

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 МАЛОТОННАЖНИХ 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
(Лист № 1/11-2919 від 29.08.2002 р.)*

Проектування малотоннажних суден. Навчальний посібник/
О.І. Кротов, В.І. Голіков, О.Ю. Єганов, О.В. Бондаренко – Миколаїв:
УДМТУ, 2002. – 158 с.

Кафедра теорії та проектування суден

У посібнику викладаються основи початкового проектування малотоннажних суден – питання техніко-економічного обґрунтування проекту, методи його розробки, вибір основних елементів і характеристик. Проводиться аналіз особливостей малотоннажних суден, призначення, форми корпусу, забезпечення безпеки плавання в умовах дії на нього вітру і хвилювання. Особлива увага в посібнику приділяється специфіці і особливостям проектування малотоннажних суден.

Теоретичний і фактичний матеріал посібника дають можливість сформувати математичну модель проектного малотоннажного судна, в ньому наводиться докладний опис алгоритмів – складових такої моделі. Викладено також питання вибору оптимальних рішень при проектуванні малотоннажних суден.

Мета посібника – познайомити студентів з методологією, задачами та розрахунками, які відносяться до проектування малотоннажного судна. Наведені необхідні графоаналітичні матеріали, основні вимоги діючих нормативних документів можуть бути використані при розробці курсових і дипломних проектів малотоннажних суден.

Посібник призначається для студентів кораблебудівних спеціальностей і може допомогти їм розібратися в технічних і економічних аспектах початкових етапів розробки проектів малотоннажних суден.

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. А.Я. Казарєзов;
д-р техн. наук, проф. В.В. Зайцев

© Український державний морський
технічний університет, 2002
© Видавництво УДМТУ, 2002

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1. Основи початкового проектування	6
1.1 Обґрунтування типу судна і розробка завдання на проектування	6
1.1.1 Особливості експлуатаційно-економічного обґрунтування проекту	6
1.1.2 Розрахунок експлуатаційно-економічних показників	10
1.1.3 Експлуатаційно-технічні показники	14
1.1.4 Аналіз експлуатаційно-технічних показників	16
1.1.5 Розробка завдання на проектування.....	19
1.1.6 Структура і послідовність розробки проекту. Проектна документація.....	21
1.2 Загальна методика проектування малотоннажних суден	25
1.2.1 Класифікація елементів проектного судна	25
1.2.2 Сучасні методи проектування.....	27
1.2.3 Вимірники маси проектного судна.....	30
1.2.4 Рівняння мас судна і його види	32
1.2.5 Диференціальні способи Нормана і Бубнова	38
1.2.6 Вантажопідйомність і місткість малотоннажних суден	41
1.3 Вимоги остійності при початковому проектуванні.....	44
1.3.1 Рівняння початкової остійності і його аналіз.....	44
1.3.2 Використання рівняння початкової остійності.....	49
1.4 Основні положення вибору енергетичної установки і рушійного комплексу.....	56
1.4.1 Енергетична установка	56
1.4.2 Рушійний комплекс.....	58
Розділ 2. Особливості проектування малотоннажних суден.....	60
2.1 Аналіз особливостей малотоннажних суден.....	60
2.1.1 Призначення та особливості малотоннажних суден	60

2.1.2 Аналіз проектно-конструкторських рішень у малотоннажному суднобудуванні	63
2.1.3 Аналітичний огляд форм корпусів малотоннажних суден	71
2.1.4 Особливості забезпечення безпечного плавання малотоннажного судна в умовах впливу на нього вітру і хвилювання	76
2.2 Особливості проектних розрахунків МС	95
2.2.1 Розрахунок потужності головного двигуна	95
2.2.2 Особливості розрахунку навантаження мас, оцінки місткості і вибору головних елементів малотоннажного судна	102
2.2.3 Місткість малотоннажних суден	117
2.2.4 Визначення параметрів початкової остійності	123
2.2.5 Генерація теоретичного креслення	124
Розділ 3. Оптимізація основних елементів судна	125
3.1 Постановка задачі	125
3.2 Вибір і обґрунтування цільової функції для оцінки оптимального варіанта малотоннажного судна	127
3.3 Розробка математичної моделі проектування малотоннажних суден	130
3.4 Формування обмежень математичної моделі	133
3.5 Методи оптимізації	139
3.5.1 Спеціальна термінологія і позначення	139
3.5.2 Огляд методів оптимізації суден	140
3.5.3 Оптимізація за наявності обмежень	142
3.5.4 Топологія цільової функції	144
3.5.5 Методи штрафних функцій	145
Список використаних джерел	149
Додаток 1 Теоретичні креслення корпусів малотоннажних суден	152
Додаток 2 Каталог головних двигунів	555

ВСТУП

Для успішної реалізації задачі розвитку водного транспорту України, поповнення флоту суднами з новими архітектурно-конструктивними типами, новими економічними засобами керування, які забезпечують безпеку плавання при великій інтенсивності руху і в складних вітро-хвильових умовах необхідне не тільки подальше прискорення технічного прогресу водного транспорту, але і максимальне впровадження накопиченого досвіду побудови, експлуатації та проектування флоту і нових досягнень науки і техніки.

За останній час докорінно змінилися умови використання флоту, його експлуатації, кількісний і якісний склад. На порядку денному стоїть питання створення нового флоту України, у тому числі малотоннажного.

При проектуванні малотоннажних суден виникають значні утруднення, пов'язані з їх експлуатацією, забезпеченням морехідних якостей, загальним розташуванням тощо, тому у даному посібнику особлива увага приділяється найважливішим питанням проектування таких суден, а саме: техніко-економічному обґрунтуванню проекту, методам його розробки, вибору основних елементів і характеристик проектного судна, принципам їх оптимізації.

В посібнику використовується результати досліджень, виконаних авторами. Підрозділ 2.1.4 посібника викладено за результатами досліджень, виконаних під керівництвом професора В.О.Некрасова.

Розділ 1. ОСНОВИ ПОЧАТКОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Обґрунтування типу судна і розробка завдання на проектування

1.1.1 Особливості експлуатаційно-економічного обґрунтування проекту

Економічна ефективність роботи водного транспорту залежить від технічної досконалості, пропорційності розвитку, рівня організації роботи його складових частин: флоту, портів, судноплавних шляхів, суднопровисних споруд, суднобудівних і судноремонтних підприємств. Водний транспорт в цілому являє собою складну динамічну систему взаємопов'язаних і спільно діючих технічних засобів. Працездатність цих засобів в першу чергу визначається їх надійністю. Як наслідок недостатньої надійності транспортних суден, наприклад, – зменшення їх провізної спроможності в результаті вимушених простоїв, пов'язаних з ремонтом в навігаційний період, підвищенням трудомісткості, металоємності і вартості ремонтів. Експлуатаційна надійність судна у значній мірі залежить від відповідності експлуатаційним умовам його основних характеристик, які визначаються в процесі початкового проектування. У зв'язку з цим особливе значення має вибір оптимальних типів перспективних суден, який повинен проводитися з урахуванням комплексу задач, що визначають розвиток водного транспорту у цілому.

До вказаних задач відносяться такі як визначення об'єму, структури і напрямків перевезень вантажів і пасажирів, а також умов функціонування суден інших типів; встановлення оптимальних вантажопотоків, розробка генеральної схеми транспортування по внутрішнім та прибережним водним шляхам; обґрунтування пропускнуєї спроможності, габаритів і характеристик судноплавних шляхів і споруд; розробка раціональної схеми організації і технології перевезень; визначення можливостей портів, розробка генеральної схеми розвитку причального і портового господарства, технологічних схем і засобів механізації вантажних робіт; обґрунтування розта-

шування і потужності суднобудівних і судоремонтних підприємств; визначення можливостей флоту, розробка сітки типів суден і суднобудівної програми перспективного поповнення.

Слід відмітити, що вирішення наведених задач повинно бути взаємопов'язаним. Так при плануванні суднобудування розробка варіантного ряду перспективних суден звичайно зводиться до встановлення техніко-експлуатаційних характеристик суден за допомогою наближених залежностей, які отримуються в результаті обробки статистичних матеріалів, що відображають вже досягнутий рівень суднобудування.

У всіх сучасних дослідженнях подібних задач використовується метод послідовних наближень і варіацій, який дозволяє скласти єдину схему розрахунків. Використання цього методу визначається в першу чергу тим, що складність, а в деяких випадках і неможливість виявлення аналітичних залежностей між параметрами технічних засобів, їх техніко-експлуатаційними і економічними характеристиками, а також експлуатаційно-економічними умовами, не дозволяють скласти загальне рівняння або систему рівнянь для однозначного оптимального рішення. Справа ще у тому, що при обробці статистичних проектних даних можна отримати лише спрощені аналітичні або графічні залежності досліджуваних характеристик від водотоннажності, вантажопідйомності, модулів головних розмірів тощо. Цьому причиною є те, апроксимацію виконують у широкому діапазоні типорозмірів суден, знижуючи в той же час вимоги до допустимих відхилень пошукованих характеристик.

Вирішення проблеми загальної оптимізації водного транспорту в цілому є настільки складним процесом, що навіть за допомогою сучасних математичних методів і обчислювальної техніки ще не отримані більш менш прийнятні результати. Але декілька робіт, виконаних останнім часом, доказують принципову можливість вирішення задачі комплексного обґрунтування окремих сторін цієї проблеми.

У сучасній практиці проектування для зменшення трудомісткості розрахунків зменшують число варіантів, покладених у основу досліджень, обмежують і спрощують вихідні умови, виключаючи з варіювання низку технічних, експлуатаційних або економічних характеристик, вважаючи їх заданими, або проводять паралельне варіювання по найбільш важливим параметрам.

Використання методу послідовних наближень обумовлює поетапне виконання усіх робіт з проектних обґрунтувань у відповідності з послідовністю, об'ємом і точністю розробок.

Зазвичай проектний дослідження виконують у два етапи: перший етап – експлуатаційно-економічні обґрунтування, за результатами яких розробляється довгостроковий план суднобудування і складається сітка типів суден перспективного поповнення флоту; другий етап – техніко-економічні обґрунтування, виконувані в процесі розробки проекту для оцінювання варіантів конкретних технічних рішень і заходів з удосконалення судна.

На першому етапі обґрунтуванню підлягають тільки ті основні характеристики судна, які відображають його призначення, вантажопідйомність, швидкість, габаритні обмеження розмірів, а також тип і потужність енергетичної установки. Результати першого етапу експлуатаційно-економічних обґрунтувань представляються у вигляді сітки типів суден, яка служить керівним документом при складанні технічних завдань на проектування усіх конкретних суден.

Для проектування судна початкових даних першого етапу недостатньо, необхідно встановлювати додаткові вимоги, використовуючи для цього систематизовані матеріали експлуатаційно-економічних обґрунтувань сітки і статистичні дані експлуатації. При цьому повинні бути зафіксовані наступні характеристики і вихідні умови, які встановлюються на першому етапі обґрунтувань:

якісні і кількісні характеристики вантажопотоків (рід вантажу, фізико-хімічні властивості тощо), пасажиропотоків; вид виконуваних функцій су-

ден допоміжного флоту; об'єм і вид пасажирських перевезень (транзитні, туристські, приміські тощо); пункти відправлення і призначення;

умови плавання і обслуговування суден, обробки суден у портах (дальність плавання, характеристики суднового ходу, суднопропускних споруд, вітро-хвильового режиму, швидкості течії; розміри причальних набережних; характеристики і кількість перевантажувальних засобів, норми вантажообробітку);

нормативи витрат часу на технічні операції, на переходах, у вихідних і кінцевих пунктах (очікування вантажообробітку, шлюзування, затримка на переходах із-за несприятливих погодних умов тощо);

експлуатаційно–технічні характеристики судна (вантажопідйомність, пасажиромісткість, швидкість, потужність і тип енергетичної установки, витрати і марки палива і мастильних матеріалів, навантаження мас, чисельність екіпажу; строк служби, ступінь надійності і ремонтпридатності);

економічні характеристики і показники (побудовна вартість по групах розбивки на облікові одиниці або на оду тонну ваги корпусу і механізмів, амортизаційні відрахування з виділенням витрат на ремонт, експлуатаційні витрати, пропорційні побудовній вартості; зарплата і витрати, пропорційні заробітній платні; ціна палива і мастильних матеріалів, експлуатаційні витрати на утримання судна у ході і на стоянках; провізна здатність, собівартість перевезень, питомі капіталовкладення; питомі зведені витрати).

Слід відмітити, що в процесі проектування зазвичай співставляють досить близькі варіанти судна, призначеного для заданої лінії експлуатації, яка була встановлена при розробці сітки типів суден або технічного завдання на проектування. Наведені в сітці узагальнені характеристики проектованого судна, такі, як вантажопідйомність, пасажиромісткість, швидкість, інтенсивність вантажних робіт, сила тяги на гаку тощо – змінюються на другому етапі обґрунтування не шляхом незалежного варіювання, а внаслідок розроблюваних технічних рішень і заходів, які направлені на удосконалення проектованого судна. Оцінювання і відбір оптимальних ва-

ріантів у даному випадку проводяться, як і на першому етапі обґрунтувань, за результатами зіпівставлення їх за тими ж економічними показниками.

1.1.2 Розрахунок експлуатаційно-економічних показників

У процесі експлуатаційно-економічного обґрунтування проєктованих суден використовується визначена система показників. На практиці їх прийнято виражати у вигляді вартісних показників.

Звичайно критерієм оптимальності судна при порівнянні варіантів служить умовний оптимум показників, прийнятих як основні. Для зменшення праціємності розрахунків вибирають найбільш важливі для суден даного типу показники. У більшості випадків можна достовірно встановити ефективність різних варіантів судна, використовуючи *узагальнені* (синтетичні) показники, за які приймають максимум прибутку, провізної спроможності, виконуваної роботи, мінімум собівартості перевезень, питомих капіталовкладень і зведених витрат.

Розглянемо послідовно деякі з цих показників. Проектна собівартість перевезень враховує витрати на утримання судна в експлуатації на одиницю транспортної продукції (1 т·км або 1 пасажиро-кілометр на 1 т вантажу або на одного пасажирів) в умовах розрахункової лінії перевезень за визначений період часу.

При співставленні варіантів у процесі розробки проекту собівартість перевезень визначається за формулою

$$c = \frac{C_X \frac{t_X}{t_P} + C_C \frac{t_C}{t_P} + C_M \frac{t_M}{t_P}}{Q}, \quad (1.1)$$

де C_X, C_C, C_M – експлуатаційні витрати відповідно у ході, на стоянках і маневрах, які відрізняються витратами на паливо і мастильні матеріали, грн.; Q – об'єм транспортної роботи судна, т·км (пасажиро-кілометр);

$\frac{t_X}{t_P}, \frac{t_C}{t_P}, \frac{t_M}{t_P}$ – коефіцієнти, які враховують розподіл часу рейсу по елементах:

там: хід, стоянка, маневри.

Експлуатаційні витрати являють собою суму наступних витрат: усі види заробітної платні суднового екіпажу (у періоди навігації, зимового відстою тощо); відрахування на соціальне страхування, безкоштовне харчування та інші прямі і розподілені витрати; відрахування на амортизацію, ремонт і обслуговування судна підчас навігації і зимового відстою; вартість палива і мастила.

Собівартість утримання судна (судно-добові експлуатаційні витрати) розраховуються по наступним трьом основним статтям:

$$C_y = C_{3П} + C_{П} + C_{АРМ},$$

де $C_{3П}$ – витрати, які залежать від фонду заробітної плати суднового екіпажу, з урахуванням відрахувань на соціальне страхування і витрати за період зимового відстою:

$$C_{3П} = \frac{M_{ПО}}{30,5} k, \quad (1.2)$$

$M_{ПО}$ – місячний фонд посадових окладів екіпажу судна, грн.; k – коефіцієнт, який враховує преміальну оплату, надбавку за роботу у складних умовах, додаткову заробітну платню, відрахування на соціальне страхування, витрати по зимовому відстою;

$C_{П}$ – витрати на паливо і мастильні матеріали за добу ходу:

$$C_{П} = 24 \cdot 10^{-6} N a (q_T \Pi_T + q_M \Pi_M), \quad (1.3)$$

q_T, q_M – питомі витрати палива і мастильних матеріалів у ході по головним двигунам, г/кВт·год; Π_T, Π_M – ціни палива і мастильних матеріалів у ході по головним двигунам у грн. за тонну; $a = 1,03 \dots 1,06$ – коефіцієнт, який враховує витрати палива і мастильних матеріалів допоміжними механізмами (витрати на паливо і мастильні матеріали на стоянці і маневрах для теплоходів складають відповідно 5 і 65% витрат у ході);

$$C_{АРМ} = \frac{C_{ПОБ}}{T_{СЛ} T_E} \cdot \frac{a_B + a_P + a_M}{100}, \quad (1.4)$$

$C_{ПОБ}$ – побудовна вартість (відпускна ціна) судна в грн; $T_{СЛ}$ – строк служби судна, роки; T_E – період експлуатації, доби; a_B, a_P, a_M – нормативи

відрахувань відповідно на повне відновлення; капітальний і середній ремонт, поточний і навігаційний ремонт; матеріали і малоцінний інвентар.

Побудовна вартість у процесі експлуатаційно–економічних обґрунтувань сітки типів суден і розробки технічних завдань на проектування може визначатися за допомогою укрупнених вимірників, які відображають зміни вартості суден в залежності від їх техніко-експлуатаційних характеристик. У процесі проектування судна побудовна вартість розраховується по групам навантаження мас і статтям витрат у відповідності до стадії проектування.

Останнім часом питання про встановлення достовірних вартісних показників і про визначення відрахувань на амортизацію достатньо не вивчене. Тому практика призначення на основі попереднього досвіду постійних амортизаційних відрахувань для всіх варіантів проектного судна може призвести до помилок при виборі оптимального варіанту. Норми амортизаційних відрахувань доцільно визначати у таких випадках за допомогою спеціального розрахунку по кожному варіанту проекту.

Питомі капіталовкладення враховують одноразові витрати на судно (побудовну вартість, відпускну ціну), віднесені до одиниці транспортної продукції (1т вантажу, який перевозиться, 1т·км, 1 пасажирокілометр) за добу експлуатаційного періоду:

$$k_{\Pi} = \frac{C_{\text{ПОБ}}}{Q}. \quad (1.5)$$

Показник питомих зведених витрат об'єднує у собі поточні (експлуатаційні) витрати і капітальні вкладення за допомогою нормативного коефіцієнта порівняльної ефективності $E_{\text{Н}}$, який пов'язаний з нормативним строком окупності $T_{\text{Н}}$ відношенням $E_{\text{Н}} = \frac{1}{T_{\text{Н}}}$. Як критерій для оцінювання порівняльної ефективності варіантів проекту транспортних суден може бути використаний показник зведених витрат по собівартості перевезень у вигляді

$$S = c + E_H k_{\Pi} .$$

Нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності , як правило, встановлюється не нижче 0,12.

