). – С.14–24.
11. *Добыш С.А., Мучник Л.Н., Пашин В.М.* Оптимизация структуры морского транспортного флота в условиях неполной информации / Экономика и математические методы, АН СССР. – М., 1979. – Т. XV, Вып. 1. – С. 184–188.

12. *Захаров И.Г., Постонин С.И., Романько В.И.* Теория проектирования надводных кораблей. – СПб.: Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова, 1997. – 678 с.

13. *Квітковський Р.С., Кротов О.І., Бондаренко О.В.*, Визначення водотоннажності порожнем нафтоналивних суден // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини: Зб. наук. праць, вип. № 6. – К.: ФАДА, ЛТД, 2000. – С.45-51.

14. *Кини Р., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях. – М.: Радио и связь, 1981.

15. *Краев В.И.* Экономические обоснования при проектировании морских судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 278 с.

16. *Кротов О.І., Бондаренко О.В.* Оптимізація основних характеристик нафтоналивного судна методом імітаційного моделювання // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини: Зб. наук. праць Київського державного університету технології та дизайну. – К.: Фада, ЛТД. – 1999. – №6. – С.500–504.

17. *Кротов А.И., Сорокин В.И.* Расчетный метод проектирования теоретического чертежа // Проектирование и конструкции судов: Сб.науч.тр. – Николаев, НКИ, 1983. – С. 94-104.

18. *Кротов А.И., Сорокин В.И., Цыбенко Б.А.* Курсовой проект транспортного судна. Ч.1. Учебное пособие – Николаев: НКИ, 1984. – 74 с.

19. *Кротов А.И., Сорокин В.И., Цыбенко Б.А.* Проектирование судов. Методические указания к выполнению курсового проекта. – Николаев: НКИ, 1989. – 46 с.

20. *Кротов А.И., Циммерман Г.Г.* Реализация метода многокритериальной оптимизации при проектировании малотоннажных судов // Вычислительная техника и АСУ: Сборник научных трудов. – Николаев: НКИ, 1990. – С.9-20.

21. *Любушин Н.П.* Экономическая эффективность проектных решений в судостроении. – Л.: Судостроение, 1982. – 112 с.

22. Методика определения экономической эффективности использования на морском транспорте новой техники, и рационализаторских предложений. – М.: ЦРИА Морфлота, 1979. – 71 с.
23. Михайлов В.И., Федосов К.М. Планирование экспериментов в судостроении. – Л.: Судостроение, 1978. – 159 с.
24. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 430 с.
25. Ногид Л.М. Проектирование формы корпуса и построение теоретического чертежа. – Л.: Судостроение, 1962. – 274 с.
26. Ногид Л.М. Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз, 1955. – 480 с.
27. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. – М.: МИКАП, 1994. – 382 с.
28. Оптимизация и управление в больших системах энергетики / Иркутск, Сибирское отделение АН СССР, Сибирский энергетический институт, 1970.
29. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.
30. Пашин В.М., Поляков Ю.Н. Вероятностная оценка экономической эффективности судов. – Л.: Судостроение, 1976. – 84 с.
31. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
32. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т. 1. – Київ, 2002.
33. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2002.
34. Правила по предотвращению загрязнения с судов. – СПб.: Российский Морской Регистр Судоходства, 1998. – 102 с.
35. Реклейтис Г., Рейнвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн. 2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 320 с.

36. Російсько-український словник термінів з суднобудування / Під редакцією О.І. Кротова. – Миколаїв: УДМТУ, 1999. – 203 с.
37. *Соколов В.П.* Постановка задач экономического обоснования судов. – Л.: Судостроение, 1987. – 164 с.
38. Справочник по судостроительному черчению / В.Г.Матвеев, В.Д.Борисенко, Г.А.Барашкова, Л.А.Горев. – Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.
39. *Титов И.А.* Выбор основных элементов крупнотоннажных судов с полными образованиями // Судостроение. – 1988. – № 2. – С.8-11.
40. *Титов И.А.* Методика определения потребной мощности энергетической установки транспортных судов на ранних стадиях проектирования // Судостроение. – 1997. – № 6. – С.13-17.
41. *Титов И.А., Семидел Л.И.* Влияние ограничений по осадке и ширине корпуса на экономичность танкеров // Судостроение. – 1991. – № 4. – С.6-7.
42. Транспортная политика // Транспорт. – 1998. – № 5(7). – С.35
43. *Турбал В.К., Шпаков В.С., Штумпф В.М.* Проектирование обводов и движителей морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 304 с.
44. *Хан Г., Шапиро С.* Статистические модели в инженерных задачах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 396 с.
45. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 534 с.
46. *Худяков Л.Ю.* Исследовательское проектирование кораблей. – Л.: Судостроение, 1980. – 240 с.
47. *Цыбенко Б.А., Стрелковский И.В.* Методы машинного проектирования в оптимизации элементов судна. – Николаев, Изд. НКИ, 1983. – 40 с.
48. *Шостак В.П.* Статистические модели весовой нагрузки и стоимости постройки судна // Сб. науч. тр. УГМТУ: Морские технологии. – Николаев: УГМТУ, 1993. – С.132-138.

49. *Шостак В.П., Голиков В.И.* Анализ концептуального проекта универсального научно-исследовательского судна: Учеб. пособие. – Николаев: УГМТУ, 1999. – 72 с.

50. *Duffy A.H., MacCallum K.J.* Computer Representation of Numerical Expertise for Preliminary Ship Design // *Marine Technology*, Vol. 26. – № 4. – 1989. – P.289–302.

51. *Holtrop J.E.* Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data. *International Shipbuilding Progress*/ V. 31, № 363. – 1984. – P.272-276.

ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ ТА ВИМОГИ ЩОДО ЙОГО ОФОРМЛЕННЯ. ВИХІДНІ ДАНІ

Курсовий проект з курсу "Проектування суден" складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка є основним документом, по якому відбувається захист курсового проекту. Вона складається у відповідності з вимогами ГОСТ 2.105-68 і 2.106-68. У ній відображаються етапи роботи та результати, отримані при виконанні курсового проекту.

Пояснювальна записка до курсового проекту повинна давати достатньо повне уявлення про виконані розрахунки та використану методику проектування судна. Записка ілюструється схемами та рисунками.

Пояснювальна записка до курсового проекту повинна містити у вказаній послідовності такі основні елементи:

- 1) зміст,
- 2) анотація,
- 3) бланк завдання на проектування,
- 4) вступ,
- 5) розділи основної частини,
- 6) висновки,
- 7) список використаних джерел,
- 8) додатки (за потреби).

Зміст основних розділів пояснювальної записки такий.

Титульний аркуш повинен відповідати встановленому зразку (Рис.А.1).

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний морський технічний університет
імені адмірала Макарова

Кафедра теорії та проектування суден

ПРОЕКТУВАННЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТНОГО
СУХОВАНТАЖНОГО (НАВАЛОЧНОГО, НАФТОНАЛИВНОГО)
СУДНА

Пояснювальна записка до курсового проекту
24КП.8.10201.4112.12.ПЗ

Керівник

к.т.н., доцент А.В. Петров

Розробив

студент В.Г. Петренко

Миколаїв 2002

Рис.А.1. Зразок титульного аркушу пояснювальної записки
Анотація в короткій формі розкриває зміст пояснювальної записки до
курсowego проекту.

Зміст включає найменування та номери початкових сторінок всіх розділів, підрозділів і пунктів (якщо вони мають заголовки), зокрема вступу, висновків, додатків, списку використаних джерел та ін.

Бланк завдання видається і підписується керівником і повинен відповідати встановленому зразку (Рис.А.2)

Вступ містить постановку задачі проектування, аналіз її актуальності. У вступі наводиться короткий аналіз можливих методів розв'язання поставленої задачі, мета і завдання курсового проекту.

Висновки повинні містити якісні та кількісні оцінки результатів розробки проекту судна, його відповідність Правилам Регістру, міжнародних конвенцій судноплавства та інших нормативних документів.

Список використаних джерел містить перелік джерел, які використані при виконанні курсового проекту. Тут наводяться лише ті джерела, на які є посилання в тексті пояснювальної записки.

Список використаних джерел слід укласти в порядку згадування їх у тексті за наскрізною нумерацією.

У разі потреби для повноти сприйняття роботи в пояснювальну записку включають *додатки*. Сюди як правило включають лістинги програм, додаткові текстові та графічні матеріали, що не знайшли своє відображення в основній частині тощо.

Основна частина складається з розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів в яких потрібно навести:

короткий опис типу проектного судна, який складає: відомості про призначення, архітектурно-конструктивний тип (АКТ);

таблиці основних технічних даних не менше двох однотипних з проектом суден з розподілом мас по розділам навантаження (в останній стовпчик цієї таблиці вносяться дані отриманого проекту;

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний морський технічний університет імені адмірала
Макарова

Зав. кафедрою теорії та проектування суден

В.О.НЕКРАСОВ

" ____ " ____ 2002 р.

ЗАВДАННЯ

на курсовий проект

по дисципліні “Проектування суден”

студенту курсу _____

Вихідні дані:

1. Корисна вантажопідйомність _____
2. Рід та питомий об'єм вантажу _____
3. Швидкість (на випробуваннях чи експлуатаційна) _____
4. Дальність плавання _____
5. Рід головних механізмів _____
6. Екіпаж _____

Об'єм роботи:

1. Визначення головних елементів проекту.
2. Теоретичне креслення
3. Епюра ємності.
4. Схеми загального розташування (поздовжній розріз, трюм, палуби та містки – без розміщення меблів та обладнання в житлових та службових приміщеннях).
5. Удиферентівка проекту: 100% вантажу + 100% запасів
100% вантажу + 10% запасів + баласт
без вантажу + 10% запасів + баласт

Термін виконання завдання _____

Керівник _____

Рис.А.2. Бланк завдання на проектування

розрахунки водотоннажності і головних елементів проекту в першому та другому наближенні з урахуванням вимог до вантажомісткості, ходовості, остійності (початкової та на великих кутах крену);

розрахунки об'ємів приміщень та диференту;

розрахунки економічних показників для вказаної в завданні довжини лінії експлуатації;

Перед тим, як почати виконувати розрахункову частину проекту, слід підібрати і звести в таблицю дані з двох прототипів, які мають невеликі розходження з його характеристиками. Якщо для цілей проектування використовуються матеріали ескізного чи технічного проектів, то їх навантаження мас компонується в загальноприйнятті на початкових стадіях проектування укрупнені розділи (дод.2).

Дані на проектування по суднам-прототипам (суховантажним, навалочним і танкерам) можна отримати в дод.3.

Текстова частина повинна бути написана чітко, грамотно і лаконічно. Не допускається застосування незагальноприйнятих скорочень слів типу "к-т" (коефіцієнт), р-ня (рівняння), відн. довжина, тощо.

Розрахунки виконуються у відповідності з правилами наближених обчислень та з кількістю значущих цифр, яка відповідає точності початкових даних. Так, наприклад, для головних розмірів судна доцільно залишати два знаки після коми, а для відносних характеристик (коефіцієнтів повноти, вимірників маси, відносної довжини, числа Фруда) – три знаки після коми. Значення адміралтейського коефіцієнта, потужності головного двигуна, складових водотоннажності судна слід округляти до цілих значень. Водотоннажність округляється до десятків. Зайві знаки в розрахунках прирівнюються до помилок.

Обчислення, по можливості, оформляються в табличній формі. В текстовій частині розрахунків потрібно навести вичерпні пояснення до прийнятих схем розрахунку або використаним залежностям, включаючи розшифровку прийнятих позначень та символів.

Текст основної частини пояснювальної записки поділяють на розділи, підрозділи, пункти та підпункти.

Кожен розділ пояснювальної записки починають з нової сторінки.

Нумерацію сторінок, розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів, рисунків, таблиць, формул подають арабськими цифрами без знака №.

Першою сторінкою пояснювальної записки є титульний аркуш, який включають до загальної нумерації сторінок дисертації, не проставляючи його номера. Наступні сторінки нумерують у правому верхньому куті сторінки без крапки в кінці.