Слід відмітити, що метод порівняння проектних варіантів суден по абсолютним значенням узагальнених показників, який приймається , як правило, для сучасних експлуатаційно-економічних обґрунтувань типів суден, призводить до певних труднощів, коли його починають використовувати на другому етапі обґрунтувань для оцінювання варіантів, які розробляються на початкових стадіях проектування. Причиною цього є велика трудомісткість розрахунків і їх недостатня точність, оскільки у даному випадку проектувальник хоче встановити наскільки розроблюваний варіант кращий або гірший за інші варіанти, які відрізняються ступенем технічного удосконалення судна. В результаті приходиться визначати малі різниці великих чисел, а це приводить до помилок, якщо оперувати показниками у абсолютних величинах [12].

Тому, оцінюючи варіанти у початкових стадіях проекту, доцільно виражати рівняння узагальнених показників у відносній формі [1, 12]. Це дасть можливість безпосередньо визначати різницю показників без вираження їх абсолютних значень.

1.1.3 Експлуатаційно-технічні показники

Експлуатаційно-технічні показники дають можливість оцінити ті якості судна, які визначають його можливість його використання у різноманітних умовах експлуатації. Номенклатура експлуатаційно-технічних показників не може бути єдиною для усіх типів суден, і тому, як правило, вона модифікується в залежності від призначення ті інших якостей судна.

До натуральних показників, які виражаються в абсолютних одиницях, відносять такі техніко-експлуатаційні характеристики судна, як вантажопі-

дійомність, пасажиромісткість, тяга на гаку або упор, швидкість, потужність енергетичної установки, навантаження мас, водотоннажність, чисельність екіпажу, строки служби (до першого капітального ремонту, до повного фізичного зношення), провізна здатність тощо.

Найбільш наглядно натуральні показники характеризують експлуатаційно-технічні якості суден, однак для накопичення і аналізу вихідних матеріалів і порівняння варіантів проекту більш зручно використовувати відносні показники і практичні коефіцієнти, які характеризують окремі елементи якості судна:

габарити, вагу і архітектурно–конструктивні особливості (коефіцієнти утилізації водотоннажності; відносні вагові вимірники; коефіцієнти металоемності у вигляді відношень ваги металу до вантажопідйомності, вантажопідйомності, пасажиромісткості або провізної спроможності; питому вантажомісткість; коефіцієнт вертикальної проникності трюмів; коефіцієнт лючності; ступінь нерівномірності розподілу корисних об’ємів по вантажним приміщенням; коефіцієнти використання довжини, площі і об’ємів корпусу; коефіцієнти запасу міцності, згинальних моментів, використання металу по перерізам корпусу, а також інші показники раціональності конструкції);

виробничо-технологічні показники (технологічність конструкцій, матеріалоемність, енергоємність, ступінь стандартизації тощо);

показники навігаційних якостей (адміралтейські коефіцієнти, питомий опір, відносна швидкість, пропульсивний коефіцієнт, співвідношення головних розмірів, відносна довжина, коефіцієнти, які характеризують форму корпусу; коефіцієнти остійності, керованість і непотоплюваність; питома тяга, енергоозброєність);

експлуатаційні якості (технічна продуктивність судна у ході, яка виражається відношенням добутку вантажопідйомності і швидкості до потужності енергетичної установки; коефіцієнт утилізації швидкості (відношення швидкості доставки до розрахункової швидкості ходу судна); кіль-

кість перевезеного вантажу (пасажирів) на 1т палива; витрати палива на 1 кВт за одиницю часу при повній водотоннажності; продуктивність праці екіпажу (відношення провізної здатності до чисельності екіпажу); показники і коефіцієнти, які характеризують життєпридатність і комфортабельність приміщень, безшумність роботи механізмів, естетичний вигляд, рівень механізації праці екіпажу, ступінь автоматизації; показники надійності). Надійність судна визначається його довговічністю, безвідказністю, ремонтпридатністю. Показниками довговічності є: строк служби (термін експлуатації судна до граничного стану, який обумовлений у технічній документації, або до списання) і ресурс (сумарне напрацювання судна до граничного стану, обумовленого у технічній документації). Як показник безвідказності часто приймають напрацювання до відмови та імовірність безвідказної роботи.

Основними показниками експлуатаційної надійності, яка залежить від сполучення безвідмовності, ремонтпридатності і довговічності судна і його елементів, можуть служити [1]:

коефіцієнт технічного використання (працездатності), який являє собою відношення напрацювання судна протягом навігації або строку служби до суми, складеної з часу цього напрацювання, втрат часу або об'єму транспортної роботи на ремонти і технічне обслуговування з виведенням судна з експлуатації у період, що розглядається;

коефіцієнт металоємності (матеріалоємності) ремонту, який визначається відношенням ваги металу (матеріалів) судна до суми цієї ваги і ваги метала, що витрачається на ремонти за період експлуатації;

коефіцієнт експлуатаційної металоємності судна, який визначається відношенням суми ваги металу (матеріалів) судна і ваги метала, що витрачається на ремонти за період експлуатації до об'єму транспортної роботи судна;

імовірність безвідказної роботи, тобто імовірність того, що при визначених умовах експлуатації у межах заданого часу (напрацювання) відмови

не виникає. Тут враховується число суден в серії і число суден, які вийшли з ладу у визначеному інтервалі часу.

1.1.4 Аналіз експлуатаційно-технічних показників

Оцінюючи технічну досконалість суден і їх проектів, Звичайно вирішують дві задачі: по – перше, визначають кількісні матеріальні і фінансові витрати на побудову судна; по – друге, оцінюють експлуатаційно-економічну ефективність судна.

Слід відмітити, що показник економічної ефективності має вирішальне значення для експлуатації суден, а показники, які характеризують побудовні витрати, є важливими лише для встановлення узагальнених показників якості при розробці проекту. При цьому під "якістю" проектного рішення (варіанту) вважається інтегральна якість судна, яка визначається відношенням його споживчої вартості (наприклад, провізної спроможності) до сукупних витрат на створення і експлуатацію. Разом з економічним вимірюванням, інтегральна якість характеризує також сукупність безвідказності, довговічності, ремонтпридатності та інших якостей судна, від яких залежить його здатність виконувати заданий об'єм робіт, перевезень вантажу тощо в конкретних умовах експлуатації.

Розробляючи проект і співставляючи варіанти, відбір оптимальних проектних рішень здійснюють за допомогою узагальнених показників. За їх допомогою також оцінюються результати експлуатації флоту. За допомогою узагальнених показників можна оцінювати будь-які зміни порівнюваних варіантів, якщо відомі залежності, які дозволяють виразити вплив цих змін на капітальні вкладення, експлуатаційні витрати і об'єм транспортної роботи. Однак із-за складності деяких з цих залежностей на практиці дуже часто вимушені використовувати комплексне співставлення варіантів, використовуючи характеристики і показники, які відображають окремі навігаційні, технічні і економічні якості судна.

При аналізі варіантного ряду суден з однаковими або близькими значеннями економічних показників, а також у тих випадках, коли розглядаються варіанти, які відрізняються властивостями, що не піддаються числовому вираженню через економічні показники, необхідне порівняння по експлуатаційно-технічним показникам. Так, наприклад, автоматизація механізмів швартовного і якірного пристроїв, покращення побутових умов і умов для життя членів екіпажу, удосконалення навігаційного обладнання і тому подібне, як правило, підвищує побудовну вартість і собівартість утримання судна, але не супроводжується в окремих випадках ні скороченням екіпажу, ні збільшенням об'єму транспортної роботи. У таких випадках, Якщо орієнтуватися на економічні показники, можна вибрати варіант, який ні в якому разі не буде оптимальним.

Сутність комплексного порівняння полягає у співставленні економічних і експлуатаційно-технічних показників з метою установлення оптимального варіанту як у відношенні економічної ефективності, так і у відношенні технічного рівня судна. При порівнянні за основу приймаються кращі з побудованих і спроектованих суден заданого призначення, а при відсутності такого – спеціально розроблений вихідний варіант. Кращі судна відбираються по економічним результатам їх експлуатації і техніко-економічним показникам.

Систематизація і аналіз суден за показниками, які характеризують габарити, вагу, архітектурно-конструктивні особливості і навігаційні якості, як правило, не викликають труднощів і проводяться за допомогою проектно-конструкторської документації. Значно складніше виявити експлуатаційно-економічні показники, особливо показники надійності, так як для їх чисельного визначення необхідне статистичне вивчення результатів експлуатації або випробувань великої кількості суден. Проблеми, пов'язані з експлуатаційною надійністю судна, ще недостатньо вивчені, але практика показує, що проектування, виконане без урахування вимог надійності, як правило, дає погані результати.

При проведенні порівняльної оцінки варіантів необхідно брати до уваги наступні основні вимоги: використовувати однакові методики для визначення показників для всіх порівнюваних варіантів; використовувати порівняльні експлуатаційні, натуральні і вартісні нормативи, які використовуються при розрахунках показників; добиватися рівнозначності умов експлуатації, а також умов ремонтного і технічного обслуговування; вибирати значення показників, які прийняті як критерії за достовірними даними, отриманими по достатній кількості суден; використовувати такий метод обробки статистичних даних, який дозволить досить швидко встановлювати допустимі границі зміни показників і причини відхилень їх від середніх значень.

Успішність вибору оптимального у відношенні технічної досконалості варіанта судна суттєво залежить від того, які з техніко–експлуатаційних якостей будуть взяті як основні. Комплексний показник оптимальності техніко-експлуатаційних якостей судна може бути встановлений на основі урахування впливу окремих часткових показників на узагальнені, наприклад, на собівартість перевезень або зведені витрати. Однак це можливо лише у тому випадку, якщо залежності між узагальненим і окремими експлуатаційно-технічними показниками можуть бути піддані кількісному вираженню. Показники, які не задовольняють такій умові, слід вилучати з розгляду. При цьому слід пред'являти однакові вимоги до варіантів з урахуванням відповідних показників кращих вітчизняних і зарубіжних суден і дуже важливо знати, за допомогою яких технічних рішень по удосконаленню вихідного варіанту можна сподіватися на підвищення його провізної здатності, об'єму виконуваної роботи тощо.

Можна рекомендувати спосіб попереднього вибору найбільш раціональних шляхів удосконалення вихідного варіанту проектного судна, який ґрунтується на аналізі впливу часткових еквівалентних приростів узагальнених характеристик на його економічні показники [1].

1.1.5 Розробка завдання на проектування

Практичне проектування сучасних малотоннажних суден, як правило, починається з розробки проекту технічного завдання на основі сітки суден. Вимоги, які містяться в проекті завдання, записуються у загальному вигляді, тому вони не можуть бути такими, що знаходяться у протиріччі. Для виявлення таких протиріччів проводять аналіз технічного завдання на проектування. До задач цього аналізу входить уточнення техніко-експлуатаційних характеристик судна, обґрунтованих в процесі розробки сітки суден; вибір додаткових вимог, які конкретизують вихідні економічні і експлуатаційні умови; відбір нормативних значень деяких техніко-експлуатаційних характеристик, які не піддаються економічній оцінці, з метою виключення їх з аналізу, що виконується на наступних стадіях проектування. Аналіз технічного завдання проводиться, як правило, варіантним методом і за об'ємом відповідає передескізному проекту.

Вітчизняна практика розробки технічного завдання на проектування нового судна передбачає чотири етапи робіт:

- первісне визначення техніко-експлуатаційних характеристик вихідного варіанту судна на основі матеріалів, які відображають сучасний рівень суднобудування і експлуатації;

- орієнтовне встановлення основних шляхів удосконалення вихідного варіанту з метою підвищення його ефективності;

- розробка і порівняльна оцінка різних варіантів, які відрізняються технічними рішеннями, які направлені на удосконалення судна;

- вибір оптимальних варіантів для наступної розробки проекту судна.

Первісне визначення техніко-експлуатаційних характеристик вихідного варіанту судна на основі загальних методів теорії проектування, як правило, не призводить до значних труднощів, якщо у розпорядженні проектувальників є достовірні статистичні дані, які відображають технічні і експлуатаційні особливості суден аналогічного призначення. З методичної точки зору розробку варіантів на будь-якій стадії розробки проекту слід розглядати як удосконалення вихідного варіанту. При цьому передбачається

зміна будь-яких техніко-експлуатаційних характеристик з метою підвищення його ефективності.

Оцінка варіанту при розробці технічного завдання на проектування проводиться, як правило, за допомогою умовних показників, таких як модулі головних розмірів, коефіцієнтів утилізації, енергоозброєності, якості гідродинамічного комплексу, вагових показників, коефіцієнтів використання вантажопідйомності, вертикальної проникності, металоємності. Тут слід відмітити, що потрібно звертати серйозну увагу на те, щоб другорядні з точки зору економічної ефективності заходи з удосконалення судна не вплинули негативно на його найголовніші якості.

Як початкові дані беруть сіткові техніко-експлуатаційні характеристики судна і експлуатаційно-економічні умови визначальної лінії перевезень, яка встановлюється для даного типу судна за результатами обґрунтувань сітки типорозмірів. Характеристики розрахункової лінії уточнюються на основі вивчення даних експлуатації, прогнозних схем організації і технології перевезень і вантажних робіт, планів розвитку судноплавних шляхів тощо.

Варіювання на даній стадії проектування проводиться як за основними характеристиками – вантажопідйомності, пасажиромісткості, швидкості, архітектурно-конструктивного типу, так і за частковими ознаками – родом будівельного матеріалу, оснащеністю вантажними засобами, головними розмірами, осадкою, елементами теоретичного креслення, типам двигунів тощо. Також повинна приділятися увага заходам, які визначають ступінь експлуатаційної надійності судна, а також виявленню додаткових витрат, пов'язаних із забезпеченням надійності на протязі усього строку служби судна.

З метою забезпечення надійності судна в завдання повинні бути зафіксовані такі показники, як: строк служби, імовірність безвідказної роботи в навігаційному періоді, середній час безвідказної роботи судна і відновлення його проектних характеристик, число календарних ремонтів і ремонтна

схема, міцнісні характеристики корпусу судна; тип рушійно-рульового комплексу, відносний діаметр сталої циркуляції, рекомендовані засоби підвищення керованості; амплітуда бортової хитавиці, характеристики непотоплюваності та остійності, критерій видимості з рульової рубки, характеристики засобів спостереження, управління і зв'язку; граничне значення нормативу додаткових витрат, пов'язаних із забезпеченням надійності.

1.1.6 Структура і послідовність розробки проекту. Проектна документація

У сучасній практиці проектування судна прийнята послідовність розробки проекту, в основі якої лежить метод послідовних наближень. Таку послідовність традиційно називають стадіями. Стадії проектування малотоннажного судна включають: розробку технічного завдання на проектування і супутнє йому передескізне проектування, яке зараз прийнято називати передконтрактним, оскільки воно передуює укладанню контракту; підбір матеріалів для розробки проекту на основі затвердженого технічного завдання; розробку ескізного і технічного проектів і створення робочих креслень.

Поділ процесу проектування на вказані стадії є умовним, оскільки у кожному конкретному випадку схема розробки проекту може змінюватися в залежності від ступеню деталізації технічного завдання, наявності або відсутності сіткового типорозміру суден, ступеню новизни проектуваного судна, досвіду, накопиченого проектною організацією, індивідуальних навичок проектувальників тощо. Внаслідок цього деякі стадії проектування можуть бути відсутні, а часткові прийоми, які є характерними для визначеної стадії, можуть використовуватися на іншій стадії розробки проекту.

Ескізний проект, який служить основою для розробки технічного проекту, може бути представлений у двох – трьох варіантах. Його розробці передуює збирання матеріалу, в першу чергу передбачуваного району експлуатації, характеру обслуговування суден, вантажопотоків тощо.

До складу ескізного проекту включають: пояснювальну записку з обґрунтуванням основних рішень; теоретичне креслення, схему загального розташування судна; схеми набору корпусу, розрахунки по корпусній і механічній частинам, розрахунки експлуатаційно–економічних показників. Ескізний проект розглядається замовником, заінтересованими організаціями, а в окремих випадках – і наглядовими організаціями. За отриманими зауваженнями проектна організація розробляє обґрунтовані рішення, погоджені з замовником, отримує його позитивне рішення і приступає до розробки технічного проекту.

Технічний проект розробляється проектною організацією в обсязі, який дає можливість оформити договірні відношення між заводом-будівником і замовником, замовити обладнання і матеріали для побудови головного судна і почати розробку робочих креслень. Зміст технічного проекту регламентується Правилами Регістру [2]. Як правило, він містить договірну документацію, розрахунки, креслення, документацію на замовлення і опис технологічного процесу. Одним з основних документів договірної документації є загальносуднова специфікація, яка складається з трьох частин: корпусної, механічної і електромеханічної. У загальносудновій специфікації наводяться: гарантійні дані про осадку судна, про його швидкість або тягу, остійність, непотоплюваність та інші експлуатаційні характеристики; дані, які характеризують конструкцію корпусу, енергетичну установку, суднові пристрої, склад електростанції і електрообладнання, устаткування і опорядження приміщень, забезпечення судна. Загальносуднова специфікація є невід’ємною частиною договору на побудову судна і основним документом при його прийманні. До договірної документації входять також креслення загального розташування судна, на яких показується розміщення приміщень у корпусі, надбудовах, рубках, на палубах і містках судна. Креслення загального розташування складаються з бокового виду, поздовжнього перерізу, планів трюму, палуб, надбудови, рубок, містків, а при необхідності і поперечних перерізів.

Усі розрахунки поділяються на:

загальносуднові, які містять розрахунки плавучості, початкової остійності, осадки і диференту для різноманітних випадків навантаження; розрахунки остійності на великих кутах крену, розрахунки непотоплюваності, загальної і місцевої міцності корпусу; розрахунки швидкості, тягових характеристик і керованості, навантаження мас, рівня шуму, місткості з визначенням центра ваги відсіків і суднових пристроїв;

по механічній частині, які містять: розрахунки валопроводу, продуктивності насосів, що обслуговують енергетичну установку і суднові системи; вибір допоміжних механізмів, які обслуговують енергетичну установку і системи, розрахунок теплообмінників; розрахунки трубопроводів, поверхні нагріву допоміжних та утилізаційних котлів; необхідних запасів і відповідних цистерн для палива, мастила, води;

по електротехнічній частині: розрахунки режимів навантаження електростанції, мережі каналізації, освітлення, радіоустаткування.

Ступінь розробки креслень технічного проекту містить відомості замовлення механічного обладнання, ділних речей, палубних механізмів, електрорадіообладнання, арматури, обладнання для приміщень, запасних частин, а також проектних норм витрати матеріалів. Якщо при розробці технічного проекту виявляється, що на судні повинен бути встановлений механізм або виріб, який промисловістю не виготовляється, необхідно розробляти його технічний проект, а дослідний зразок такого механізму виготовити до початку побудови судна.