Такі структурні частини пояснювальної записки, як зміст, вступ, висновки, список використаних джерел не мають порядкового номера. Звертаємо увагу на те, що всі аркуші, на яких розміщені згадані структурні частини дисертації, нумерують звичайним чином. Не нумерують лише їх заголовки, тобто не можна друкувати: «І. ВСТУП» або «6. ВИСНОВКИ». Розділи повинні мати порядкові номери в межах всього документа. Їх нумерують арабськими цифрами з крапкою в кінці. Підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку. В кінці номера підрозділу повинна стояти крапка, наприклад: "2.3." (третій підрозділ другого розділу). Потім у тому ж рядку йде заголовок підрозділу.

Пункти нумерують у межах кожного підрозділу. Номер пункту складається з порядкових номерів розділу, підрозділу, пункту, між якими ставлять крапку. У кінці номера повинна стояти крапка, наприклад: "1.3.2." (другий пункт третього підрозділу першого , розділу). Потім у тому ж рядку йде заголовок пункту. Пункт може не мати заголовка.

Підпункти нумерують у межах кожного пункту за такими ж правилами, як пункти.

Ілюстрації (фотографії, креслення, схеми, графіки, карти) і таблиці слід подавати в пояснювальній записці безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці. Ілюстрації і таблиці, розміщені на окремих сторінках пояснювальної записки, включають до загальної

нумерації сторінок.

Ілюстрації позначають словом "Рис." і нумерують послідовно в межах розділу, за винятком ілюстрацій, поданих у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, між якими ставиться крапка.

Наприклад: Рис. 1.2 (другий рисунок першого розділу). Номер ілюстрації, її назва і пояснювальні підписи розміщують послідовно під ілюстрацією. Якщо в пояснювальній записці подано одну ілюстрацію, то її нумерують за загальними правилами.

Таблиці нумерують послідовно (за винятком таблиць, поданих у додатках) у межах розділу. У правому верхньому куті над відповідним заголовком таблиці розміщують напис "Таблиця" із зазначенням її номера. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, між якими ставиться крапка, наприклад: "Таблиця 1.2" (друга таблиця першого розділу).

Якщо в пояснювальній записці одна таблиця, її нумерують за загальними правилами.

При перенесенні частини таблиці на інший аркуш (сторінку) слово "Таблиця" і номер її вказують один раз справа над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть слова "Продовж. табл." і вказують номер таблиці, наприклад: "Продовж. табл. 1.2".

Нумерувати слід лише ті формули, на які є посилання у наступному тексті. Інші нумерувати не рекомендується. Формули в пояснювальній записці (якщо їх більше однієї) нумерують у межах розділу. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, між якими ставлять крапку. Нумери пишуть біля правого берега аркуша в одному рядку з відповідною формулою в круглих дужках, наприклад: (3.1) (перша формула третього розділу). Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів треба подавати безпосередньо під формулою в послідовності, у якій вони подані у формулі. Перший рядок пояснення починають зі слова "де" без двокрапки.

Якщо рівняння не поміщається в один рядок, то його переносять після знаків рівності (=), плюс (+), мінус (–), множення (x) і ділення (:). Номер формули при її перенесенні розміщують на рівні останнього рядка.

В перелік використаної літератури включають всі джерела: конспекти лекцій, підручники, монографії, довідники, статті зі збірників та журналів, проектні дані, матеріали яких використано в пояснювальній записці. Джерела потрібно розташовувати в порядку їх згадування в тексті роботи або в алфавітному порядку. Для посилання на джерело достатньо навести в тексті в квадратних дужках його порядковий номер, наприклад, [1].

Дані про підручники, монографії, довідники записують в такій послідовності:

прізвище та ініціали автора (авторів);
назву книги (довідника, монографії);
місце видавництва, видавництво, рік видання;

Наприклад:

1. Логачев С.И. Морские танкеры. – Л.: Судостроение, 1970. – 360 с.

Дані про статті з журналу або збірника повинні включати в себе:

прізвище та ініціали автора (авторів);
назву статті;
назву видавництва;
рік видавництва, том, номер видання, сторінки, на яких надрукована стаття.

Назву статті відокремлюють від назви видавництва двома похилими рисками.

Наприклад:

1. Титов И.А., Семидел Л.И. Влияние ограничений по осадке и ширине корпуса на экономичность танкеров // Судостроение. – 1991. – №4. – С.6-7.

Додатки оформлюють як продовження пояснювальної записки на наступних її сторінках при цьому кожний із них починають з нової сторінки. Їм дають заголовки, надруковані угорі малими літерами з першої

великої симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими літерами з першої великої друкується слово "Додаток" і велика літера, що позначає додаток. Єдиний додаток позначається як Додаток А.

Текст кожного додатка за потреби може бути поділений на розділи й підрозділи, пронумеровані у межах кожного додатка: перед кожним номером ставлять позначення додатка (літеру) і крапку, наприклад, А.2 – другий розділ додатка А; В.3.1 – підрозділ 3.1 додатка В.

Ілюстрації, таблиці і формули, розміщені в додатках, нумерують у межах кожного додатка, наприклад: рис.Д.1.2 – другий рисунок першого розділу додатка Д); формула (А.1) – перша формула додатка А.

При оформленні пояснювальної записки за допомогою сучасної комп'ютерної техніки слід дотримуватися таких правил.

Пояснювальну записку друкують з одного боку аркуша білого паперу формату А4 (210x297 мм) через півтора міжрядкових інтервали з використанням шрифту Times New Roman розміром 12 або 14 пунктів. Можна також використати папір форматів у межах від 203x288 до 210x297 мм і подати таблиці та ілюстрації на аркушах формату А3.

Заголовки розділів та структурних частин "ЗМІСТ", "ВСТУП", "ВИСНОВКИ", "СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ", "ДОДАТКИ" друкують великими літерами симетрично до тексту. Заголовки підрозділів – маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою. Заголовки пунктів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу в розрядці в підбір до тексту. В кінці таким чином надрукованого заголовка ставиться крапка.

При написанні формул та використанні позначень слід пам'ятати, символи кирилиці та грецького алфавіту пишуть прямим шрифтом, а латинського алфавіту – курсивом.

Обсяг пояснювальної записки повинен бути 20 – 30 сторінок машинописного тексту.

Шрифт друку повинен бути чітким з однаковою щільністю тексту, стрічка – чорного кольору середньої жирності.

Графічна частина повинна складати:

ТК;

епюру ємності (ЕЄ);

креслення загального розташування.

Слід відмітити, що приведені рекомендації можуть бути корисними також при виконанні ДПр, оскільки розділ з проектування суден в ньому за змістом та складом майже повністю відповідає КПр, а описана графічна частина КПр є складовою частиною ДПр.

КОМПОНОВКА СКЛАДОВИХ НАВАНТАЖЕННЯ МАС СУДНА

Таблиця.2.1 Д. Компоновка складових навантаження мас судна

[illegible]

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДЕН-ПРОТОТИПІВ

Таблиця 3.1 Д Основні характеристики танкерів

Найменування величини	Назва проекту		
	T1	T2	T3
Клас судна	КМ⊕Л42А1	КМ⊕Л32А1	КМ⊕Л12А1
Довжина найбільша, м	182,90	242,8	246,80
Довжина по ватерлінії, м	179,00	239,59	239,20
Довжина між перпендикулярами, м	178,48	228,0	238,00
Ширина, м	32,20	32,2	42,00
Висота борта, м	18,60	18,0	21,30
Осадка, м	11,22	13,62	12,20
Коефіцієнти повноти:			
загальної	0,789	0,802	0,829
ватерлінії	0,915	0,862	0,922
мідель-шпангоута	0,996	0,994	0,994
Швидкість експлуатаційна, вуз	15,2	15	14,8
Марка головного двигуна	6S60MC	8L60MC	8S60MC
Потужність СЕУ на випробуваннях, кВт	10400	13743	10900
Потужність СЕУ експлуатаційна, кВт	9360	12254	9820
Кількість гвинтів, од	1	1	1
Діаметр гвинта, м	6,8	7,5	7,3
Дальність плавання, миль	15000	20000	15000
Питома вага вантажу, т/м ³	0,736	0,93	0,722
Екіпаж, чол.	29	28	24
Кількість вантажних танків, од	7	14	8
Місткість:			
вантажних танків, м ³	52620	71115	115800

Продовж. табл.3.1 Д.

Найменування величини	Назва проекту		
	T1	T2	T3
танків ізольованого баласту, м ³	24070	23827	47680
відстійних танків, м ³	1860	1580	4100
Складові водотоннажності, т: Металевий корпус	9466,82	12928,00	16793,38
Абсциса ЦМ корпусу, м	-4,025	-7,32	-4,350
Апліката ЦМ корпусу, м	11,081	10,62	12,010
Обладнання	1910,95	2116,00	3232,66
Абсциса ЦМ обладнання, м	-33,685	-20,790	-38,467
Апліката ЦМ обладнання, м	17,359	12,480	18,917
Енергетична установка	924,72	1531,00	1190,46
Абсциса ЦМ ЕУ, м	-65,517	-86,730	-95,403
Апліката ЦМ ЕУ, м	9,422	10,290	10,486
Запас водотоннажності	264,00	200,00	-431,00
Абсциса ЦМ, м	-18,344	-17,930	-15,858
Апліката ЦМ, м	-18,640	11,080	12,995
Постачання	305,70	245,00	361,00
Абсциса ЦМ постачання, м	-75,813	-90,420	-106,708
Апліката ЦМ постачання, м	16,797	16,250	18,464
Паливо, вода, масло	2467,00	4050,00	2963,00
Абсциса ЦМ палива, м	-55,207	-29,230	-88,140
Апліката ЦМ палива, м	11,429	10,270	14,840
Вантаж	36993,00	63980,00	102186,00
Абсциса ЦМ вантажу, м	16,945	13,500	18,117
Апліката ЦМ вантажу, м	10,286	10,080	11,714
Абсциса центру величини x_c , м	5,72	5,27	8,10
Поперечна метацентрична висота, м	3,38	2,73	6,56

Продовж. табл.3.1 Д.

Найменування величини	Назва проекту		
	T1	T2	T3
Довжина машинного відділення, м	25,96	33,07	26,10
Довжина форпіку, м	9,8	12,00	10,78
Довжина ахтерпіку, м	10,2	8,4	10,20
Апліката поперечного метацентру, м	14,19	12,98	18,63
Апліката повздовжнього метацентру, м	242,00	288,25	378,00

Таблиця 3.2 Д Основні характеристики балкерів

Найменування величини	Назва проекту		
	Б1	Б2	Б3
Клас судна	КМ⊕Л31А1	DNVα1А1	КМ⊕Л11А1
Довжина найбільша, м	182,90	224,90	215,40
Довжина по ватерлінії, м	180,80	220,90	205,90
Довжина між перпендикулярами, м	178,48	217,30	201,60
Ширина, м	32,20	32,20	31,80
Висота борта, м	15,80	18,85	16,95
Осадка, м	11,1	12,20	12,30
Коефіцієнти повноти:			
загальної	0,784	0,826	0,795
ватерлінії	0,915	0,910	0,854
мідель-шпангоута	0,995	0,995	0,994
Швидкість експлуатаційна, вуз	15,4	14,3	14,5
Марка головного двигуна	6S60MC	6S60MC	7L67GFCA
Потужність СЕУ на випробуваннях, кВт	10300	11370	10365
Потужність СЕУ експлуатаційна, кВт	9240	7810	9172
Потужність електростанції, кВт	1800	1760	1400

Продовж. табл.3.2 Д

Найменування величини	Назва проекту		
	Б1	Б2	Б3
Кількість гвинтів, од	1	1	1
Діаметр гвинта, м	6,8	6,7	5,8
Дальність плавання, миль	15000	15000	15000
Питома кубатура вантажу, м ³ /т	1,27	1,44	1,19
Екіпаж, чол.	31	31	46
Кількість вантажних трюмів, од	9	7	8
Місткість:			
вантажних трюмів (по зерну), м ³	50400	82500	62854
баластних цистерн м ³	20800	21377	—
Складові водотоннажності, т:			
Металевий корпус	7867,3	10964,30	10167,10
Абсциса ЦМ корпусу, м	−4,394	−3,791	−2,159
Апліката ЦМ корпусу, м	9,814	10,518	8,929
Обладнання	3419,9	2833,18	2581,3
Абсциса ЦМ обладнання, м	−17,150	−32,306	−24,381
Апліката ЦМ обладнання, м	18,476	17,948	15,484
Енергетична установка	887,4	910,33	1077,90
Абсциса ЦМ ЕУ, м	−66,834	−86,005	−74,981
Апліката ЦМ ЕУ, м	9,333	9,861	8,072
Запас водотоннажності	−210,00	−94,00	−307,00
Абсциса ЦМ, м	−14,286	−14,915	−10,925
Апліката ЦМ, м	12,143	11,894	9,993
Постачання	311,00	341,09	413,00
Абсциса ЦМ постачання, м	−75,170	−96,730	−79,925
Апліката ЦМ постачання, м	16,835	16,796	15,576
Паливо, вода, масло	2125,00	2196,00	2045,00