Технічний проект служить для розробки робочих креслень, які виконуються проектною організацією по договору з заводом-будівником. Відповідно до встановленої практики робочі креслення розробляються тільки для побудови головного судна серії. Креслення створюються у відповідності з діючими нормативними документами і узгоджуються з інспекцією Регістру судноплавства.

На цій стадії розробляється також технологічна документація, відомості замовлення обладнання і матеріалів, виконавча документація і різноманітні інструкції з експлуатації. Обсяг технологічної документації узгоджується з заводом-будівником. До складу виконавчої документації входять: креслення загального розташування судна і машинного відділення; конструктивне креслення мідель-шпангоута; таблиці зварювання; специфікації, відомості замовлення, програми випробувань головного судна, розрахунки навантаження мас, осадки та диференту, креслення вантажної марки. Терміни подання креслень заводу-будівнику визначаються за графіком, який узгоджується між заводом і проектною організацією.

Після закінчення побудови головного судна проводяться його випробування і приймання комісією, до складу якої обов'язково входить представник проектною організації. Дослідження завершуються складанням акту приймання, до якого додається перелік зауважень по головному судну, які підлягають усуненню при побудові серії.

Останньою стадією проектування є розробка робочих креслень для серійної побудови суден. При коригуванні робочих креслень в першу чергу враховуються зауваження приймальної комісії по головному судну.

1.2 Загальна методика проектування малотоннажних суден

1.2.1 Класифікація елементів проектного судна

При проектуванні малотоннажних суден з метою упорядкування і зручності їх елементи можуть бути поділені на відомі, невідомі та параметри, а також на головні та другорядні.

Відомі елементи, кількість і склад яких залежить від типу судна, як правило, обумовлюються у завданні на проектування. Стосовно вантажних суден як обов'язкові обумовлюються: чиста вантажопідйомність P , або повна вантажопідйомність (дедвейт) DW судна; питомий навантажувальний об'єм; швидкість судна; дальність плавання або автономність (число діб, на яке судно забезпечене паливом, водою).

До невідомих елементів завдання можуть бути віднесені: водотоннажність судна D , чиста місткість вантажних трюмів або вантажомісткість судна V_C , потужність головних двигунів N ; головні розміри судна: довжина по конструктивній ватерлінії $L_{\text{КВЛ}}$ при осадці судна з повним вантажем; ширина B на мідель-шпангоуті на рівні конструктивної ватерлінії; висота борту H , виміряна на мідель-шпангоуті; осадка T по конструктивну ватерлінію; коефіцієнти, які характеризують форму обводів корпусу. Три найважливіші для судна характеристики D , V_C і N традиційно прийнято називати узагальненими невідомими [3], оскільки кожна з них є функцією інших невідомих і відомих величин.

Вказані узагальнені невідомі D , V_C і N , головні розміри $L_{\text{КВЛ}}$, B , H , осадка T , коефіцієнти α , β і δ прийнято відносити до головних елементів судна. Інші невідомі є другорядними.

Число рівнянь, які складаються для визначення головних елементів судна, як правило, менше числа невідомих, що підлягають визначенню. Тому в даному випадку має місце невизначеність задачі, у зв'язку з чим деякі з невідомих величин повинні бути вибрані довільно. Такі величини прийнято називати параметрами. Слід відмітити, що параметри лише умовно можна віднести до незалежних змінних, так як довільність їх вибору у багатьох випадках обмежена. До параметрів можна віднести, наприклад, метacentричну висоту, диферент судна, площу парусності тощо.

Наведена класифікація елементів судна, як і будь-яка інша класифікація, не є вільною від умовностей, оскільки окремі невідомі змінні і деякі параметри можуть бути обумовлені у завданні, в зв'язку з чим вони переходять до групи відомих, так як і деякі невідомі змінні можуть перейти до групи параметрів. Так, при проектуванні малотоннажних суден головні розміри L і B можуть бути заданими виходячи з умов, наприклад, перевезення на залізничній платформі або шлюзування, у зв'язку з чим вони переходять до групи відомих. Тут слід, однак, відзначити, що якщо такі невідомі змінні задаються з обмовою "не більше" або "не менше", то їх залишають у

групі узагальнених змінних. В завданні на проектування може бути точно обумовлена і осадка судна, яка у даному випадку переходить до групи відомих елементів. Якщо ж у завданні обумовлюється лише гарантована глибина фарватеру, то осадка може варіюватися і тим самим перейти до групи параметрів. Встановлена у завданні метацентрична висота також у даному випадку відноситься до групи відомих величин тощо.

1.2.2 Сучасні методи проектування

Процес проектування судна є дуже складним процесом, що в основному обумовлено суперечливістю низки вимог технічного завдання. Так, у відповідності з вимогами непотоплюваності слід намагатися збільшити число водонепроникних перебірок, однак на пасажирських суднах це може обмежити переміщення пасажирів, а на вантажних суднах утруднити вантажні роботи. Ще одним прикладом цього є намагання поліпшити остійність судна, яке приводить до різкої, поривчастої хитавиці, недопустимої з експлуатаційної точки зору.

Одним з найважливіших питань проектування є установлення в умовах пошуку компромісу головних елементів судна, від яких залежать його основні навігаційні і експлуатаційні якості. Ця задача вирішується в основному за допомогою аналітичного методу з використанням як допоміжних статистичного методу, методу порівняння, окремим випадком якого є метод прототипу, і диференціального. Іноді, виходячи з особливостей технічного завдання, один із допоміжних може бути взятий як допоміжний.

Аналітичний метод – метод математичного аналізу, в якому широко використовуються системи рівнянь, що виражають функціональні залежності між елементами проектного судна і елементами завдання [4, 5]. Вказані залежності містять відомі і невідомі величини та параметри.

Аналітичний метод при практичному проектуванні, як правило, сполучається зі статистичним методом. Останній широко використовує дані, отримані з досвіду проектування, побудови і експлуатації суден заданого

призначення. Отримуючи подібні дані, дотримуються наступних умов: числові величини, взяті на основі статистичної обробки, повинні ґрунтуватися на визначених і вивірених даних по достатньо великій кількості суден; судна, по яким підбираються статистичні дані, повинні мати однакові призначення і архітектурно-конструктивний тип з проєктованим судном і повинні експлуатуватися в аналогічних умовах; усі необхідні числові величини повинні бути отримані обробкою одними і тими прийомами; використовуючи для першого наближення статистичні різноманітні характеристики і показники, не слід базуватися тільки на середніх показниках, необхідно сприймати їх критично, тобто з точки зору особливостей завдання і отримання оптимальних експлуатаційно-технічних показників для проєктованого судна.

Як приклад сполучення аналітичного і статистичного методів може служити визначення у початкових стадіях проєктування, коли ще відсутнє теоретичне креслення, значення поперечної метацентричної висоти за допомогою рівняння початкової остійності. У цьому випадку підвищення центра величини судна z_c над основною площиною встановлюють, прийнявши побудовну по ватерлініям у вигляді математичної кривої, яка якнайкраще відповідає обрису побудовної для суден проєктованого типу. Аналогічно задаються обводами вантажної ватерлінії, що дозволяє розрахувати її момент інерції відносно поздовжньої осі.

Метод порівняння оснований на співставленні даних технічного завдання з даними проєктів суден, які аналогічні проєктованим, а також з даними по побудові і експлуатації цих суден. На основі аналізу результатів співставлення цих даних проводиться вибір головних елементів проєктованого судна.

Окремим випадком методу порівняння є метод прототипу, який використовується у тих випадках, коли вимогам технічного завдання досить близько задовольняє будь-яке з побудованих або запроектованих су-

ден. Взявши це судно як прототип, в проект вносять лише ті зміни, які обумовлені вимогами технічного завдання.

З причини дуже великого числа невідомих величин аналітичні прийоми проектування, навіть при широкому використанні статистичних матеріалів, дають, як правило, тільки наближене рішення задачі, яке потребує подальших уточнень. Таке уточнення досягається за допомогою методу послідовних наближень, який отримав широке визнання в практиці проектування суден.

На прикладі найважливішої часткової задачі – визначення головних елементів проектного судна – метод послідовних наближень можна охарактеризувати наступними основними положеннями:

визначеною послідовністю різноманітних наближень;

використанням для перших наближень функціональних залежностей, що містять мінімальну кількість змінних, серед яких є невідомі величини і параметри;

послідовним збільшенням для наступних наближень числа змінних шляхом поступового введення в задачу раніше відкинутих другорядних невідомих величин;

розумінням ступеню точності формул, які установлюють функціональні залежності між окремими змінними, що, як правило, мають наближений характер із-за наявності в них емпіричних і статистичних коефіцієнтів.

Метод послідовних наближень, як правило, сполучається з методом варіацій, що дозволяє вже на початковій стадії проектування за допомогою порівняльного критичного аналізу виділити з низки сполучень головних елементів судна, які задовольняють основним вимогам завдання, їх найвигіднішого значення, тобто оптимальний варіант. Методом варіацій, який забезпечує багатозначне рішення, широко користуються в практиці проектування. Тут слід відмітити, що вибір для варіювання тільки тих характеристик даного типу судна, які визначають його найважливіші навігаційні та експлуатаційні якості.

Суттєвим недоліком методу варіацій, який обмежує кількість варіантів, є великий об'єм робіт. В окремих випадках це обмеження може привести до того, що до варіантного ряду не буде включений оптимальний варіант головних елементів судна. Накопичений на даний час досвід використання ЕОМ значно розширює можливості методу варіацій, а використання методів математичного моделювання і програмування взагалі піднімає на новий рівень задачу вибору оптимальних головних елементів судна.

Диференціальний метод зараз використовується виключно при дослідницькому проектуванні, а також у процесі експлуатаційно-економічного обґрунтування технічних завдань на проектування судна. У будь-якому випадку для проектувальника важливо знати не абсолютні значення аналізованих експлуатаційно-технічних і економічних характеристик судна, а закономірності їх зміни при варіюванні тих або інших елементів завдання на проектування. Сутність диференціального методу заключається у тому, що елементи основного варіанту судна, яке досліджується і приймається у подальшому як судно-прототип, визначаються будь-яким методом, а елементи інших варіантів – шляхом знаходження додатних і від'ємних приростів до числових значень відповідних елементів основного варіанту. Ці прирости отримують в результаті зміни тих або інших елементів завдання.

Як правило, аналітичне визначення елементів судна повинно супроводжуватися деякими графічними розробками, які включають ескізне теоретичне креслення і схематичні креслення загального розташування.

1.2.3 Вимірники маси проектного судна

Найважливішим питанням проектування суден є достовірне визначення мас, які складають водотоннажність судна. Від точності розрахунку статей навантаження судна залежать: встановлення водотоннажності судна, визначення його елементів, правильність усіх наступних розрахунків морехідних якостей і міцності. Визначення складових мас необхідно виконувати по етапах, які відповідають стадіям проекту. На передескізній стадії

звичайно передбачається укрупнена постатейна розбивка складових водотоннажності. У цьому випадку визначення складових мас судна виконується наближеними методами, створеними на основі формул, до складу яких входять відносні масові коефіцієнти (вимірники), отримані шляхом опрацювання статистичних даних по прийнятних прототипах. Маса вантажу, пасажирів, екіпажу, запасів води, провізії з достатньою точністю можна визначити виходячи з вимог технічного завдання. Визначити водотоннажність судна на цій стадії шляхом точних розрахунків навантаження неможливо не тільки через відсутність необхідних креслень, але і тому, що елементи судна є в цей час ще невідомими. Тому виникає необхідність зв'язати окремі маси, що входять у навантаження, з водотоннажністю судна, його елементами і заданими вимірниками. Формули, які конкретизують загальний вид подібних залежностей, називаються модулями. Вимірник у цьому випадку є коефіцієнтом пропорційності, що зв'язує модуль з масою статті.

При проектуванні судна вимірники маси судна зручно поділяти на дві групи: загальні (укрупнені) вимірники маси корпусу і механізмів і часткові вимірники окремих статей навантажень, які входять в масу корпусу та енергетичної установки судна. Модулем для укрупненого вимірника маси корпусу, як правило, служать водотоннажність судна з повним вантажем D , водотоннажність порожнього судна D_0 і добуток головних розмірів LBH (кубічний модуль), а для укрупненого вимірника маси механізмів – потужність головних двигунів N . У відповідності з цим укрупнені вимірники маси корпусу можуть бути виражені як

$$a_K = P_K / D; a_{K0} = P_K / D_0; q_K = P_K / LBH,$$

де P_K – маса корпусу з обладнанням.

Укрупнений вимірник маси механізмів може бути представлений як

$$q_M = P_M / N,$$

де P_M – маса механізмів.

Часткові вимірники маси по окремим статтям навантаження, які входять до складу маси корпусу P_K і механізмів P_M , характеризуються величинами, віднесеними до відповідних модулів. Ці модулі вибирають виходячи з розподілу відповідних статей навантаження по об'ємам і площам, які виражаються головними розмірами корпусу судна. Такими модулями, наприклад, для корпусу будуть LBH , $(LBH)^{2/3}$, $\delta^{1/3}LBH$, LBT , LB , $L(B+H)$; для механізмів – N , L_{MB} , B_{MB} (де L_{MB} , B_{MB} – відповідно довжина і ширина машинного відділення). Модулі LBH і $\delta^{1/3}LBH$ використовуються в основному для металевих корпусу. За наявності металічних надбудов висота борту замінюється зведеною висотою борту H_1 , яка дорівнює $H_1 = H + \sum_{i=1}^n l_i h_i$,

де l_i і h_i – довжина і висота надбудови i , n – число надбудов. Разом з модулями LBH і $\delta^{1/3}LBH$ для вимірників маси металічного корпусу використовуються модулі

$$L^{1.25} B^{0.75} H^{0.5} \delta^{1/3}; L^{5.3} H; D^{2/3}; (LBH)^{2/3}.$$

Для статей навантаження "Суднові пристрої, палубні механізми і дільні речі" можна використовувати модулі LB , LBT , $(LBH)^{2/3}$, для статті "Пофарбування, цементування, ізоляція" – модулі $L(B+H)$ і $(LBH)^{2/3}$, для статті "Трубопроводи машинного відділення" – модуль $L_{MB} B_{MB}$ тощо.

Модуль повинен вибиратися для будь-якої статті навантаження у відповідності з характеристиками судна. Так, для однопалубного судна без надбудов як модуль для статей навантаження "Системи" можна прийняти LB , а для судна з багатоярусними надбудовами – модуль $L(B+H)$.

Для того, щоб підвищити точність розрахунків, в яких використовуються дані по навантаженням мас побудованих і спроектованих суден, необхідно виконувати наступні вимоги:

притримуватися єдиної системи у розбивці мас корпусу і механізмів по групам навантаження і однакових вимог до загальної і місцевої міцності корпусу;

враховувати насиченість судна різноманітним обладнанням і характеристики цього обладнання;

підбирати прототипи з однаковими типами енергетичної установки, судових пристроїв і палубних механізмів;

добиватися отримання близьких значень числових значень співвідношень L/H , B/H , T/H і відносно близьких значень відповідних модулів у проектного судна і прототипу. Слід відмітити, що у даному випадку повинно бути проявлене критичне відношення до суден-прототипів, що дозволить, базуючись на кращі зразки, отримати оптимальні вимірники для проектного судна.

Характерний склад навантаження мас і значення вимірників мас для різноманітних типів суден внутрішнього плавання наведені в третій частині посібника.

1.2.4 Рівняння мас судна і його види

Рівняння мас судна може бути представлене у загальному виді так

$$D = \sum_{i=1}^n P_i + DW, \quad (1.6)$$

де D – водотоннажність судна; $\sum_{i=1}^n P_i$ – сума постійних складових маси судна; DW – дедвейт (сума змінних мас, які змінюються в процесі експлуатації судна) :

$$DW = \sum P_N + DW_0, \quad (1.7)$$

$\sum P_N$ – сума змінних мас, які залежать від потужності головних двигунів:

$$\sum P_N = P_{\Pi} + P_M + P_{ЖВ}, \quad (1.8)$$

P_{Π} – маса палива; P_M – маса мастила; $P_{ЖВ}$ – маса живильної води (для котельної установки, якщо вона є на судні).

Друга складова DW_0 в рівнянні (1.7) включає усі статті змінних мас, які не залежать від потужності N , тобто: масу вантажу, що перевозиться P (чиста вантажопідйомність); пасажирів $P_{\text{ПАС}}$ і команди $P_{\text{КОМ}}$; масу провізії $P_{\text{ПР}}$; масу питтєвої і санітарної води $P_{\text{В}}$ тощо:

$$DW_0 = P + P_{\text{ПАС}} + P_{\text{КОМ}} + P_{\text{ПР}} + P_{\text{В}} + \dots \quad (1.9)$$

Сума постійних мас $\sum_{i=1}^n P_i$ розбивається на дві укрупнені статті, такі як маса корпусу $P_{\text{К}}$ і маса механізмів $P_{\text{М}}$. Тоді з урахуванням (1.6) – (1.9)

$$D = P_{\text{К}} + P_{\text{М}} + P_{\text{П}} + P_{\text{М}} + P_{\text{ЖВ}} + P + P_{\text{ПАС}} + P_{\text{КОМ}} + P_{\text{ПР}} + P_{\text{В}} + \dots + \Delta D, \quad (1.10)$$

де ΔD – запас водотоннажності.

Сумарний запас палива і мастила

$$P_{\text{Т}} + P_{\text{МС}} = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1.11)$$

де P_1 – маса палива і мастила для головних двигунів; P_2 – маса палива і мастила для допоміжних і палубних механізмів, а також для опалення та господарських потреб у ході; P_3 – маса палива, які витрачаються на стоянках.

Величина P_1 виражається як

$$P_1 = (1 + k_1)(q_{\text{П}} + q_{\text{МС}}) \frac{R_{\text{С}}}{10^3 v_{\text{Б}}} N,$$

де $q_{\text{П}}$ – питомі витрати палива; $q_{\text{МС}}$ – питомі витрати мастила; $R_{\text{С}}$ – дальність плавання без поповнення запасів палива, км (для морських переходів – в морських милях); $v_{\text{Б}}$ – швидкість судна відносно берега, км/год (для морських переходів v відносно тихої води, вуз); N – потужність головних двигунів, кВт; k_1 – коефіцієнт запасу, який враховує витрати палива і мастила при відхиленні судна від нормального суднового ходу за метеорологічними умовами, , як правило, $k_1 = 0,1..0,15$.

Величина P_2 виражається як

$$P_2 = k_2 P_1,$$

де $k_2 = 0,15..0,20$ – коефіцієнт, який враховує витрати палива допоміжними і палубними механізмами і на господарчі побутові потреби.

Величина P_3 виражається як

$$P_3 = k_3 P_1,$$

де $k_3 = 0,1..0,2$ (більші значення відносяться до суден меншої потужності; за наявності вантажних пристроїв k_3 може досягати значення 0,3).