Продовж. табл.3.2 Д

Найменування величини	Назва проекту		
	Б1	Б2	Б3
Абсциса ЦМ палива, м	–54,885	–77,210	–57,380
Апліката ЦМ палива, м	9,779	10,900	9,680
Вантаж	37500	56398,00	50202,00
Абсциса ЦМ вантажу, м	15,521	14,500	11,370
Апліката ЦМ вантажу, м	9,569	10,530	9,770
Абсциса центру величини x_c , м	5,58	5,62	3,90
Довжина машинного відділення, м	26,56	24,30	24,30
Довжина форпіку, м	9,8	7,84	10,80
Довжина ахтерпіку, м	10,8	9,30	13,80
Поперечна метацентрична висота, м	4,02	2,58	2,96
Апліката поперечного метацентру, м	14,34	13,42	12,83
Апліката повздовжнього метацентру, м	252,00	321,00	242,00
Розміри люків (довжина – ширина – висота), м	25,8x12,74x2,4	16,68x15,18x2,0	12,8x17,0x1,2

Таблиця 3.3 Д Основні характеристики універсальних суховантажних суден

Характеристики судна	Назва проекту		
	С1	С2	С3
Клас судна	–	–	–
Довжина найбільша, м	–	–	–
Довжина по ватерлінії, м	118,96	128,33	149,60
Довжина між перпендикулярами, м	115,60	124,90	145,68
Ширина, м	15,80	17,80	22,2
Висота борта, м	7,00	10,80	12,50
Осадка, м	4,26	7,42	8,10

Продовж. табл.3.3 Д

Характеристики судна	Назва проекту		
	С1	С2	С3
Коефіцієнти повноти:			
загальної	0,743	0,632	0,650
ватерлінії	0,808	0,754	0,768
мідель-шпангоута	0,967	0,975	0,972
Швидкість експлуатаційна, вуз	13,0	18,4	18,5
Потужність СЕУ на випробуваннях, кВт	1627	6652	8506
Потужність СЕУ експлуатаційна, кВт	1398	5711	7642
Питомі витрати палива, г/(кВт год)	175	185	176
Кількість гвинтів, од	1	1	1
Діаметр гвинта, м	3,2	4,7	5,6
Дальність плавання, миль	4000	9000	12000
Питома вантажомісткість, м ³ /т	1,94	2,26	2,00
Екіпаж, осіб	23	33	36
Водотоннажність, т	5985	10793	17628
Кількість вантажних трюмів, од	4	4	5
Місткість вантажних трюмів, м ³	—	—	—
Складові водотоннажності, т:			
Металевий корпус	1595,0	3177,00	4220,00
Абсциса ЦВ корпусу, м	–3,35	–4,88	–9,11
Апліката ЦВ корпусу, м	6,00	7,65	9,95
Обладнання	390,0	743,00	955,00
Абсциса ЦВ обладнання, м	–10,40	–9,10	–18,70
Апліката ЦВ обладнання, м	8,15	9,40	13,30
Енергетична установка	150,0	798,00	900,00
Абсциса ЦВ ЕУ, м	–39,40	–43,90	–49,95

Продовження табл 3.3 Д

Характеристики судна	Назва проекту		
	C1	C2	C3
Апліката ЦВ ЕУ, м	3,22	5,57	7,29
Запас водотоннажності	25,00	110,00	40,00
Абсциса ЦВ, м	-8,90	30,00	62,50
Апліката ЦВ, м	11,15	16,00	25,90
Постачання	98,00	250,00	218,00
Абсциса ЦВ постачання, м	-36,00	-31,60	-54,70
Апліката ЦВ постачання, м	6,83	6,15	10,89
Паливо, вода, масло	187,00	690,00	2375,00
Абсциса ЦВ палива, м	-32,70	3,20	0,16
Апліката ЦВ палива, м	2,18	2,09	5,79
Вантаж	3540,00	5025,00	9628,00
Абсциса ЦВ вантажу, м	10,61	4,03	9,10
Апліката ЦВ вантажу, м	4,93	6,33	8,21
Баласт	0	0	292,00
Абсциса ЦВ баласту, м	0	0	-68,00
Апліката ЦВ баласту, м	0	0	0,86
Коефіцієнт виступаючих частин $k_{вч}$	1,01	1,01	1,01
Абсциса центру величини x_c , м	2,07	-3,65	-2,44
Апліката центру величини z_c , м	2,22	4,21	4,49
Довжина машинного відділення, м	18,60	18,50	26,80
Довжина бака від НП, м	12,40	26,20	20,30
Довжина ахтерпіку, м	10,30	6,40	8,3
Поперечний метацентричний радіус r , м	4,44	3,20	4,66
Повздовжній метацентричний радіус R , м	212,80	132,40	167,50