З урахуванням наведених залежностей для P_1 , P_2 і P_3 , рівняння (1.11) можна представити у вигляді

$$P_T + P_{MC} = (1 + k_1)(1 + k_2 + k_3)(q_{\Pi} + q_{MC}) \frac{R_s}{10^3 v_B} N. \quad (1.12)$$

Для малотоннажних суден, які не мають власних вантажних пристроїв, сумарну величину $(1 + k_1)(1 + k_2 + k_3) = k$ у першому наближенні можна прийняти $k = 1,35..1,50$.

Для більш точного розрахунку запасів палива слід використовувати значення питомих витрат палива в залежності від циліндрової потужності головних двигунів, дані про які наведені у додатку.

З урахуванням наведених залежностей рівняння мас можна представити у вигляді

$$D = P_K + P_M + k(q_{\Pi} + q_{MC}) \frac{R_s}{10^3 v_B} N + DW_0 + \Delta D. \quad (1.13)$$

Запас водотоннажності ΔD для малотоннажних суден приймається згідно з близьким прототипом.

Дальність плавання R_s , розрахункова швидкість судна v (v_B), чиста вантажопідйомність P і маса пасажирів $P_{\text{ПАС}}$, як правило, встановлюються завданням на проектування. Якщо в завданні обумовлюється кількість діб S , на яку повинен бути прийнятий запас палива, то в рівнянні (1.13) замість

$\frac{R_s}{10^3 v_B}$ вводиться множник $24S$. Інші величини, які входять в рівняння

(1.13), беруться так: маса екіпажу з багажем $P_{\text{КОМ}}$ і маса провізії $P_{\text{ПР}}$ приймаються у відповідності з діючими нормами; маса питтєвої і санітарної води P_B підраховується за Санітарними правилами.

Далі наводяться деякі модифікації рівняння мас.

Величина $k(q_{\text{п}}+q_{\text{мс}})\frac{R_s}{10^3 v_B} N = A$ виражає витрати палива і мастила на 1 кВт при дальності плавання R_s без поповнення запасів. Враховуючи це і використовуючи вимірники мас $a=P_K/D$ і $p_M=P_M/N$, рівняння (1.13) рівняння мас можна виразити у вигляді

$$D=aD+p_MN+AN+DW_0+\Delta D,$$

або остаточно

$$D[1-(a+\Delta)]=(p_M+A)N+DW_0. \quad (1.14)$$

Якщо виразити P_K через вимірник $p_K=P_K/LBH$ і поділити його на $D=\gamma\delta LBT$, отримаємо формулу для маси корпусу у вигляді

$$P_K = p_K \frac{1}{\gamma\delta} \frac{H}{T} D. \quad (1.15)$$

З урахуванням (1.15) рівняння (1.14) можна представити у вигляді

$$D[1-(p_K \frac{1}{\gamma\delta} \frac{H}{T} + \Delta)]=(p_M+A)N+DW_0. \quad (1.16)$$

Слід відмітити, що для того, щоб підвищити точність визначення маси судна, у перших наближеннях не слід притримуватися будь-якої стандартної форми рівняння мас: її необхідно підбирати з урахуванням конкретних відомих даних по побудованим суднам і їх проектам.

Використовуючи вимірники мас і адміралтейську формулу потужності $N=D^{2/3}/v^3/C$, з рівняння мас, вирішивши його будь-яким придатним способом [6], отримаємо $D=P_K+P_M+DW$, а потім

$$\frac{P_K}{D} + \frac{P_M}{D} + \frac{DW}{D} = 1.$$

Відношення DW/D традиційно називають коефіцієнтом утилізації водотоннажності по дедвейту: $\eta_{DW}=DW/D$, а відношення $\eta_P = P/D$ – коефіцієнтом утилізації водотоннажності по чистій вантажопідйомності. Останній коефіцієнт називають також коефіцієнтом утилізації по чистому вантажу або просто коефіцієнтом чистого вантажу.

Якщо η_{DW} – коефіцієнт утилізації по дедвейту для судна прототипу, то для проєктованого судна, яке має дедвейт DW_1 , водотоннажність можна знайти, якщо прийняти $\eta_{DW1} = \eta_{DW}$, як

$$\frac{DW_1}{D_1} = \eta_{DW}, \quad (1.17)$$

або

$$D_1 = \frac{DW_1}{\eta_{DW}}.$$

Формула (1.15) використовується для визначення водотоннажності проєктованого судна на початкових стадіях проєктування.

Таким самим чином можна знайти водотоннажність проєктованого судна D_1 за допомогою коефіцієнта утилізації по вантажопідйомності прототипу η_P :

$$D_1 = \frac{P_1}{\eta_P}, \quad (1.18)$$

де P_1 – вантажопідйомність проєктованого судна, вказана у завданні.

Слід відмітити, що наведений спосіб визначення водотоннажності дає задовільні результати тільки для однотипних суден, у яких водотоннажність, число Фруда і дальність плавання незначно відрізняються від аналогічних значень у судна-прототипу.

Рівняння мас судна (1.14), (1.14) мають дві невідомі величини D і N . Для їх визначення необхідно мати друге рівняння. Таким рівнянням може бути загальновідома залежність виду

$$N = \frac{D^m v^n}{C}, \quad (1.19)$$

де N – потужність головних двигунів; C – адміралтейський коефіцієнт. Значення цього коефіцієнта є досить стабільним для суден даного типу, які лише незначно відрізняються один від одного формою обводів, відношенням головних розмірів, числом Фруда тощо.

Як відомо [5,7,8], буксирувальна потужність з найбільшою точністю апроксимується залежністю типу (1.19) призначення показників ступеню $m=2/3$ і $n=3$. Тому залежності такого типу доцільно використовувати саме з вказаними значеннями m і n . Така формула, як відомо, зветься адміралтейською:

$$N = \frac{D^{2/3} v^3}{C}, \quad (1.20)$$

Різновидностями цієї формули є формула Енслі

$$N_E = \frac{D^{1/2} v^3}{C_E}, \quad (1.21)$$

і формула Давидова

$$N_D = \frac{D^{1/2} v^{3.25}}{C_D}, \quad (1.22)$$

Адміралтейська формула при вдало підібраних значення х коефіцієнта C досить успішно використовується для визначення у перших наближеннях потужності енергетичної установки вантажних, пасажирських робочих, водолазних, промислових малотоннажних суден і суден внутрішнього плавання. Однак формулу (1.20) не можна використовувати, наприклад, для буксирів-штовхачів (див.[1]) і швидкохідних суден. Формулами (1.21) і (1.22) також слід користуватися обережно, оскільки, як показано в [1], адміралтейські коефіцієнти прототипу за цими формулами не дорівнюють таким для проектного судна.

Рішення формули (1.20) сумісно з рівнянням мас судна, приводить до кубічного рівняння виду $x^3 - bx^2 = l$, а формули (1.21) – до квадратичного рівняння виду $x^2 - bx - l = 0$. Внаслідок меншої точності порівняно з (1.20) формула (1.21) може бути використана лише на попередніх стадіях експлуатаційно-економічного аналізу.

Слід також відмітити, що навіть при відносно близьких значеннях числа Фруда і відносної довжини, як показують дослідження багатьох авторів, адміралтейські коефіцієнти для суден різного призначення суттєво ві-

дрізняються один від одного, і тому при їх виборі слід бути обережними. У даному випадку замість осереднених даних доцільно використовувати проектні матеріали, результати серійних досліджень моделей тощо.

1.2.5 Диференціальні способи Нормана та Бубнова

Диференціальний спосіб Нормана для визначення водотоннажності заключається у визначенні приростів водотоннажності dD до водотоннажності прототипу. Сутність його у наступному.

Наведемо у загальному вигляді рівняння водотоннажності судна D

$$D = P_1 + P_2 + P_{n-1} + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (1.23)$$

де $P_i = f(D, x, y, \dots, a, b, \dots)$; x, y – невідомі, ті, які необхідно знайти, величини; a, b – відомі величини, визначені завданням.

Якщо розглядати у рівнянні (1.23) статті навантаження P_i як незалежні змінні, можна отримати повний диференціал рівняння мас:

$$dD = dD \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial D} + dx \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial x} + dy \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial y} + \dots + da \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial a} + db \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial b} + \dots$$

звідки

$$dD = \frac{dx \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial x} + dy \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial y} + \dots + da \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial a} + db \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial b} + \dots}{1 - \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial D}} \quad (1.24).$$

Коефіцієнтом Нормана зветься величина $\eta_H = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial D}}$, яка для

суден різних типів знаходиться у межах від 1,2 до 5,0.

Прийmemo рівняння мас судна у загальному вигляді $D = P_K + P_{\Pi} + P_M + DW_0$, де P_K – маса корпусу з обладнанням; P_{Π} – маса палива (мастило не враховується); P_M – маса механізмів; DW_0 – дедвейт без палива, значення якого встановлюється коригуванням аналогічного дедвейту прототипу.

Подамо функціональні залежності вказаних статей навантаження у вигляді

$$P_K = aD = f_1(a, D),$$

$$P_M = p_M N = p_M D^{2/3} v^3 / C = f_2(p_M, v, D),$$

$$P_{II} = (1+k) q_{II} R_S / v 10^{-3} N = (1+k) q_{II} R_S 10^{-3} D^{2/3} v^2 / C = f_3(q_{II}, v, R_S, D),$$

беручи до уваги, що адміралтейський коефіцієнт C у межах зміни водотоннажності, що розглядається, зберігає постійне значення, а запас палива розрахований на повний рейс R_S . Тоді у відповідності з (1.24), залишаючи числові значення окремих характеристик прототипу без індексу, а числові значення тих же характеристик проектного судна з індексом 1, будемо мати

$$dD = \left[\frac{P_K}{a} (a_1 - a) + \frac{P_M}{p_M} (P_{M1} - P_M) + 3 \frac{P_M}{v} (v_1 - v) + \frac{P_{II}}{q_{II}} (q_{II1} - q_{II}) + \right. \\ \left. + 2 \frac{P_{II}}{q_{II}} (v_1 - v) + \frac{P_{II}}{R_S} (R_{S1} - R_S) + (DW_{01} - DW_0) \right] \frac{1}{1 - \left(a + \frac{2}{3} \frac{P_M + P_G}{D} \right)}. \quad (1.25)$$

Відмітимо, що у виразі (1.25) коефіцієнт Нормана має вигляд

$$\eta_H = \frac{1}{1 - \left(a + \frac{2}{3} \frac{P_M + P_G}{D} \right)} \quad (1.26)$$

Значення приросту водотоннажності dD може бути отримане від'ємним або додатнім. Знак “+” або “-” перед dD вказує на те, що в результаті додатних або від'ємних приростів до окремих статей навантаження прототипу здійснилося збільшення або зменшення водотоннажності D проектного судна на $\pm dD$ по відношенню до водотоннажності прототипу. Тому водотоннажність проектного судна визначиться як $D_1 = D \pm dD$.

З рівняння (1.25) видно, що при зміні однієї із статей навантаження судна приріст водотоннажності дорівнює приросту маси цієї статті, помноженому на коефіцієнт Нормана $\eta_H > 1$.

Додатні або від'ємні прирости окремих статей навантаження мас судна-прототипу порівняно з даними технічного завдання на проектуване судно може мати місце при зміні швидкості ходи судна, дальності плавання, вантажопідйомності, а також внаслідок зміни конструкції корпусу (використання легких сплавів, льодових підкріплень, установлення додаткових перебірок, платформ) або підсилення набору і обшивки корпусу при зміні класу судна.

Спосіб Нормана був розвинутий Бубновим [4, 5] і в його поданні дозволяє визначати не тільки водотоннажність, але й головні розміри судна за допомогою даних судна-прототипу. Не приводячи викладення способу, Бубнова, відмітимо, що його використання можливе тільки при тих умовах, при яких використовується спосіб Нормана, тобто: судно-прототип і проектуване судно за призначенням і архітектурним типом повинні бути однаковими, а за водотоннажністю близькими один до одного; енергетичні установки обох суден повинні бути однотипними, а числа Фруда і дальність плавання відрізнятися незначно; дані по навантаженням судна-прототипу повинні бути добре перевірені.

Слід відмітити ту особливість використання наведених методів, що якщо проектувальник не має перевірених даних по судну-прототипу або прототип взагалі відсутній, то спочатку встановлюють головні елементи і вагові характеристики основного варіанту, який у подальшому приймається за судно-прототип. При цьому у низці варіантів, що досліджується, судно прототип береться як середній варіант, а елементи інших варіантів отримують, визначаючи додатні і від'ємні прирости до елементів цього варіанту.

1.2.6 Вантажопідйомність і місткість малотоннажних суден

Від вантажопідйомності та вантажомісткості судна залежить кількість вантажу, яка може бути навантажена на судно. У практиці проектування малотоннажних суден і суден внутрішнього плавання використовують по-

няття чистої, або корисної, вантажопідйомності P , повну водотоннажність DW і питому вантажопідйомність p_0 .

Чиста вантажопідйомність на вантажних суднах складає масу вантажів, що перевозяться судном, на вантажопасажирських суднах до цього вантажу додається маса пасажирів з багажем; на пасажирських суднах до чистої вантажопідйомності входить тільки маса пасажирів з багажем.

У повну вантажопідйомність або дедвейт, окрім вантажів, які входять у чисту вантажопідйомність, включається маса екіпажу з багажем, маса води, харчових та інших запасів, маса палива і мастильних матеріалів для головних, допоміжних і палубних механізмів, маса живильної води для котлів, якщо вони є на судні.

Основними експлуатаційними характеристиками малотоннажних суден, які перевозять вантажі, прийнято вважати чисту і повну вантажопідйомності. В процесі експлуатації судна маса окремих статей навантаження, яка входять до повної вантажопідйомності, може змінюватися від максимального значення до нуля.

Важливим експлуатаційним показником є також питома вантажопідйомність p_0 , під якою розуміють масу корисного вантажу, що приходить на одну тонну водотоннажності судна з повним вантажем: $p_0 = P/D$. Відмітимо, що чисельне значення питомої вантажопідйомності дорівнює коефіцієнту утилізації по вантажопідйомності.

Місткість судна характеризують наступні величини:

місткість корпусу W_K – об'єм корпусу, визначений по теоретичному кресленню по головну палубу;

місткість бруто вантажних трюмів $W_{бр}$, яка являє собою сумарний об'єм вантажних трюмів, визначений по теоретичному кресленню між перебірками, які обмежують трюми: $W_{бр} = \sum_{i=1}^n W_{бpi}$, де n – число вантажних трюмів, а $W_{бpi}$ – об'єм бруто трюму i .

питома місткість брутто w_{bp0} , яка виражає відношення W_{bp} до чистої вантажопідйомності P : $w_{bp0}=W_{bp}/P$;

місткість нетто, або чиста місткість W_C , яка включає чистий сумарний об'єм вантажних трюмів: $W_C = \sum_{i=1}^n W_{Ci}$, де W_{Ci} – чиста місткість трюму i (без урахування об'єму набору, або об'єму поза огороженнями цього набору, кришок лял тощо);

питома вантажомісткість w_{co} , яка виражає відношення чистої місткості судна V_C до його чистої вантажопідйомності P : $w_{co}=W_C/P$;

коефіцієнт корисного використання місткості корпусу k_K , під яким розуміють відношення місткості брутто до місткості корпусу: $k_K=W_{bp}/W_K$;

коефіцієнт корисного використання місткості вантажних трюмів, який виражає відношення чистої місткості вантажного трюму до його місткості брутто. По відношенню до судна в цілому коефіцієнт корисної місткості вантажних трюмів k_0 є $k_0=W_C/W_{bp}$;

реєстрова місткість, яка являє собою об'єм судна, визначений у відповідності з Правилами обміру суден. Регістрова місткість вимірюється в умовних одиницях – реєстрових тоннах, які дорівнюють 100 куб. футам або 2,83 м³. Регістрову місткість поділяють місткість валову (брутто) і чисту (нетто).

Слід мати на увазі, що тільки деякі з малотоннажних суден і суден внутрішнього плавання, які виходять у морські прибережні зони, можуть підпадати під дію Правил обміру (реєстровою місткістю більше 500 р.т.).

Обмір суден проводиться в основному для визначення портових зборів і оплати різноманітних послуг, які надаються суднам (постановка у док, технічний огляд тощо). Основні збори оплачуються по чистій місткості, а послуги – по валовій. Місткість брутто береться до уваги при пред'явленні кваліфікаційних вимог до екіпажу, тарифікації заробітної плати екіпажу, а також у різноманітних законодавчих актах і для світової статистики.

В практиці проектування суден важливу роль відіграє рівняння місткості. Під рівнянням місткості розуміють залежності, в яких місткість виражена через головні елементи судна.

Враховуючи, що судна в районі розташування трюмів (середня частина), як правило, мають прямостінний борт або з незначним розвалом, яким у перших наближеннях нехтують, місткість корпусу W_K можна визначити за формулою:

$$W_K = V + S(H - T) + \Delta W_H + \Delta W_K + \Delta W_{B6}, \quad (1.27)$$

де V – об’ємна водотоннажність судна, м^3 ; T – осадка судна з повним вантажем, м ; H – висота борту на міделі, м ; S – площа вантажної ватерлінії, м^2 ; ΔW_H і ΔW_K – додаткові об’єми корпусу за рахунок носової і кормової сідлуватості, м^3 ; ΔW_{B6} – додатковий об’єм корпусу за рахунок вигину бімсів, м^3 .

Враховуючи незначний вплив поправок на сідлуватість і вигин бімсів у першому наближенні останніми трьома складовими рівняння (1.27) нехтують і тоді

$$W_K = V + S(H - T), \quad (1.28)$$

або після перетворень

$$W_K = V[1 + (S/V)(H - T)] = V[1 + (ST/V)(H/T - 1)] = V[1 + (1/\chi)(H/T - 1)], \quad (1.29)$$

де $\chi = \delta/\alpha$ – коефіцієнт вертикальної повноти.

З формули (1.29) видно, що для судна заданої водотоннажності, коли $V = \text{const}$, місткість корпусу залежить тільки від коефіцієнта χ і відношення H/T .

Якщо перетворити рівняння (1.29) і записати у вигляді

$$W_K = \delta LBT[1 + (\delta/\alpha)(H/T - 1)]$$

можна побачити, що при заданій водотоннажності і прийнятих значеннях H/T і α збільшення δ приводить до зменшення місткості корпусу, так як величина δLBT залишається постійною, а друга складова у квадратних дужках зменшується. Однак для судна, водотоннажність якого змінюється у

деяких межах, збільшення δ на місткості судна відбивається завжди позитивно.

Аналіз залежностей (1.28) і (1.29) з урахуванням обумовлених вище особливостей у відношенні H/T і α показує, що при $V=\text{const}$ питома місткість $w_{\text{бр}0}$ падає, якщо з ростом δ зменшуються відповідно L і B . Те ж саме може бути віднесене і до питомої вантажомісткості $w_{\text{со}}$.

При зменшенні L довжина форпіка, ахтерпіка і машинного відділення залишається незмінною, а довжина вантажних трюмів скорочується, що впливає на питому місткість брутто. При зменшенні B навіть скорочення довжини форпіка, що приводить до деякого збільшення довжини вантажних трюмів, не може компенсувати втрати місткості брутто вантажних трюмів.

1.3 Вимоги остійності при початковому проектуванні

1.3.1 Рівняння початкової остійності і його аналіз [1]

В теорії проектування суден рівнянням початкової остійності у загальному вигляді прийнято називати формулу

$$h_0 = z_c + r_0 - z_g.$$

Її можна використовувати за наявності теоретичного креслення для визначення h_0 , причому значення ординати центра величини z_c і поперечного метацентричного радіуса r_0 можна знайти для будь-якої осадки по кривим плавучості і початкової остійності, а ординати центра маси z_g – за даними розрахунку масового навантаження судна для основних випадків його експлуатації. У стадії ж початкового проектування, коли теоретичне креслення і дані по детальному навантаженню судна відсутні, z_c і r_0 визначають аналітичними методами, а z_g – за допомогою статистичних даних.

Ординату центра величини z_c можна знайти як ординату центра маси побудовної по ватерлініях, обриси якої задаються у вигляді математичної кривої, яка найбільше наближається до обрису побудовної для суден проєктованого типу. Так, В.Л. Поздюнін для суден транспортного флоту запро-

понував прийняти обрис параболи за рівнянням $S = S_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}}$ де S_0 – площа вантажної ватерлінії; T_0 – осадка, яка відповідає вантажній ватерлінії; $1/n$ – показник ступеня параболи: $\frac{1}{n} = \left(\frac{1}{\chi} \right) - 1$, $\chi = \delta/\alpha$ – коефіцієнт вертикальної повноти. Звідси

$$z_c = \frac{\int_0^{T_0} S dT}{\int_0^{T_0} S dT}.$$

Оскільки $\frac{1}{n} + 1 = \frac{1}{\chi}$, то

$$\int_0^{T_0} S dT = \frac{S_0}{T_0^{1/n}} \frac{T_0^{1/n+1}}{\frac{1}{n} + 1} = \frac{S_0 T_0}{\frac{1}{n} + 1} = \chi S_0 T_0,$$

і оскільки $\frac{1}{n} + 2 = \frac{1}{\chi} + 1$, то

$$\int_0^{T_0} S dT = \frac{S_0}{T_0^{1/n}} \int_0^{T_0} T_0^{1/n+1} dT = \frac{S_0}{T_0^{1/n}} \frac{T_0^{1/n+2}}{\frac{1}{n} + 2} = \frac{S_0}{\frac{1}{\chi} + 1} T_0^2.$$

Звідси

$$z_c = \frac{S_0 T_0^2}{\left(\frac{1}{\chi} + 1 \right) \chi S_0 T_0} = \frac{1}{1 + \chi} T_0, \quad (1.30)$$

або, позначивши $\frac{1}{1 + \chi} = A_1$,

$$z_c = A_1 T, \quad (1.31)$$

де $A_1 = f(\chi) = f(\alpha, \delta)$.

Задаючись різноманітними значеннями ϕ , можна отримати відповідні значення A_1 для будь-якого чисельного значення коефіцієнта вертикальної повноти χ . Аналогічно, задаючись іншими математичними кривими для

побудовної по ватерлінії, А.П. Фан-дер-Фліт одержав чисельні значення $A_1 = f(\varphi)$ для річкових суден, а Норман і В. Л. Поздюнін – для морських (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Значення коефіцієнтів A_1

Автори	Значення A_1 при φ , рівному							
	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
В.Л.Поздюнін	0,50	0,51	0,53	0,54	0,56	0,57	0,59	0,61
Фан-дер-Фліт	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,63
Норман	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60	0,62

Аналітичне визначення поперечного метацентричного радіуса $r_0 = I_{xx}/V$ – при заданій тоннажності V зводиться до наближеного визначення моменту інерції площі вантажної ватерлінії I_{xx} відносно поздовжньої осі, яка проходить через її центр маси. Для цього необхідно задатися формою вантажної ватерлінії у вигляді параболи (або прогресики), яка найбільш точно відповідає обрисам ватерлінії. Прийmemo наближено $I_{xx} = kLB^3$, де $k = f(\alpha)$ (По Фан-дер-Фліту $k = \alpha^2/11,4$, по Норману $k = 0,008 + 0,0745\alpha^2$, по В. Л. Поздюніну $k = \alpha^2 k_2/12$, де k_2 близький до одиниці). Звідси

$$r_0 = \frac{I_{xx}}{V} - \frac{kLB^3}{\delta LBT} = A_2 \frac{B^2}{T} \quad (1.32)$$

$$\text{де } A_2 = \frac{k}{\delta} = f_2(\alpha, \delta).$$

Очевидно, що при тому ж самому δ чисельні значення A_2 будуть залежати від формули, за якою визначається k .

Підставляючи вирази (1.31) і (1.32) у рівняння початкової остійності одержимо

$$h_0 = A_1 T + A_2 \frac{B^2}{T} - z_g, \quad (1.33)$$

де $A_1 = f_1(\alpha, \delta)$ і $A_2 = f_2(\alpha, \delta)$.

Перетворимо рівняння (1.33) до вигляду

$$h_0 = \left(A_1 \frac{T}{B} + A_2 \frac{B}{T} \right) B - z_g = \lambda B - z_g,$$

де λB – характеристика остійності форми; λ – модуль остійності форми:

$$\lambda = A_1 \frac{T}{B} + A_2 \frac{B}{T} \quad (1.34)$$

При обраних значеннях A_1 і A_2 $\lambda = f(B/T)$. Установимо, при якому значенні B/T модуль остійності форми буде мати екстремум. Позначивши $B/T = x$, одержимо

$$\lambda = A_1 \frac{1}{x} + A_2 x \text{ та } \lambda' = -\frac{A_1}{x^2} + A_2.$$

$$\text{При } \lambda' = 0 \quad \lambda'' = \frac{A_1 2x}{x^4} = \frac{2A_1}{x^3}; \text{ при } x = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \quad \lambda'' = 2A_2 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} > 0.$$

Тому, при $\frac{B}{T} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$ модуль остійності форми має мінімум:

$$\lambda_{\min} = \frac{A_1}{\sqrt{\frac{A_1}{A_2}}} + A_2 \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = 2\sqrt{A_1 A_2}. \quad (1.35)$$

Виконаний аналіз рівняння початкової остійності дає змогу зробити наступні висновки.

1. Величина h_0 буде тим більше, чим більше λ (і навпаки), досягаючи мінімуму при $\frac{B}{T} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$. Якщо B задано, то вибір найкращого з точки зору остійності форми відношення B/T зводиться до зміни T , що може обмежуватися глибиною фарватеру.

2. При проектуванні судна за прототипом, коли в завданні потрібно підвищити початкову остійність, необхідно спочатку перевірити, наскільки

вдало вибрано в прототипі відношення B/T с точки зору остійності форми, тобто чи не лежить величина λ поблизу мінімуму.

3. Поблизу мінімуму функція $\lambda = f(B/T)$ змінюється повільно, але навіть незначна відносна зміна λ помітно впливає на абсолютну величину остійності форми λB .

4. Величина λ має досить стійке положення для близьких за розмірами груп суден різноманітних типів, у силу чого у першому наближенні λ може бути взяте за прототипом (з обов'язковим виконанням вимог, викладених у п. 2).

5. Для суден з надмірною початковою остійністю метацентричну висоту h_0 можна зменшити, обравши таке значення B/T , при якому λ лежить поблизу мінімуму.

6. Оскільки величина z_g змінюється в достатньо широких межах в залежності від архітектурного типу судна і розміщення вантажів, до визначення центра маси судна по висоті варто ставитися з особливою обережністю, по можливості використовуючи дані кренування суден-прототипів. При цьому необхідно вносити поправки, які враховують розходження між характеристиками судна-прототипу і вимогами завдання на проектування судна.

1.3.2 Використання рівняння початкової остійності [1]

Рівняння початкової остійності на початкових етапах проектування використовується: при виборі головних розмірів; при аналізі зміни характеристик остійності від зміни головних розмірів (коли застосовується диференціальний метод); при визначенні меж баластування з метою підвищення початкової остійності судна; при перевірці відповідності основних елементів судна Правилам Регістру [9].

Вибір головних розмірів. Якщо значення поперечної метацентричної висоти вказано у завданні на проектування, то при визначенні головних розмірів значення відношення B/T повинно бути встановлене вихо-

дючи з рівняння початкової остійності. Для цього рівняння (1.33) вирішуємо відносно B :

$$B = \sqrt{(h_0 + z_g - A_1 T) \frac{T}{A_2}} \quad (1.36)$$

Якщо отримане відношення B/T виходить за межі значень, припустимих для проектного типу судна, необхідно виконати розрахунки в наступних наближеннях.

При відомій ширині проектного судна B відношення B/T , що забезпечує необхідну початкову остійність, можна отримати, розв'язавши рівняння (1.33) щодо B/T . Для цього позначимо $B/T = x$ і отримаємо рівняння

$$x^2 - \frac{h_0 + z_g}{A_2 B} x + \frac{A_1}{A_2} = 0.$$

Застосування диференціального методу для вирішення рівняння початкової остійності. Диференціальний метод застосовується у тих випадках, коли бажано проаналізувати, як зміниться h_0 , якщо головні розміри проектного судна (B і T) і його коефіцієнти повноти α і δ відмінні від прототипу, або коли необхідно встановити межі зміни h_0 проектного судна при зміні B і T . Враховуючи (1.33), отримаємо

$$dh_0 = \left[\frac{\partial A_1}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial A_1}{\partial \delta} d\delta \right] T + A_1 dT + \left[\frac{\partial A_2}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial A_2}{\partial \delta} d\delta \right] T \times \quad (1.37)$$

$$\frac{B^2}{T} + \frac{2A_2 B}{T} dB - A_2 \frac{B^2}{T^2} dT - dz_g$$

Якщо коефіцієнти повноти задані ($A_1 = \text{const}$ і $A_2 = \text{const}$), а варіюються лише B і T , то рівняння (1.37) можна переписати у вигляді

$$dh_0 = A_1 dT + \frac{2A_2 B}{T} dB - A_2 \frac{B^2}{T^2} dT - dz_g \quad (1.38)$$

Раціональні межі баластування з метою підвищення початкової остійності судна. Іноді остійність малотоннажного судна намагаються підвищити за допомогою прийому твердого баласту або встановлення днищевих і бортових баластових цистерн для рідкого балас-

ту. Як правило, це приходится робити для зменшення кута крену при скупченні пасажирів на одному борті, а також при вітрі.

У межах зміни осадки, очікуваної в результаті прийняття баласту, борта судна можна вважати прямостінними. Тоді метацентрична висота після прийому баласту буде

$$h_{06} = h_0 + \frac{p}{D+p} \left[T + \frac{\Delta T}{2} - h_0 - h_6 \right] \quad (1.39)$$

де h_0 – метацентрична висота до прийому баласту, м; p – маса прийнятого баласту, т; D – водотоннажність судна до прийому баласту, т; T – осадка судна до прийому баласту, м; ΔT – приріст осадки за рахунок прийому баласту, м; h_6 – відстань центра мас баласту від основної лінії, м. Твердий баласт, як правило, як правило, розташовують біля кіля, тому для нього можна вважати $h_6 = 0$. Оскільки маса такого баласту, як свідчить досвід, відносно невелика у порівнянні з водотоннажністю, можна вважати, що $\Delta T/2 = 0$.

Додатний приріст метацентричної висоти за рахунок прийому твердого баласту може бути досягнуто, якщо $T + \frac{\Delta T}{2} - h_0 - h_6 > 0$, або з урахуванням вищесказаного $T - h_0 > 0$, або $T > h_0$, тобто коли баласт прийнято нижче горизонтальної площини $A-A$, що розташована на відстані $T - h_0$ від основної лінії (рис.1.1, а). З того ж рисунка випливає, що якщо $T > h_0$, то прийом баласту в частину судна, розташовану нижче площини $A-A$, дає позитивний ефект, і тим більше, чим ближче центр маси баласту до основної лінії. При розташуванні центра маси баласту на рівні площини $A-A$ ефект дорівнює нулю. При $T < h_0$ позитивний ефект від прийому баласту міг би мати місце в тому випадку, якби твердий баласт був прийнятий у районі, розташованому нижче основної площини (рис.1.1, б), що практично неможливо.

При прийомі рідкого баласту величини h_6 , а в окремих випадках і $\Delta T/2$ у рівнянні (1.39) відкидати не можна. Внаслідок цього умова, необхідна

для додатного приросту метацентричної висоти при прийомі рідкого баласту, виразиться нерівністю

$$T + \frac{\Delta T}{2} - h_0 > h_6.$$

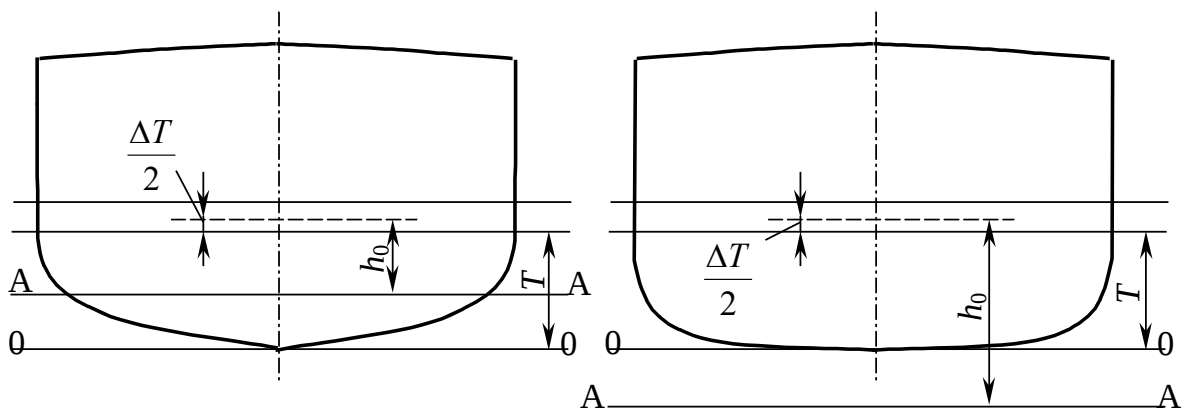


Рис.1.1 Положення граничної площини.

Слід підкреслити, що при прийомі баласту деяке позитивне збільшення відновлювального моменту (у зоні малих кутів крену) буде мати місце не тільки за рахунок збільшення h_0 , але й за рахунок зростання водотоннажності в результаті прийому баласту.

На підставі сказаного відзначимо, що при $T > h_0$ прийом баласту завжди позитивно впливає на остійність. Цей випадок характерний для морських суден, а також для малоостійних гвинтових пасажирських теплоходів приміських ліній на внутрішніх водних шляхах. Якщо $T < h_0$, то прийом баласту дає незначний позитивний ефект, а іноді навіть шкідливий (наприклад, для мілкосидячих суден з великими значеннями B/T).

Розглянемо більш докладно питання про зміну відновлювального моменту при прийомі баласту. Використовуючи рівняння (1.39) і прийнявши $h_6 = 0$ і $\Delta T/2 = 0$ відновлювальний момент судна M_6 після прийому твердого баласту можна виразити у вигляді

$$M_6 = (D + p) \left[h_0 + \frac{p}{D + p} (T - h_0) \right] \theta \quad (1.40)$$

Нагадаємо, що відновлювальний момент до прийому баласту

$$M = Dh_0\theta. \quad (1.41)$$

Назвемо відношення M_6/M коефіцієнтом зміни відновлювального моменту при прийомі баласту k_6 . Тоді

$$\begin{aligned} k_6 = \frac{M_6}{M} &= \left(1 + \frac{p}{D}\right) \left[1 + \frac{p}{D+p} \left(\frac{T}{h_0} - 1\right)\right] = \left(1 + \frac{p}{D}\right) \left[1 + \frac{\frac{p}{D}}{1 + \frac{p}{D}} \left(\frac{T}{h_0} - 1\right)\right] = \\ &= 1 + \frac{p}{D} + \frac{pT}{Dh_0} - \frac{p}{D} = 1 + \frac{p}{Dh_0} T = 1 + k_{01} \end{aligned}$$

де k_{01} – відносне збільшення відновлювального моменту при прийомі твердого баласту:

$$k_{01} = \frac{pT}{Dh_0} = \frac{p}{\delta LBTh_0} T = \frac{p}{\delta LBh_0} \quad (1.42)$$

Таким чином, відносний приріст відновлювального моменту прямо пропорційний масі прийнятого баласту й обернено пропорційний δ , L , B і h_0 .

При прийомі водяного баласту, коли $h_6 \neq 0$ і $\Delta T/2 \neq 0$, відносний приріст відновлювального моменту буде

$$k_{02} = \frac{p}{Dh_0} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - h_6\right) \quad (1.43)$$

Якщо ж $\Delta T/2 \sim 0$, то

$$k_{03} = \frac{p}{Dh_0} (T - h_6) \quad (1.44)$$

Для визначення необхідної кількості баласту зробимо такий аналіз.

Якщо припустимо за умовами остійності куту крену судна $\theta_{\text{доп}}$ відповідає відновлювальний момент M , а розрахунковий кренувальний момент викликає появу кута крену θ , причому $\theta_{\text{доп}} < \theta$, то для одержання кренувального моменту $M + \Delta M$ необхідний приріст відновлювального моменту, який дорівнює:

$$\Delta M = Dh_0(\theta - \theta_{\text{доп}}). \quad (1.45)$$

З іншого боку, з умови забезпечення допустимого кута крену $\theta_{\text{доп}}$, відповідно до рівнянь (1.40) і (1.41), величина ΔM за рахунок прийому твердого баласту повинна бути

$$\Delta M = M_{\zeta} - M = (D + p) \left[h_0 + \frac{p}{D + p} (T - h_0) \right] \theta_{\text{доп}} - Dh_0 \theta_{\text{доп}} = pT\theta \quad (1.46)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (1.45) і (1.46), одержимо $Dh_0(\theta - \theta_{\text{доп}}) = pT\theta_{\text{доп}}$. Звідси кількість твердого баласту необхідна для забезпечення заданої початкової остійності, буде

$$p = \frac{Dh_0(\theta - \theta_{\text{доп}})}{T\theta_{\text{доп}}} = \delta LBh_0 \frac{(\theta - \theta_{\text{доп}})}{\theta_{\text{доп}}} \quad (1.47)$$

Аналогічно для рідкого баласту маємо

$$p = \frac{Dh_0(\theta - \theta_{\text{доп}})}{\left(T + \frac{\Delta T}{2} - h_{\zeta} \right) \theta_{\text{доп}}} = \delta LBh_0 \frac{(\theta - \theta_{\text{доп}})}{\theta_{\text{доп}}} \quad (1.48)$$

Якщо $\Delta T = 0$ то

$$p = \frac{Dh_0}{T - h_{\zeta}} \frac{\theta - \theta_{\text{доп}}}{\theta_{\text{доп}}} \quad (1.49)$$

Щоб переконатися у тому, що прийняті при попередньому проектуванні архітектурно-конструктивні рішення й елементи судна відповідають вимогам Регістру України до остійності, необхідно зробити її перевірку на великих кутах крену. Для цього в практику початкового проектування суден, до розробки теоретичного креслення, застосовують наближені методи побудови діаграм остійності, розроблені В.Л. Поздюніним, В.Г. Власовим, Г.Е. Павленко, А.Б. Знаменським та ін. [5, 10, 11], оснований на урахуванні відомої подоби у формах діаграм остійності суден окремих типів і властивостей кривої плеча остійності форми.