КАТАЛОГ СУЧАСНИХ МАЛООБОРОТНИХ ДИЗЕЛІВ

Таблиця Д.4.1. Характеристики сучасних суднових малооборотних дизелів

Позначення	Номинальна потужність, кВт	Частота, об/хв	Питомі витрати пального г./кВт*год	Маса, т	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м
5ДКРН 60/194	6600	111	165	300	7,42	4,15	9,43
4ДКРН 60/229	6000	102	163	285	6,60	3,50	10,06
4ДКРН 60/194	5280	111	165	265	6,35	3,29	9,10
4ДКРН 60/194	6600	111	170	265	6,35	4,15	9,43
7ДКРН 50/162	6440	133	166	245	8,34	3,58	5,18
6ДКРН 50/191	6300	123	165	235	7,61	2,92	8,38
6ДКРН 50/162	5520	133	166	215	7,45	3,58	5,18
6ДКРН 50/162	6840	133	171	215	7,45	3,58	5,18
5ДКРН 50/191	5250	123	165	205	6,72	2,92	8,38
5ДКРН 50/191	6550	123	170	205	6,72	3,76	9,41
5ДКРН 50/162	4600	133	166	190	6,56	3,58	5,18
5ДКРН 50/162	5700	133	171	190	6,65	2,71	7,58
4ДКРН 50/191	4200	123	165	180	5,83	2,92	8,38
4ДКРН 50/191	5240	123	170	180	5,83	3,76	8,73
8ДКРН 42/136	5200	159	170	170	7,66	3,24	5,00
8ДКРН 42/136	6480	159	177	170	7,65	3,24	4,91
4ДКРН 50/162	3680	133	166	165	5,67	3,58	5,13
4ДКРН 50/162	4560	133	171	165	5,67	3,58	5,13
7ДКРН 42/136	4550	159	170	150	6,91	3,24	4,91
7ДКРН 42/136	5670	159	177	150	6,91	3,24	4,91
6ДКРН 42/136	3900	159	170	130	6,16	3,24	4,91
6ДКРН 42/136	4860	159	177	130	6,16	3,24	4,91
5ДКРН 42/136	3250	159	170	115	5,41	3,24	4,91
5ДКРН 42/136	4050	159	177	115	5,41	3,24	4,91
6ДКРН 42/136	3240	159	177	100	4,66	3,24	4,81
8ДКРН 35/105	3600	200	174	84	6,53	2,81	4,50
8ДКРН 35/105	4480	200	180	84	6,53	2,81	4,50
7ДКРН 35/105	3160	200	174	76	5,93	2,81	4,50
7ДКРН 35/105	3920	200	179	76	5,93	2,81	4,50
6ДКРН 42/136	2700	200	174	66	5,33	2,81	4,50
6ДКРН 35/105	3360	200	179	66	5,33	2,81	4,50
5ДКРН 42/136	2800	200	179	58	4,70	2,81	4,50

Продовж. табл.4.1 Д

Позначення	Номинальна потужність, кВт	Частота, об/хв	Питомі витрати пального г./кВт*год	Маса, т	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м
4ДКРН 70/227	7200	95	163	400	7,37	4,89	10,32
7ДКРН 50/191	7350	123	165	270	8,50	3,76	8,11
8ДКРН 50/162	7360	133	166	280	9,23	3,58	5,13
4ДКРН 60/229	7480	102	168	285	6,60	4,37	10,43
5ДКРН 60/229	7500	102	163	325	7,67	4,37	10,29
6ДКРН 50/191	7860	123	170	235	7,61	3,76	9,54
6ДКРН 60/194	7920	111	165	345	8,49	4,15	9,57
7ДКРН 50/162	7980	133	171	245	8,34	3,58	5,18
4ДКРН 70/267	8200	88	162	435	7,65	5,15	11,46
5ДКРН 60/194	8250	111	170	300	7,42	4,15	9,71
8ДКРН 50/191	8400	123	165	300	9,39	3,76	8,30
4ДКРН 70/228	8960	95	167	400	7,47	4,89	11,23
5ДКРН 70/228	9000	95	163	460	8,62	4,89	11,09
6ДКРН 60/229	9000	102	163	370	8,74	4,37	10,37
8ДКРН 50/162	9120	133	171	280	8,34	3,58	5,13
7ДКРН 50/191	9170	123	170	270	8,50	3,76	8,77
7ДКРН 60/194	9240	111	165	395	9,56	4,15	10,02
6ДКРН 60/229	9350	102	168	325	7,67	4,37	10,51
4ДКРН 80/259	9360	83	162	580	8,48	5,52	11,46
4ДКРН 80/240	9680	93	162	575	8,48	5,52	11,99
6ДКРН 60/194	9900	111	170	345	8,49	4,15	10,16
5ДКРН 70/267	10250	88	162	495	8,89	5,15	12,23
4ДКРН 70/267	10280	123	166	435	7,65	5,15	12,23
8ДКРН 50/191	10480	102	170	300	9,39	3,76	8,88
7ДКРН 60/229	10500	111	163	425	9,80	4,37	10,51
8ДКРН 60/194	10560	111	165	440	10,62	4,15	8,22
4ДКРН 80/305	10720	77	160	625	8,88	5,81	13,28
6ДКРН 70/226	10800	95	163	530	9,87	4,8999	9,85
5ДКРН 70/227	11200	95	167	460	8,62	4,89	11,50
6ДКРН 60/229	11200	102	168	370	8,77	4,37	10,65
7ДКРН 60/194	11550	111	170	395	8,56	4,15	10,44
4ДКРН 80/259	11680	83	167	580	8,48	5,52	12,27
5ДКРН 80/259	11700	83	162	665	9,90	5,52	11,01
4ДКРН 90/292	11880	74	160	715	9,61	6,20	12,02
8ДКРН 60/229	12000	102	163	475	10,87	4,37	10,07
5ДКРН 80/240	12100	93	162	660	9,90	5,52	10,96

Продовж. табл.4.1 Д

Позначення	Номинальна потужність, кВт	Частота, об/хв	Питомі витрати пального г/(кВт*год)	Маса, т	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м
4ДКРН 80/240	12120	93	167	575	8,48	5,52	12,27
4ДКРН 90/270	12160	82	159	770	9,61	6,20	13,02
6ДКРН 70/267	12300	88	162	570	10,14	5,15	11,10
7ДКРН 70/227	12600	95	163	600	11,11	4,89	10,14
5ДКРН 70/267	12850	88	166	495	8,89	5,15	12,64
7ДКРН 60/229	13090	102	168	425	9,80	4,37	9,70
8ДКРН 60/194	13200	111	170	440	10,62	4,15	9,36
4ДКРН 80/306	13400	77	166	625	8,88	5,81	13,95
6ДКРН 70/227	13440	95	167	530	9,87	3,84	9,29
6ДКРН 80/259	14040	83	162	765	11,33	5,52	11,36
7ДКРН 70/267	14350	88	162	650	11,38	5,15	12,00
8ДКРН 70/227	14400	95	163	675	12,36	4,89	10,24
8ДКРН 80/240	14520	93	162	760	11,33	5,52	11,12

ТИПИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯТУВАЛЬНИХ ШЛЮПОК

Таблиця 5.1 Д Основні характеристики рятувальних шлюпок та спускових пристроїв

Марка	Кількість пасажирів, чол.	Габаритні розміри, м			Маса, кг		A	B	C	D	E	F	L	α	Маса
		L	B	H	Q	Q _p	м								
FFB 5,75	15	5,75	2,20	1,40	2875	4000	6,60	5,80	2,82	2,82	2,50	3,50	7,00	30	5750
FFB T 5,75	13				3525	4500									
FFB 6	28	6,00	2,65	1,56	3600	5700	7,00	7,80	3,27	3,60	3,00	3,80	7,30	30	7500
FFB T 6	26				3900	5850									
FFB 7,40/25	25	7,40	2,65	1,56	3725	5600	8,20	7,80	3,37	3,70	3,65	4,50	9,00	30	8700
FFB 7,40/34	34				4400	6950									
FFB T 7,40	32				4800	7200									
FFB 8,20	40	8,20	2,65	1,56	4750	7750	9,00	7,80	3,37	3,70	4,10	4,90	9,95	30	10000
FFB T 8,20	38				5200	8050									
FFL-16	16	6,12	2,60	1,65	3375	4575	6,90	5,25			2,60	3,05			
FFL-16/FP	16				3825	5025	6,96	7,06			2,64	3,94			
FFL-19	19	6,92	2,60	1,65	4000	5425									
FFL-19/FP	19				4450	5875									
FFL-28	28	6,85	3,10	1,75	4100	6200									
FFL-28/FP	28				4650	6750									
FFL-32	32	7,65	3,10	1,75	4900	7300									
FFL-32/FP	32				5450	7850									
FFL-40	40	9,25	3,10	1,75	6550	9550									
FFL-40/FP	40				7125	10125									

Продовж. табл. 5.1 Д

Марка	Кількість пасажирів, чол.	Габаритні розміри, м			Маса, кг		A	B	C	D	E	F	L	α	Маса
		L	B	H	Q	Q _p	м								кг
TEL-19	19	6,05	2,10	1,30	2575	4000					2,60	3,05			
TEL-19/FP	19				2975	4400					2,64	3,94			
TEL-26	26	6,05	2,45	1,41	3250	5200									
TEL-26/FP	26				3700	5650									
TEL-32	32	6,85	2,45	1,41	3500	5900									
TEL-32/FP	32				3950	6350									
TEL-38	38	7,65	2,45	1,41	4100	6950									
TEL-38/FP	38				4500	7350									
TEL-60	60	8,45	2,90	1,41	4040	8540									
TEL-60/FP	60				4445	8945									

Примітка: Т – танкерна шлюпка; FP – вогнезахищена; Q – маса шлюпки без пасажирів; Q_p – маса шлюпки з пасажирями; FFL, FFB – вільнопадаюча шлюпка; TEL – повністю закрита.

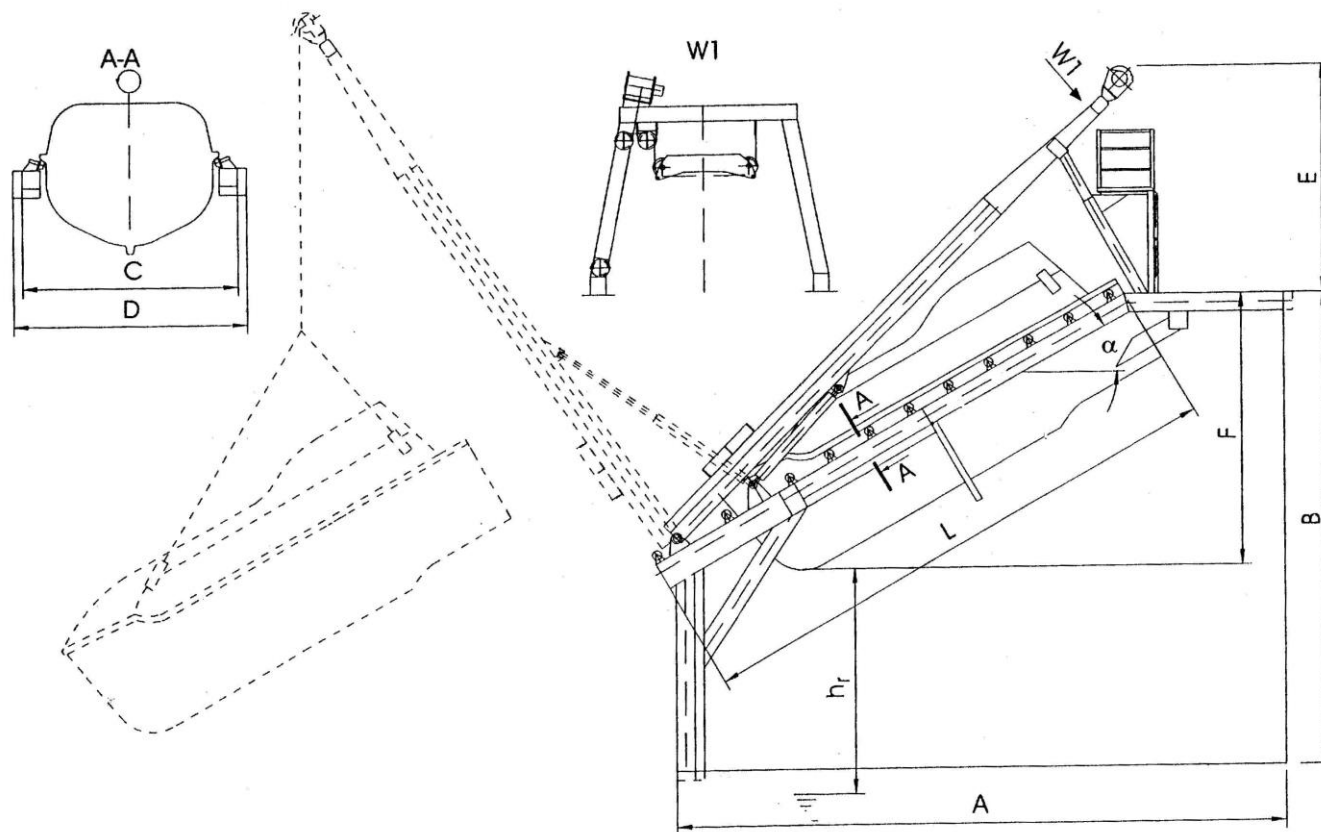


Рис.Д.5.1. Схема спускового прибора

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА СКЛАДОВИХ НАВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА МЕТОДОМ НОРМАНА В СЕРЕДОВИЩІ EXCEL