Аналіз показав, що при проектуванні пасажирських, буксирних і інших малотоннажних суден з аналогічною формою підводної частини корпусу варто віддавати перевагу методу Власова-Благовещенського.

Відповідно до цього методу, плече статичної остійності визначається за формулою

$$l_{\text{ст}} = (z_{c_{90}} - z_{c_0})f_1(\theta) + y_{c_{90}}f_2(\theta) + r_0f_3(\theta) + r_{90}f_4(\theta) - a \sin \theta, \quad (1.50)$$

де $f_i(\theta)$ – функції кута нахилу судна θ , що обчислюються за формулами:

$$f_1(\theta) = \sin \theta - \frac{1}{8} \sin 4\theta - \frac{1}{32} (35 \sin 2\theta - 9 \sin 6\theta);$$

$$f_2(\theta) = -\frac{1}{8} \sin 4\theta + \frac{1}{32} (35 \sin 2\theta - 9 \sin 6\theta);$$

$$f_3(\theta) = \frac{1}{8} \sin 4\theta - \frac{1}{32} (\sin 2\theta - 3 \sin 6\theta);$$

$$f_4(\theta) = \frac{1}{8} \sin 4\theta + \frac{1}{32} (\sin 2\theta - 3 \sin 6\theta).$$

[чисельні значення тригонометричних функцій $f_1(\theta)$, $f_2(\theta)$, $f_3(\theta)$, $f_4(\theta)$, розраховані С.Н.Благовещенским для кутового проміжку в 10° , наведені в табл. 1.2;

$a \sin \theta = (z_g - z_c) \sin \theta$ – плече остійності маси;

z_{c_0} , $z_{c_{90}}$, $y_{c_{90}}$ – координати центра величини судна в початковому положенні і при його нахиленні на 90° ;

r_0 , r_{90} – поперечні метацентричні радіуси для судна в початковому положенні і при його нахиленні на 90° .

Для визначення $z_{c_{90}} - z_{c_0}$ і $y_{c_{90}}$ В. Л. Позднюн запропонував статистичні формули

$$z_{c_{90}} - z_{c_0} = 0,64 \left(1 - 1,03 \frac{T}{H_1} \right) H_1; \quad (1.51)$$

$$y_{c_{90}} = 0,50 \left(1 - 0,96 \frac{T}{H_1} \right) B, \quad (1.52)$$

де H_1 – зведена висота борту:

$$H_1 = \left(1 + \frac{\delta V_H}{\alpha V_H} \right) H$$

(для малотоннажних суден, що мають незначний обсяг непроникних частин вище головної палуби, можна приймати $H_1 = H$, де H – розрахункова висота борта, м); V_H – обсяг непроникних частин корпусу вище ватерлінії, розташованої на рівні верхньої палуби на міделі, м³;

V_H – об'ємна тоннажність судна при осадці $T = H$, м³;

B – розрахункова ширина судна, м.

Для малотоннажних суден не завжди потрібна перевірка остійності з використанням діаграм. У необхідних випадках можна також з достатньою для попереднього проектування точністю скористатися наведеними вище рекомендаціями для пасажирських і буксирних суден.

Таблиця 1.2. Значення тригонометричних функцій $f_i(\theta)$

θ°	$f_1(\theta)$	$F_2(\theta)$	$f_3(\theta)$	$f_4(\theta)$
0	0	0	0	0
10	–0,036	0,050	0,151	0,010
20	–0,241	0,337	0,184	0,062
30	–0,556	0,840	0,081	0,135
40	–0,772	1,279	–0,069	0,155
50	–0,513	1,365	–0,155	0,069
60	0,026	1,056	–0,135	–0,081
70	0,603	0,583	–0,062	–0,184
80	0,935	0,210	–0,010	–0,151
90	1,000	0	0	0

1.4 Основні положення вибору енергетичної установки і рушійного комплексу

1.4.1 Енергетична установка

На всіх сучасних малотоннажних суднах передбачається застосування рідкого палива. Як правило, у якості головних застосовуються двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), що працюють в основному на легкому дизельно-

му паливі (об'ємна маса 0,83–0,86 т/м³ і теплотворна спроможність 10100–10300 ккал/кг). Потужність передається або безпосередньо на гребний вал із частотою обертання 275–500 об/хв, або за допомогою редуктора при частоті обертання вала від 500 до 1550 об/хв.

При виборі типу двигуна важливу роль відіграють його розміри, оскільки довжина машинного відділення визначається в основному габаритами головних двигунів. Висоту машинного відділення (якщо машинні шахти розташовуються не над двигунами) установлюють з урахуванням можливості виймання поршнів. Площа машинного відділення, крім габаритів головних двигунів, залежить також від габаритів допоміжних механізмів, тому його загальне компонування старанно розробляється за допомогою графічних проробок. Оскільки довжина машинних відділень, як правило, змінюється в межах 2 – 2,5 довжин головного двигуна, можна, встановивши за зазначеними графіками площі машинних відділень, визначити межі очікуваної ширини машинного відділення і зіставити їх із шириною корпусу в цьому районі. Варто пам'ятати, що розміри машинних відділень визначаються також вимогами техніки безпеки і санітарними вимогами у відношенні рівня шуму.

Не менше значення при виборі енергетичної установки має її маса, особливо для суден, що плавають по мілководдю. У цьому випадку масові показники можуть виявитися вирішальними. На вибір типу установки впливають також комплектність забезпечення, ступінь автономності головних двигунів і їх вартість. Вартість у ряді випадків служить вирішальним чинником при визначенні економічної ефективності проектного судна.

Дизель-електричні установки, незважаючи на їх переваги у відношенні маневреності й оптимального використання потужності при різноманітних режимах роботи, не отримали широкого застосування на малотоннажних судах. Вирішальну роль у цьому відношенні зіграли їх недоліки у порівнянні з ДВЗ: великі маса, габарити і питомі витрати палива, менший ККД.

Сказане можна продемонструвати на прикладі рейдово-маневрових буксирних суден: маса дизель-електричної установки, віднесена до потужності, вище дизельної на 40–60 %; площа машинного відділення – на 30–100 %, витрати палива на – 10–55 %; ККД знижується до 0,70–0,83 (ККД дизельних установок 0,6–0,94).

Розробка сіток перспективного будівництва суднових двигунів і допоміжних механізмів ведеться згідно із сіткою перспективних типів суден. Прагнення, з одного боку, спростити технологічні виробничі процеси в машинобудуванні і тим самим знизити вартість машин, а з іншого боку – полегшити їх експлуатацію і ремонт – вимагає максимальної типізації суднових машин і уніфікації їх окремих вузлів і деталей. Для нового спроектованого судна повинні бути дотримані дві основних вимоги при виборі енергетичної установки: не допустити дублювання механізмів (крім спеціальних вимог Регістру України); включення до складу енергетичної установки мінімальної кількості типів, модифікацій і марок уніфікованих суднових механізмів.

1.4.2 Рушійний комплекс

Вибір рушійного комплексу, крім його пропульсивних показників, визначається такими чинниками, як тип судна й енергетичної установки, умови маневрування, габарити фарватеру, а також специфічними особливостями, властивими самим рушіям.

Основний тип рушія пасажирських і вантажопасажирських суден – відкриті гребні гвинти. Направляючі насадки могли б підвищити швидкість суден цього типу на 3–5%, проте помітний економічний ефект можна одержати тільки для тих пасажирських суден, стоянковий час яких складає не більше 30 % часу рейсу.

Слід також мати на увазі, що насадки погіршують керованість, що має особливо важливе значення для тих пасажирських суден, до яких пред'являються підвищені вимоги у відношенні маневреності (часті швартування

біля дебаркадерів або причальних набережних в умовах обмеженої акваторії).

На судах з осадкою $T_{\text{вн}} = 0,70 \div 1,21$ м при потужності 80–150 кВт. припустимі одновальні установки або гребні гвинти в тунелях, а на судах з осадками нижче 0,5–0,6 м доцільно застосовувати водометні рушії.

Як основний тип рушії вантажних суден можна рекомендувати гребні гвинти в насадках, що підвищують швидкість на 5–8 % у порівнянні з відкритими гребними гвинтами. Оскільки стоянковий час вантажних теплоходів не повинен перевищувати 30 % ходового часу судна (в обох напрямках), таке збільшення швидкості економічно вигідне. Поворотні насадки підвищують керованість вантажних суден, тому перевага повинна бути віддана саме цим насадкам незважаючи на ряд недоліків: велику уразливість у порівнянні з неповоротними насадками, необхідність створення умов для рівномірного обтікання суднового корпусу щоб уникнути вібрації.

Основні дані рушійних комплексів, застосовуваних на вітчизняних вантажних судах, можуть бути коротко охарактеризовані так.

Основним типом рушійного комплексу вантажних теплоходів вантажопідйомністю від 600 до 1000 т використовується гребний гвинт в направляючих поворотних або нерухомих насадках. Гребні вали з'єднані з валами двигуна безпосередньо або через редуктор (з відношенням 1:1,375 або 1:3,07). Установки, як правило, двухвальні, загальною потужністю 300–1100 кВт. Гребні гвинти з частотою обертання 360–375 об/хв при $T_{\text{вн}} = 1,874\text{--}2,40$ м мають діаметри 1,3–1,5 м. Якщо частота обертання головних двигунів становить від 500 до 1500 об/хв, то при $T_{\text{вн}} = 1,4\text{--}1,7$ м діаметри гвинтів рівні 0,9–1,2 м. Робота гребних гвинтів порожнього судна забезпечується прийомом водяного баласту в кількості 115–220 т, що збільшує осадку кормою від 1,2 до 1,8 м.

Рушійні установки вантажних теплоходів вантажопідйомальністю 24–150 т винятково одновальні при потужності від 80 до 225 кВт. Вантажні осадки цих

теплоходів складають від 0,65 до 1,0 м, тому основним типом рушія є гребні гвинти в тунелях або водометних рушіях.

Усі вітчизняні буксири-штовхачі потужністю 300–1340 кВт. мають двухвальні установки з гребними гвинтами в направляючих поворотних насадках. Такі гвинти забезпечують оптимальні тягові якості.

У діапазоні потужності від 40 до 150 кВт застосовуються винятково одновальні установки. При $T_k = 0,284\text{--}0,49$ м (потужність 40–90 кВт.) застосовуються водометні рушії, при $T_k = 0,704\text{--}0,80$ м (потужність біля 150 кВт.) – гребні гвинти з поворотними насадками. Корма має тунельні утворення.

Розділ 2. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ МАЛОТОННАЖНИХ СУДЕН

2.1. Аналіз особливостей малотоннажних суден

2.1.1 Призначення та особливості малотоннажних суден

Малотоннажні судна знаходять застосування в різноманітних галузях промисловості і сферах діяльності суспільства. Призначення суден цього класу визначається широким спектром виконуваних ними функцій. Це перевезення невеликих партій вантажу і груп людей на зовнішніх і внутрішніх рейдах, по ріках і озерах. Малотоннажні судна широко використовуються як службово-роз'їзні судна, судна для лову риби у внутрішніх водоймах і прибережних морських районах, для лісосплаву, проведення водозабірних і гідрографічних робіт, освоєння прибережного шельфу, обслуговування флоту і виконання багатьох інших задач. Малотоннажні судна є незамінним засобом сполучення між крупнотоннажними суднами, які виконують криголамні, рибпромислові та інші операції в морі. У цьому випадку малотоннажні судна служать для перевезення пасажирів між суднами в морі, між судном і берегом, а також для буксирування різноманітних плавзасобів. Малотоннажним флотом колишнього СРСР, що нараховував більш 100 тисяч різноманітних суден і плавзасобів тоннажністю до 300 т, забезпечувався основний обсяг перевезень пасажирів по ріках і в прибережних районах морів, третина вивезення деревини, п'ята частина улову ри-

би і морепродуктів, біля чверті видобутку мінерально-будівельних матеріалів, значний обсяг гідротехнічних робіт [13].

Малотоннажні судна крім цього виконують ряд допоміжних функцій з обслуговування крупнотоннажних суден, промислових і сільськогосподарських підприємств і гідротехнічних об'єктів.

Малотоннажні судна мають важливе значення для нормального функціонування будь-якого порту, від найменшого до найбільшого.

У будь-якому порту потрібно виконання найрізноманітніших допоміжних робіт – доставка на судна бригад портових робочих, різноманітного суднового постачання, буксирування в межах порту несамохідних плавзасобів тощо[14].

Важливою відмінною рисою малотоннажних суден є побудова їх корпусів з різноманітних матеріалів, що істотно змінює технологію і трудомісткість побудови. У залежності від основного матеріалу корпусу ці судна можуть бути металевими (сталевими або з легкого алюмінієвого сплаву), дерев'яними (фанерними, шпоновими), пластмасовими (склопластиковими), армоцементними і композитними. Вибір найбільш раціонального матеріалу для побудови корпусу малотоннажного судна залежить від типу судна, призначення, розмірів тощо. У той же час [15] майже усі судна довжиною біля 20 м з водотоннажним режимом руху, будуються зі сталі, а глісуючі судна і судна з динамічними принципами підтримки – з легких сплавів.

При проектуванні малотоннажних суден виникають істотні труднощі, пов'язані з необхідністю врахування двох важливих економічних чинників [16]: з одного боку, потрібна велика розмаїтість типів при обмеженій потребі в суднах кожного з призначень, з іншого боку – економічні закони промислового виробництва змушують групувати ці різноманітні за призначенням, але невеличкі за кількістю судна в обмежене число типів при дотриманні можливості створення модифікацій кожного з них.

Положення ускладнюється ще й тим, що малотоннажні судна будуються не тільки для організацій, що володіють великим флотом, але і для багатьох інших відомств, підприємств, спортивних і туристських організацій. Так [15], рейдовий катер пр. РМ1 будувався в п'ятьох модифікаціях для більш ніж тридцяти споживачів.

Таким чином, малотоннажні судна являють собою багаточисельний клас, що виконує різноманітні і різнохарактерні функції.

Результати аналізу особливостей малотоннажних суден показують, що навіть у рамках того самого призначення (транспортні, промислові, допоміжні, робочі, службово-роз'їзні тощо), вони істотно відрізняються своїми елементами, характеристиками і конструктивними типами.

Характерною особливістю малотоннажних суден є експлуатація їх у різноманітних районах плавання. Так, ці судна експлуатуються як морські з необмеженим районом плавання, морські обмеженого району плавання, озерні, річкові судна для малих рік і озер.

Експлуатація малотоннажних суден при різноманітних режимах руху (водотоннажний, перехідний, на глісуванні, на підводних крилах і повітряній подушці) і особливості технології побудови цих суден призвели до широкого різноманіття форм корпусу. За формою корпусу судна цього класу можна класифікувати як круглоскулі, гостроскулі, плоскодонні, поздовжньо- і поперечно-східчасті (реданні), багатокорпусні, з транцевою, округлою або загостреною в плані кормою [15].

У залежності від призначення і району експлуатації малотоннажні судна можуть мати такі архітектурно-конструктивні ознаки [15]: судна відкритого типу (безпалубні), частково запалублені з відкритим кокпітом, запалублені з рубкою, яка встановлена над палубним вирізом і кокпітом, запалублені з рубками, які встановлені на палубі.

Суттєвою особливістю малотоннажних суден є застосування на них різноманітних двигунів і рушіїв, що значно розширює область обґрунтування їх характеристик.

Сучасний стан малотоннажного суднобудування [13] характеризується низьким організаційно-технологічним рівнем і великим обсягом кваліфікованої наукової праці. Тому створення малотоннажних суден потребує комплексного підходу на основі застосування перспективних проектних технологій та САПР. При цьому істотна увага повинна надаватися створенню базових моделей суден з широкими модифікаційними можливостями.

2.1.2 Аналіз проектно-конструкторських рішень у малотоннажному суднобудуванні

Відмінною рисою малотоннажного суднобудування є велика різноманітність окремих проектно-конструктивних рішень (табл.2.1), які приймалися при створенні проектів.

Характерною рисою, властивою усіх проектів, що розглядаються, є діапазон значень ширини судна (3,5–3,93 м), при зміні повної водотоннажності від 11,6 т до 56,9 т, а водотоннажності порожнем – від 10,3 т до 40,4 т.

При цьому висота борту змінюється також незначно (1,5–2,25 м). Винятком є катер пр. МРК2 відкритого типу з водотоннажністю порожнем 1,5 т. Відносна довжина L/B цього катера дорівнює 2,95. Дещо завелике значення L/B має рятувальний катер пр.РК1 – 3,49. Значення L/B для робочих катерів пр. Р1 і РМ1 наближається до значень, характерних для морських транспортних суден. Аналогічна ситуація спостерігається і для відношення довжини до висоти борту L/D .

Для лоцманських катерів, основні характеристики яких наведені в табл. 2.2, відношення L/B не перевищує 4,29, а в середньому дорівнює 3,59. Це ще раз підкреслює вплив обмеження на ширину малотоннажних суден, які наводяться у табл. 2.2, за умов перевезення залізницею, особливо для катерів водотоннажністю порожнем близько 30 тонн.

Особливістю створення малотоннажних суден є необхідність розміщення в порівняно обмежених об'ємах екіпажу, пасажирів (вантажу) і устаткування з досить великою номенклатурою. Так, розміщення додатко-

вого кубрика у корпусі судна пр. Р1 викликало застосування подовженої рубки, збільшення головних розмірів і в значній мірі зміну розташування водонепроникних перебірок. Машинне відділення катера пр.Р1 розташовано до корми від міделя в порівнянні з катером пр.РМ1, що призвело до розміщення додаткового диферентувального баласту загальною масою біля 1,4 т. Це показує необхідність проведення ретельних передпроектних досліджень при проробці загального розташування малотоннажного судна.