Таблиця 6.1Д Бланк даних для розрахунку

Найменування характеристики	Судно-прототип	Судно-проект
Вантажопідйомність, т	13500	12110
Швидкість експлуатаційна, вуз	18,5	19,0
Потужність головного двигуна, кВт	13000	
Дальність плавання, миль	12000	10000
Питомі витрати пального, г/(кВтгод)	260	220
Адміралтейський коефіцієнт	385	358
Маса:		
корпусу, т	5200	
механізмів, т	1000	
палива, т	2190	
постачання, т	310	
запасу водотоннажності, т	0	
Водотоннажність, т	22200	
Вимірники:		
корпусу	0,234	0,239
механізмів	0,077	0,076
постачання	0,014	0,020

Таблиця 6.2Д Перерахунок навантаження транспортного судна

Множники	Маси, т	Маси в долях D		IIIxIV	$[dP_i]_o$	$V \times dD$	dP_i VI+VII	Виправлені маси, т
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Корпус	5200	0,234	1	0,234	111,11	-513	-401,79	4798
Механізми	1000	0,045	0,667	0,030	138,22	-65,8	72,43	1072
Паливо	2190	0,099	0,667	0,066	-430	-145	-574,70	1615
Сума	8390			0,330	-180,6		-904,05	7486
Вантаж	13500				-1390		-1390,00	12110
Постачання	310	0,014	1	0,014	132,86	-30,7	102,17	412
Запас D	0							
Сума	13810			0,014	-1257		-1287,83	12522
Всього	22200			0,3440	-1438		-2191,88	20008
К-т Нормана				1,5245				
Приріст dD					-2192			

Інструкція до програми розрахунку водотоннажності та її складових методом Нормана

Порядок роботи з програмою передбачає наступні дії.

1. Викликати програму "Норман.xls".
2. Вибрати сторінку "Дані" і заповнити таблицю Д.6.1 вихідними даними по судну-прототипу і судну проекту. Якщо значення деяких характеристик судна-проекту співпадає зі значення судна прототипу, то ці дані слід повторити.
3. Всі розрахункові формули, які використані в програмі, детально описані в розділі 5.
4. Перейти на сторінку "Розрахунок". Результати розрахунку водотоннажності проекту судна та її складових наводяться в стовпці IX таблиці Д.6.2, де в графі "Всього" вказується водотоннажність судна.

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПИТОМИХ ЗВЕДЕНИХ ВИТРАТ ПРОЕКТОВАНОГО СУДНА В СЕРЕДОВИЩІ EXCEL

1. Початкові дані для розрахунку

Таблиця 7.1 Д Дані по судну

Тип судна	танкер
Дедвейт судна, т	40000
Експлуатаційна швидкість, вуз	15,2
Довжина судна, м	178,48
Потужність головного двигуна, кВт	10300
Питомі витрати палива, г/(кВт год)	176
Кількість екіпажу, осіб	29
Автономність плавання по запасам провізії, діб	40

Таблиця 7.2 Д Експлуатаційно-економічні дані

Експлуатаційний період, діб	332
Відстань між портами, миль	7000
Вартість 1 т мастила, дол/т	1500
Вартість 1 т палива, дол/т	140
Норма вантажообробки в порту відправлення, т/год	2500
Норма вантажообробки в порту призначення, т/год	2500
Коефіцієнт завантаження в прямому напрямку	0,9
Коефіцієнт завантаження в зворотному напрямку	0
Норма амортизаційних витрат, %	7,5
Зарплата екіпажу, дол/добу	200
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	0,12
Коефіцієнт непрямих витрат, %	4,5

2. Результати обчислення економічної ефективності судна

Таблиця 7.3 Д Результати розрахунку

Кількість палива, води, яка витрачається за рейс, т	1769
Кількість мастила, яка витрачається за рейс, т	71
Маса екіпажу, т	123
Вантажопідйомність судна, т	38037
Коефіцієнт втрати швидкості на хвилюванні	0,138
Ходовий час, діб	44,496
Час вантажних операцій	1,141

Продовж. табл. 7.3 Д

Кількість рейсів	6,969
Річна провізна спроможність, т	238585
Вартість судна, млн.дол	27,558
Витрати, млн.дол:	
на амортизаційні відрахування	2,067
на поточний ремонт	0,091
на постачання	0,138
на утримання екіпажу	2,117
навігаційні	0,045
на мастило	0,740
на паливо	1,726
непрямі	0,194
експлуатаційні	7,118
Зведені витрати, млн.дол	10,425
Питомі зведені витрати, дол/т	43,694

Пояснення:

Маса екіпажу, провізії, питної води обчислювалася за формулою, т

$$P_{\text{ек}} = \frac{n_{\text{ек}} m_{\text{ек}} + n_{\text{ек}} n_{\text{а}} (100 + 3)}{1000},$$

де $n_{\text{а}}$ – автономність плавання по запасам провізії; $m_{\text{ек}}$ – маса одного члена екіпажу з багажем (130 кг); 100 – запаси питної води на одного члена екіпажу, л; 3 – запаси провізії на одного члена екіпажу, кг.

Вантажопідйомність судна, т

$$P_{\text{в}} = DW - P_{\text{пв}} - P_{\text{м}} - P_{\text{ек}}.$$

3.Інструкція до програми розрахунку економічної ефективності судна

Порядок роботи з програмою передбачає наступні дії.

1. Викликати програму "Питомі витрати.xls".
2. Вибрати сторінку "Дані" і заповнити табл. 7.1 Д даними по судну і табл. 7.2 Д експлуатаційно-економічними даними.
3. Всі розрахункові формули, які використані в програмі, детально описані в розділі 8.
4. Результати розрахунку наводяться в табл. 7.3 Д на сторінці "Розрахунок".

Олександр Іванович КРОТОВ
Володимир Іванович ГОЛІКОВ
Олександр Юхимович ЄГАНОВ
Олександр Валентинович БОНДАРЕНКО

ПРОЕКТУВАННЯ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН

Навчальний посібник