Корпуси наведених робочих катерів набрані по поперечній системі. Конструктивні поперечні перерізи на перший погляд ідентичні. Проте на пр. Р1 шпангоути і бімси мають дещо менший розмір. Це стало можливим в результаті встановлення бортового стрингера (полособульба № 5), а в палубному перекритті – більш прийнятної розставлення карлінгсів. Тут використано вузол комінгс-карлінгс під поздовжніми перебірками рубки, що покращує вузол з'єднання рубки як з погляду вібрації, так і міцності і жорсткості в поздовжньому напрямку палубного перекриття. Близький до діаметральної площини (ДП) карлінгс має односторонній фланець. З погляду вигину й стійкості симетричні профілі завжди мають деякі переваги. Подібні відмінності мають і днищові стрінгери, крім того на пр.Р1 вони мають висоту стінки більшу, ніж на пр.РМ1.

На обох катерах у машинному відділенні (МВ) встановлені однакові рамні шпангоути. Бімси капів МВ пр.Р1 значно посилені. Спрощено фундамент головного двигуна: відсутній вертикальний кіль, наявності у якому на пр.РМ1 немає ніякого підґрунтя.

Таблиця 2.1. Основні характеристики малотоннажних суден

№ з/п	Проект	Призначення	Матеріал корпусу	Водотоннажність, т		Дедвейт, т	Головні розміри, м				Співвідношення головних розмірів			
				Повна	Порожнім		L	B	H	T	L/B	L/H	B/H	H/T
1	P1	Робочий катер	ВСтЗСП 2	56,87	35,21	20,9	20,0	3,93	2,25	1,43	5,03	8,89	1,75	1,57
2	PB1	Рейдовий водолазний катер	—“—	43,31	36,62	6,69	20,0	3,93	2,25	1,24	5,03	8,89	1,75	1,81
3	PB2	—“—	—“—	43,81	36,46	7,34	20,0	3,93	2,25	1,25	5,03	8,89	1,75	1,80
4	PB3	—“—	—“—	46,53	40,41	6,12	20,0	3,93	2,25	1,27	5,03	8,89	1,75	1,74
5	PM1	Рейдовий робочий катер	ВСтЗСП	46,64	28,98	17,66	19,0	3,80	2,15	1,27	5,00	8,84	1,77	1,69
6	PBM1	Водолазний катер	—“—	37,75	34,07	2,68	19,0	3,00	2,15	1,11	5,00	8,84	1,77	1,94
7	PB1	Рейдовий буксир, судно для лісосплаву	—“—	35,14	33,68	4,47	17,4	3,60	2,30	0,96	4,08	6,39	1,57	2,44
8	PK1	Рятувальний катер	АМГ—5В	11,58	10,26	1,32	12,2	3,50	1,89	0,96	3,49	6,46	1,85	1,97
9	CP1	Службово-роз’їзний катер	ВСтЗСП 2	14,59	12,88	1,71	13,0	3,50	1,50	0,75	3,71	8,67	1,85	2,00
10	MM1	Малий медичний катер швидкої допомоги	ВСтЗСП 2	14,72	13,65	1,07	13,0	3,50	1,50	0,75	3,71	8,67	1,85	2,00
11	ЛП1	Лісопатрульний катер	АМН—1561	13,65	11,57	2,08	13,2	3,50	1,76	0,65	3,77	7,50	1,99	2,71
12	МРК1	Малий рятувальний відкритий катер	АМГ5 и АМГ61	2,058	1,55	0,51	6,50	2,20	1,00	0,30	2,95	6,50	2,20	3,33
13	МРК2	Малий рятувальний закритий катер	—“—	2,16	1,65	0,51	6,52	2,20	1,00	0,30	2,95	6,50	2,20	3,33

Продовж. табл.2.1

№ п/п	Проект	$LBH, \text{м}^3$	$V, \text{м}^3$	C_b	$C_b^{\text{п}}$	$v, \text{вуз}$	$N, \text{кВт}$	Дальн. плав., милі	Число членів команди	Морехід- ність, бали	Автономність	Непотоплюваність
1.	P1	176,3	125,2	0,5	0,708	11,0	300	200	3	5	5 діб	один
2.	PB1	176,9	125,2	0,45	0,708	11,0	300	200	8	5	5 діб	один
3.	PB2	176,9	125,2	0,45	0,708	11,0	300	—	—	—	—	—
4.	PB3	176,9	125,2	0,45	0,708	—	—	—	.	—	—	—
5.	PM1	155,2	118,8	0,5	0,765	10,5	150	390	4	—	5 діб	один
6.	PBM1	155,2	118,8	0,5	0,765	10,5	150	300	13	—	5 діб	один
7.	PБ1	144,1	101,5	0,58	0,704	8,6	150	—	4	4	2,5 діб	один
8.	PK1	80,7	42,3	0,33	0,524	15,0	300	170	2+4	5	10 год	один
9.	CP1	68,25	45,6	0,44	0,668	13,0	235	150	2	4	8 год	один
10.	MM1	68,25	45,6	0,44	0,668	13,0	235	150	2+3	4	8 год	один
11.	ЛП1	81,3	58,5	0,49	0,719	32,4	110	160	2+6	—	8 год	—
12.	MPK1	14,3	10,34	0,54	0,723	21,6	100	54	1	—	2,5 год	носов. Відсік
13.	MPK2	14,3	10,34	0,54	0,723	21,6	100	54	1	—	2,5 год	—“—

Таблиця 2.2. Основні характеристики лоцманських катерів

№з з/п	Найменування катера	Водотон- нажність Δ , т	Головні розміри, м				Співвідношення головних розмірів				Швид- кість, вуз.	Потужність ЕУ, к,с,	Екіпаж, осіб	Матеріал корпусу
			L	B	H	T	L/B	H/T	L/H	B/H				
1	Капитан Юрс	148,1	22,5	5,6	2,87	2,38	4,03	1,20	7,87	1,95	10,6	460	—	сталь
2	Рима	—	17,9	5,2	2,3	1,5	3,44	1,53	7,78	2,26	10,5	280	—	Сталь
3	Портленд Пайлст	—	18,2	5,5	—	2,44	3,64	—	—	—	10,6	365	3	Сталь
4	Клоч	—	18,3	4,6	2,5	1,5	3,97	1,67	7,32	1,84	12,5	490	3	Сталь
5	Муршид	—	18,3	4,27	2,74	1,83	4,29	1,5	6,68	1,56	12,0	430	6	Сталь
6	Пайлот-Вх	—	10,2	3,6	—	0,9	2,84	—	—	—	21,5	440	1	Склоплас- тик
7	Гресхольм	43	16	4,9	2,6	1,6	3,27	1,62	6,15	1,88	10,3	230	2	дерево
8	Кептайн Сайб- рі	—	18,3	5,18	—	1,5	3,52	—	—	—	13,5	600	4	дерево
9	Лодесман	—	18,6	5,49	3,23	2,36	3,39	1,37	5,76	1,7	10,0	460	6	сталь
10	Ян Ван Генг	41	21,0	4,90	2,77	0,94	4,3	2,95	7,58	1,77	15,0	780	2	Склоплас- тик
11	Дюфар	—	14,5	3,66	1,68	1,41	3,96	1,19	8,62	2,18	12,5	490	3	дерево
12	Докос	40	17,7	4,5	2,27	1,4	3,92	1,62	7,78	1,98	11,5	400	4	сталь
13	Векай	8	10,5	3,35	—	0,87	3,15	—	—	—	8,5	70	2	армобетон
14	Лоцманський	56,9	18,0	4,6	2,52	1,55	3,92	1,62	7,14	1,83	10,5	300	3	сталь

Продовж. табл. 2.2

№з з/п	Найменування катера	Водотон- нажність Δ , т	Головні розміри, м				Співвідношення головних розмірів				Швид- кість, вуз.	Потужність ЕУ, к,с,	Екіпаж, осіб	Матеріал корпусу
			L	B	H	T	L/B	H/T	L/H	B/H				
15	Кептейн Скай- нер	9,8	11,0	2,8	1,52	1,37	3,93	1,11	7,24	1,84	9,5	135	2	склоплас- тик
16	Лендстедвелл	—	17,1	5,3	3,2	1,8	3,23	1,78	5,34	1,66	10,0	230	2	сталь
17	Поли Кет 1000	15,5	12,9 6	4,4	2,0	1,1	2,95	1,82	6,48	2,2	23,0	750	—	Склоплас- тик
18	Морской	88,0	20,5	5,4	2,8	1,8	3,8	1,55	7,32	1,93	12,0	600	3	сталь

Відмінністю між даними катерами є використання при з'єднанні елементів шпангоутних рам на катері пр. Р1 приставних книць, що на відміну від зварних (вузол з'єднання рамного б'мса і рамного шпангоута МВ) і від книць, встановлених внапуск (на пр. РМ1 приклад з'єднання б'мса зі шпангоутом на 15 шп.), мають більшу технологічність і в певній мірі і міцність.

Службово-роз'їзний катер пр. СР1 має водотоннажність порожнем 12,9 т. Він може перевозити 12 пасажирів, які розміщуються в спеціальному пасажирському блоці, що надає цьому катеру оригінальність конструктивного рішення, і дозволяє застосовувати його з медичним блоком як малий медичний катер швидкої допомоги (пр. ММ1, див. табл. 2.1). У всьому іншому катер має традиційне загальне розташування. Корпус має напівбак, ходова рубка знаходиться в носовій частині, машинне відділення, яке має найбільшу масу, розміщено в районі міделя.

Лісопатрульний катер пр. ЛП1 можна віднести до групи службово-роз'їзних катерів. Його водотоннажність порожнем становить 11,6 т. Головні розміри наведені в табл. 2.1. Вони близькі за своїми значеннями до головних розмірів катера пр.СР1. Дані катери відрізняються принципами руху. Якщо катер пр.СР1 водотоннажного режиму руху і має тунельну корму, то катер пр. ЛП1 – глісуючий, з водометним рушієм і головним двигуном потужністю 1100 к.с. У корпусі катера пр. ЛП1 розміщуються службове приміщення і машинне відділення, які мають на верхній палубі капи, а також форпик і ахтерпик. Рульова рубка обтічної форми і невелика за розмірами. Днище катера до міделя плоске, клиновидної форми. У районі міделя знаходиться редан, і далі в корму днище має форму саней. Корпус набраний по змішаній системі. Бортові перекриття мають поперечну систему. Днищове перекриття виконане по поздовжній системі оригінальної конструкції – по навісній системі, у якій поперечний набір розташовується над поздовжніми ребрами. Ділянки палуби між рубкою і лінією борту також мають поздовжню систему набору.

Рятувальний катер пр. РК1 теж можна віднести до службово-роз'їзних катерів. Водотоннажність порожнем цього катера дорівнює 10,26 т. Основні хара-

ктеристики наведені в табл. 2.1. За принципом руху він відноситься до катерів із перехідним режимом руху. У носовій частині шпангоути V-подібної форми, у середній частині – більш повні U-подібні, а в кормовій – ділянки днища і бортів мають плоскі поверхні. У ДП встановлений коробчастий кіль у вигляді плавника, що покращує стійкість катера на курсі під час перехідного режиму руху. МВ розташовується в міделевій частині, що спрощує удиферентування катера. Над МВ на верхній палубі встановлена ходова рубка. У носовій частині корпусу розміщений кубрик. До корми від машинного відділення – службове приміщення. Крім цього в кінцевих частинах розміщуються форпик і ахтерпик. Корпус катера має поперечну систему набору.

Катер пр. МРК1 є катером відкритого типу з глісуючим режимом руху, його водотоннажність становить 1,6 т. Головний двигун розташований у кормі і передача на валопровід здійснюється через кутовий редуктор. У носовій частині до 4-го шпангоута обладнаний форпик. Обводи корпусу спрощені, і він набраний по поперечній системі набору.

Загальною характерною рисою більшості малотоннажних суден є наявність великої кількості вирізів у верхній палубі з габаритними розмірами, які порівнюються з розмірами корпусів, закритих різноманітного роду капами і рубками. Тому, незважаючи на невизначальну роль поздовжньої міцності в призначенні розмірів в'язей, що входять в еквівалентний брус, необхідно виконувати перевірочні розрахунки загальної міцності не тільки за умови підйому судна краном, але і при постановці на вершину хвилі з найгіршим варіантом завантаження. Найбільшу актуальність це має для катерів з глісуючим принципом руху, тому що до статичного згинального моменту від носової кінцевості, що виїшов з води, додається динамічна складова від удару об хвилю.

Корпуси малотоннажних суден набираються, як правило, по поперечній системі набору або по змішаній.

Шпація має малі абсолютні розміри й обмежений діапазон розмірів, який складає 300–600 мм, що збільшує технологічні витрати при побудові. Тому для

малотоннажних суден необхідний трудомісткий аналіз їх корпусів по напружено-деформованому стану із застосуванням техніко-економічних критеріїв оцінки.

2.1.3 Аналітичний огляд форм корпусів малотоннажних суден

Форма корпусу і морехідні якості. Однієї з найбільш важливих характеристик судна з погляду безпеки плавання в різноманітних гідрометеорологічних умовах є форма корпусу. Її проектування є дуже складною системою, великою за об'ємом, різноманітною за призначенням і використанням, яка дуже широко впливає на всі інші системи, які складають експлуатоване судно. Форма корпусу судна, будь він вузьким і витонченим, або широким і стрімким, важким і повільним, виражає саму суть його характеру. Форма визначає потужність, необхідну судну для його руху з певною, бажаною швидкістю, вона дозволяє встановити корисне навантаження, умови життєпридатності судна, технологію виготовлення, економіку його експлуатації. Але найважливішим є те, що ця форма істотно впливає на непотоплюваність, остійність і поведінку судна на хвилюванні. Останнє стає все більш суттєвим у проектуванні судна. Процес створення форми корпусу нового судна поки залишається унікальним проявом творчої інженерної думки. При високому рівні використання ЕОМ, тобто, при високому рівні автоматизації проектних робіт, інженерам-кораблебудівникам залишається більше часу для розгляду нових концепцій і проведення відповідних досліджень, що сприяють швидкому удосконалюванню проектів суден.

У даний час розроблено та експлуатується велика кількість програм, що забезпечують на початковій стадії проектування морських транспортних суден вибір рішень. При цьому, як правило, враховуються розрахункові оцінки і критерії, аналіз даних експлуатації, наявні теоретичні, експериментальні і практичні результати. Такі програми є дійсно потужною підмогою проектувальнику, який виконує проектування судна за допомогою ЕОМ. Виконання розрахунків на ЕОМ і широке використання машинної графіки сприяє скороченню виконуваних вручну графічних робіт, які потребують значних витрат часу і засобів.

Застосування ЕОМ при проектуванні малотоннажних суден є дуже незначним, хоча можливості тут дуже великі. Існуючі САПР для великих суден тут не

придатні через їх характерну теоретичну і практичну бази. Справа в тому, що багато морехідних якостей, їх критерії, методи розрахунку не однакові для великих морських суден і малотоннажних суден. Таке розходження дуже наочно можна побачити, порівнюючи, скажімо, ходовість, остійність, мореплавність рибальського сейнера і великого рибозаводу. Тому створення проектної бази для малотоннажних суден є нагальною проблемою. Створення проектної бази можливих форм корпусів таких суден пов'язане з аналізом, розробкою або добром відповідних розрахункових методик, створення баз даних тощо.

Мореплавність, в основному обумовлена хитавицею судна і остійністю, які тісно пов'язані одна з одною. Бортова хитавиця призводить до значного зниження остійності судна на хвилюванні в порівнянні з остійністю на тихій воді. Параметри бортової хитавиці до того ж впливають на ефективність і можливість використання суден за своїм призначенням.

Малотоннажні судна дуже істотно відрізняються один від одного формою корпусу і деякими, властивими тільки цим суднам, конструктивними особливостями. Суттєвий вплив форма корпусу має на амплітуди бортової хитавиці, які значною мірою обумовлені опором води коливальному руху судна. Найбільш зручною характеристикою опору форми корпусу коливанням на регулярному і нерегулярному хвилюванні є безрозмірний коефіцієнт демпфування бортової хитавиці, який являє собою відношення сил опору до сил інерції судна (з урахуванням приєднаної маси). Теоретичні засоби розрахунку цього коефіцієнта дотепер не дали задовільних результатів.

Найбільш надійним і точним засобом визначення безрозмірних коефіцієнтів демпфування для різноманітних видів хитавиці є експериментальний. Проте його доцільно застосовувати в основному для нових форм корпусів із застосуванням методів вільних або змушених коливань моделей суден у морехідному басейні. Цей спосіб дорогий і цілком неприйнятний на початковій стадії проектування за відсутності теоретичного креслення.

Останнім часом набувають все більшої популярності методи, що використовують різноманітного роду графіки, формули тощо [17]. Вони дають набли-

жені значення коефіцієнтів демпфування для певних типів суден і, як правило, без урахування бортових кілів, брускового кіля, наявності зламів корпусу. А для деяких форм корпусів розрахувати аналітично коефіцієнти демпфування дуже складно або неможливо без додаткових теоретичних і експериментальних досліджень. Останнє найбільшою мірою стосується різноманітного роду катерів, які мають дуже велике різноманіття форм.

Малі судна можна класифікувати за різними ознаками: призначенням, характером руху, районом плавання, конструкцією корпусу, типом рушія, мобільності транспортування тощо [18, 19]. За характером руху малі судна бувають: водотоннажними, тобто такі, які плавають з відносно невеликими швидкостями, при цьому судно утримується на поверхні води тільки статичними силами підтримки; глісуючими і рикошетируючими, які підтримуються при рухові гідродинамічними силами, що діють на днище; судна на підводних крилах (СПК), корпуси яких виходять з води завдяки гідродинамічним силам; судна на повітряній подушці (СПП), що використовують як піднімальну силу пружність повітря, яке нагнітається під днище; судна-екраноплани (судна з аеродинамічним розвантаженням), які використовують у своєму русі ефект екрану твердої стінки. Можливі також судна перехідного режиму руху, які використовують два роди сил підтримки : статичні і гідродинамічні.

Як правило, форма корпусу подається теоретичним кресленням. Малі водотоннажні судна можуть мати найрізноманітніші обводи, завдяки яким вони щонайкраще відповідають умовам експлуатації. По формі корпусу судна поділяють на круглоскулі і гостроскулі. У першому випадку перехід днища в борт виконується плавно, як правило, опуклою кривою, певного постійного або змінного радіуса (рис. Д.1, Д.2 дод. 1), у другому – днище і борт утворюють кут з добре вираженою гострою кромкою – скулою (рис.Д.3–Д.5 дод. 1). Є велика група суден з комбінованими обводами. До них можна, наприклад, віднести судна, які мають у носовій частині для досягнення високих показників мореплавності круглоскулі обводи, а в кормовій частині для підвищення остійності і зниження ходового диференту – обводи з гострою скулою (рис.Д.6 дод.1). У

всіх групах водотоннажних суден корпуси, можуть мати поперечні і поздовжні редани, а також різноманітні кілі (рис. Д.7 дод. 1).

Гостроскулі глісуючі судна мають дуже різноманітні форми обводів: плоскі і вигнуто-кілеваті (рис. Д.8 дод. 1), моногедрон (рис. Д.9 дод. 1), з гідролизою з бортовими спонсонами (рис. Д.10 дод. 1), тримарани (рис. Д.11, Д.12 дод. 1), морські сани (рис. Д.13, Д.14 дод. 1) тощо.

Як правило, форма обводів вибирається виходячи з вимог, специфічних для певних за своїм призначенням категорій суден. Найчастіше тут повинні бути враховані вимоги ходовості, остійності, життєпридатності і технологічності. Крім цього не менш важливим чинником є забезпечення мореплавності, вітро- і хвилестійкості. В загальному випадку ці задачі вирішені на високому науковому рівні [20, 21], але питання, пов'язані з визначенням гідродинамічних коефіцієнтів малотоннажних суден ще можуть бути у значній мірі доопрацьовані.

Класифікація шпангоутних перерізів. Основними характеристиками корпусу судна є головні розміри, їхні співвідношення, а також деякі розміри, що характеризують шпангоутні або інші перерізи, коефіцієнти повноти. Як відзначалося, мореплавність, в основному, визначається бортовою хитавицею, інтенсивність якої характеризується коефіцієнтом демпфування, при розрахунку якого застосовується метод плоских перерізів. Ідея цього методу полягає в підсумовуванні коефіцієнтів демпфування для кожного шпангоутного контуру по довжині судна. Коефіцієнти демпфування шпангоутного контуру обчислюються на основі теоретичного розв'язання крайової задачі про збурений шпангоутним контуром хвилястий рух рідини або на основі експерименту. Враховуючи те, що для деяких видів шпангоутних контурів відомі розрахункові графіки, є сенс провести узагальнення шпангоутних контурів, які зустрічаються найчастіше.

Найбільше поширення для водотоннажних суден мають круглоскулі обводи з плавними обрисами ватерліній і батоксів. Відношення L/B для таких суден, як правило, має значення 3,2–4,5. Великий вплив на ходовість і мореплавність має загострення ватерлінії в носовій частині: чим менше кут ватерлінії з ДП у носовій кінцевості (як правило, біля 12–20°), тим нижче висота хвилі і менша

кількість рідини втягується в коливальні рухи. Загострення ватерліній повинно сполучитися з достатнім розвалом носових шпангоутів для задовільної схожості на хвилю і запобігання zalиванню палуби. Звичайно шпангоутні контури мають достатньо велику кілеватість. Це дозволяє уникнути ударів корпусу об воду.

Аналіз теоретичних креслень малотоннажних суден, включаючи катери, глісери тощо, дозволили відібрати шпангоутні контури, що найчастіше зустрічаються, і класифікувати їх відповідно до рис. 2.1.

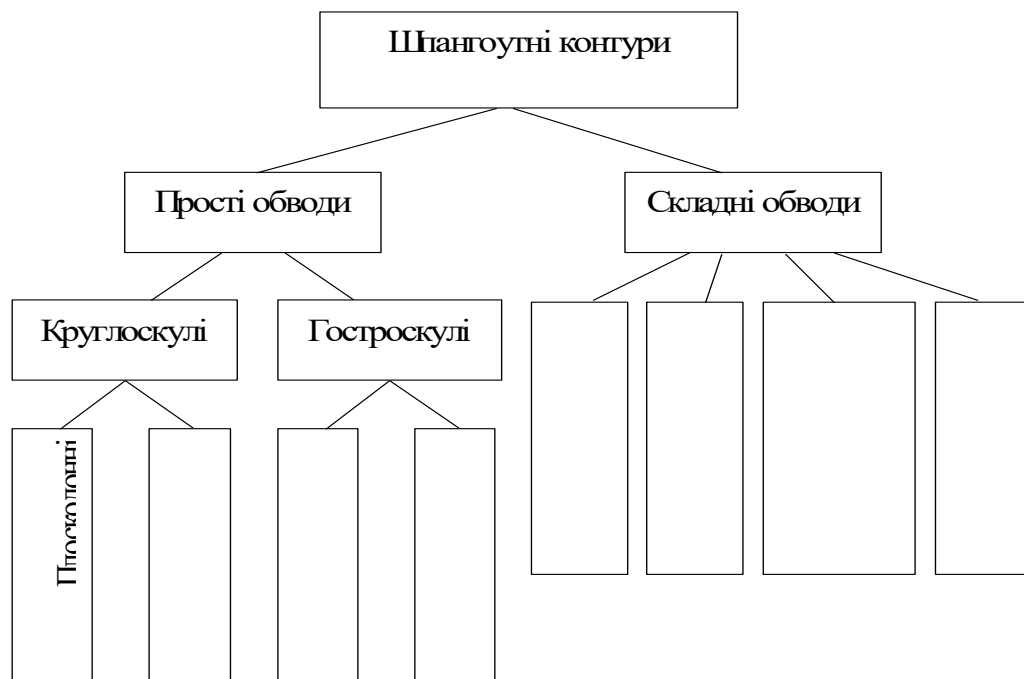


Рис.2.1.Класифікація шпангоутних контурів

2.1.4 Особливості забезпечення безпечного плавання малотоннажного судна в умовах впливу на нього вітру і хвилювання

Досвід мореплавання свідчить про те, що зараз, незважаючи на високий рівень конструктивної безпеки, наявність надійних засобів судноводіння загибель суден продовжує мати місце. Часто вона супроводжується людськими жертвами. Тому підвищення безпеки плавання продовжує залишатися актуальною проблемою [25].

Особливо загострює цю проблему розгляд аварійності малотоннажних суден, під якими розуміються судна довжиною в межах 5–25 м і водотоннажністю 1–100 т.

Слід зазначити, що у більшості країн надійна система реєстрації аварій таких суден відсутня. Це пов'язано з тим, що в межах однієї країни малотоннажні судна експлуатуються багатьма організаціями, а також приватними особами. Часто вони не зацікавлені повідомляти про аварії суден, що їм належать, або не вважають за потрібне це робити. Прихованню факту аварії малотоннажних суден сприяє і та обставина, що економічні наслідки від неї, у кожному конкретному випадку, практично завжди є незначними. Крім того, якщо навіть в результаті аварії судно затонуло (як правило на невеликій глибині), його як правило піднімають за допомогою плавучого крана або іншого засобу і після ремонту знову вводять в експлуатацію.

Наявні статистичні дані говорять про те, що найбільша частина аварій суден приходить на малотоннажні судна. Велику частину з них становлять буксири і промислові судна. Приблизно про те ж говорить і аварійна статистика, зібрана Управлінням охорони безпеки на морі, а також Міністерством перевезень і Управлінням морського і річкового промислу Японії. З 33326 суден, що потрапили в аварії за 13-літній період, починаючи з 1966 р. і до 1978 р. і які супроводжувалися людськими жертвами, 13747 (41,3%) мали валову місткість менше 20. Причому підкреслюється, що можливість виникнення аварій для таких суден у три рази вища, ніж для великих. Якщо ж говорити про людські жертви при аваріях малотоннажних суден, то їхнє число за цей період часу перевищило 30000 [25].

Водночас аналіз аварійної статистики показав, що найбільшу небезпеку для людського життя на воді має перекидання або повна втрата остійності. Дані ФРН за 20-літній період свідчать, що хоча судна, які перекинулися, складають тільки 17 % загальної кількості аварійних суден, проте з ними пов'язано біля половини людських жертв. У цілому троє загиблих із чотирьох були жертвами

недостатньої остійності. За даними США причиною загибелі у 35 % випадків було перекидання і в основному від перекидання тонули невеликі судна [25].

Для малотоннажних суден, у силу їхніх специфічних особливостей, втрата остійності взагалі є основним видом аварії. За можливістю виникнення вона перевершує інші типи аварій більш ніж у два рази. Все це свідчить, що проблема забезпечення безпечного плавання малотоннажного флоту в умовах вітрово-хвильового впливу продовжує залишатися актуальною. Щоб знизити гостроту цієї проблем, можна йти такими шляхами:

удосконалювати вимоги до остійності і непотоплюваності малотоннажних суден;

накладати на їх експлуатацію спеціальні організаційні обмеження;

забезпечувати навігаційну безпеку.

У зв'язку з особливою важливістю і безпосереднім зв'язком з процесом проектування підходи до нормування остійності, їх конкретні реалізації, а також особливості поведінки малотоннажних суден на схвильованій поверхні, що необхідно враховувати у вимогах до остійності, а, отже, і в процесі проектування, будуть розглянуті нижче докладніше. Також треба звернути увагу на забезпечення навігаційної безпеки.

Під навігаційною безпекою будемо розуміти спроможність судна за допомогою навігаційного забезпечення зберігати свої експлуатаційні якості. Для цього є радіонавігаційні системи різноманітної складності, які дозволяють судноводію отримувати інформацію про погодні умови району плавання, у якому знаходиться судно, і кращих курсах його руху при виході з району шторму. Проте у зв'язку з великою спільністю отримувати інформації про погодні умови і з габаритними розмірами, а також особливостями морехідних якостей малотоннажних суден для них проблема забезпечення навігаційної безпеки залишається невирішеною.

У зв'язку з цим варто підвищити спроможність судна автономно одержувати інформацію про хитавицю і прогнозувати її. Це можливо виконати за допомогою спеціальних апаратних навігаційних засобів. Серед таких існуючих за-

собів варто виділити розроблений в Японії наприкінці 60-х років пристрій тривожної сигналізації при хитавиці судна. Особливістю цього пристрою є те, що він при роботі подає сигнал тривоги, коли період хитавиці судна перевищує встановлений період. Недоліком пристрою варто визнати те, що він контролює тільки бортову хитавицю, не оповіщає завчасно про підхід контрольованого параметра до аварійного значення і спрацьовує при періоді бортової хитавиці, рівному або кратному періоду власних коливань судна. Вітчизняна електронна схема пристрою аварійної сигналізації при хитавиці судна дозволяє забезпечити можливість сигналізації з заданою завчасністю про настання аварійної хитавиці з урахуванням її переважного напрямку і швидкості наростання. Попереджувачий сигнал подається заздалегідь у момент, що коли вирішує пристрій визначає час досягнення хитавицею судна гранично припустимого значення амплітуди. Це здійснюється шляхом апроксимації з урахуванням швидкості наростання хитавиці, амплітуди і часу останнього виміру. Проте таке опрацювання інформації не дозволяє з достатньою достовірністю прогнозувати настання аварійної ситуації. У цьому плані більш перспективним повинно бути апаратне визначення можливості перекидання судна на основі інформації про бортову і кільову хитавицю судна (амплітуду і частоту) з урахуванням основних розмірів і типу судна.

Аварії суден від втрати остійності в умовах шторму класифікуються з погляду теорії надійності як найбільш важкі випадки відмов у роботі, пов'язані з загибеллю суден. Менш важкі випадки відмов у роботі, викликані хитавицею судна в помірних погодних умовах, пов'язані з різким погіршенням умов праці екіпажу і функціонування механізмів. На суднах видобувного і транспортного флоту це веде не тільки до зниження їх загальної працездатності, але й помітного зниження економічних показників.

Обидва типи відмов обумовлюються вичерпанням пасивних засобів захисту, безпосередньо пов'язаних із запасами граничної і початкової остійності, що формуються ще на стадії проектування суден. Тому основним призначенням норм остійності, що встановлюють необхідні розміри цих запасів, є зменшення

потоків станів відмов, спрямоване як на збільшення безпеки плавання, так і на збільшення працездатності та ефективності суден. Потоки станів відмов характеризуються імовірнісними характеристиками загибелі суден в умовах вітру і хвилювання, а також імовірнісними характеристиками порушень інших обмежень технічної стійкості суден. Вони тісно пов'язані з розмірами, що визначають можливість збереження судна в умовах шторму або можливість збереження його працездатності. Останні називаються показниками надійності судна по розділу "Остійність" або показниками граничної і помірної мореплавності.

Обчислення показників надійності, які базується на сучасних досягненнях нелінійної гідродинамічної теорії хитавиці суден, теорії перетворення випадкових полів тисків вітру і хвилювання в процесі хитавиці, теорії стохастичної стійкості процесів хитавиці і теорії надійності суден стосовно дії вітру, хвилювання та інших чинників, є найбільше досконалим апаратом нормування остійності. Всебічно визначаючи особливості поведінки суден на комплексі можливих умов експлуатації, таке обчислення дозволяє опрацювати найбільш раціональні прийоми збільшення надійності суден по розділу "Остійність" без втрат для інших його технічних показників. У основу цього підходу до нормування може бути покладена повноймовірнісна схема оцінки остійності судна на сукупності вітро- хвильових режимів його експлуатації [22].

Водночас, зараз продовжують існувати три підходи до нормування остійності:

перший оснований на нормуванні параметрів діаграми остійності;

другий базується на нормуванні характеристик вітро- хвильового режиму і наступної реакції судна на цей режим (обчисленні "критеріїв погоди") при зберіганні як нормативних деяких параметрів діаграми остійності;

третій оперує безпосередньо характеристиками надійності судна стосовно впливу вітру, хвилювання та інших чинників у заданому районі й умовах експлуатації.

Перший підхід (статистичний) був використаний для розробки вимог до остійності суден довжиною менше 20 м і для розробки вимог до рибпромисло-

вих суден, не піднаглядних Морському Регістру і Річковому Регістру колишнього СРСР. Співробітники ЦНДІ ім. акад. О.М.Крилова проаналізували розміри початкових метацентричних висот і параметри діаграм статичної остійності достатньо великої вибірки суден, довжиною 12–22 м, які успішно експлуатуються, так і загиблих у результаті перекидання, і запропонували встановити нижні межі для початкової метацентричної висоти і плеча максимуму діаграми статичної остійності при заданому куті крену. Також було запропоновано визначати так звану наперед достатню початкову метацентричну висоту. Крім того, в обох документах вводяться обмеження на інтенсивність хвилювання в залежності від розмірів судна або його класу. Таким чином, приймається, що судну забезпечена безпека плавання при обумовленій інтенсивності хвилювання, якщо задовольняється ряд тривіальних обмежень.

Незважаючи на те, що розроблені на основі даного підходу вимоги до остійності офіційно визнані, їх не можна назвати прийнятними. При такому підході гранично спрощується рішення проблеми забезпечення безпечного плавання. У результаті дана статистична система нормування остійності малотоннажних суден:

- не виділяє домінуючі чинники остійності;
- не встановлює функціональних залежностей між характеристиками судна і чинниками зовнішніх впливів в умовах експлуатації;
- не відбиває вплив індивідуальних конструктивних особливостей і архітектурного типу суден;
- не визначає характеристики працездатності і безпеки плавання конкретного судна;
- не дозволяє здійснити пошук оптимального складу вимог до остійності малотоннажних суден з метою максимізації характеристик їх безпеки.

Наприклад, відомо, що відновлюючі можливості судна і його потенційні ресурси остійності істотно залежать не тільки від величини початкової метацентричної висоти і плеча максимуму діаграми статичної остійності, але також і від водотоннажності. Останнє в малотоннажних суднах може відрізнятися на

два порядки. Не враховувати цю обставину в нормативних вимогах до остійності, очевидно, не можна. Другий підхід зв'язує характеристики судна з критичними в сенсі стійкості параметрами вітро- хвильового впливу. Цей підхід використаний при написанні вимог до остійності Річкового Регістру. Вихідними теоретичними передумовами цих вимог є аналіз розрахункових ситуацій і реалізація принципу розподілу суден на класи в залежності від гідрометеорологічної обстановки в районах плавання і потенційних можливостей суден. Як основну розрахункову ситуацію розглядають положення судна відносно вітру і хвилювання, що як правило викликається маневром, а також відмовою в роботі машини або рульового пристрою.

Судно вважається таким, що задовольняє вимогам до остійності в розрахунковій ситуації лагом до вітру і хвилювання, якщо воно при плаванні на спокійній воді або на хвилюванні (відповідно до класу судна) витримує прикладений кренувальний момент від тиску вітру $M_{кр}$:

$$M_{кр} \leq M_{доп},$$

де $M_{доп}$ – гранично допустимий момент, який відшукується в результаті рішення задачі на визначення мінімального динамічно прикладеного моменту, при якому судно перекидається. При цьому приймається, що раптово прикладений вітровий момент починає діяти при найбільшому нахиленні судна на навітряний борт, викликаному хитавицею на нерегулярному хвилюванні.

Необхідно відзначити, що, хоча при другому підході норми остійності будуються на фізичній моделі, а не на механічному опрацюванні статистичних даних, недосконалість закладеної в чинні вимоги Річкового Регістру моделі робить їх непридатними для малотоннажних суден. Це спонукало у свій час, Морський Регістр відмовитися від перевірки остійності за "критерієм погоди" і зробити крок у напрямку до тривіальних обмежень. Недосконалість полягає в тому, що теперішній основний критерій остійності характеризує перекидання судна як результат, обумовлений дією вітру, хвилювання при цьому грає допоміжну роль як джерело початкового, не рівного нулю, значення кінетичної енергії. У зв'язку з цим, при відсутності вітру і довільному збільшенні інтенсивно-

сті хвилювання, основний критерій остійності не дозволяє зареєструвати ефект перекидання судна тільки під дією хвилювання.

Аналіз існуючих проектів суден довжиною до 25 м показав, що їхні власні частоти бортових коливань, як правило, розташовуються в області частот максимумів спектрів хвилювання силою 1–5 балів і малотоннажне судно, як правило, резонує на хвилюванні. Тому роль хвилювання в загальному балансі силового впливу на малотоннажні судна очевидно істотна.

Необхідно також врахувати, що такі судна мають відносно невелику площу парусності і малі значення аплікати центра парусності. У результаті основний критерій (або “критерій погоди”) не дає об’єктивної картини запасів остійності. Для малотоннажних суден є характерним перевищення гранично допустимого моменту над кренуючим у 5–20 разів. Проте нові результати теоретичних досліджень, їхня експериментальна перевірка за даними натурних спостережень дозволяє в даний час реалізувати другий підхід на принципово новій основі: критерії стохастичної стійкості, отриманому в результаті становлення теорії перетворення випадкових полів тиску вітру і рідини, що хаотично хвилюється, у процеси хитавиці судна і теорії технічної стійкості суден [22].

Ці результати дозволяють не тільки більш повно описати механізм взаємодії судна з вітром і хвилями, але і реалізувати як нормативні вимоги комплекс заходів, спрямованих на запобігання значної надлишкової початкової остійності, що призводить до різкої рвучкої хитавиці та інших, пов'язаних з нею негативних явищ. Цей комплекс заходів разом з основним критерієм нормування: критерієм стохастичної стійкості (імовірнісним “критерієм погоди”) дозволяє здійснити прогноз прийнятних значень показників надійності судна стосовно впливу вітру і хвиль, проте за своєю суттю він може бути використаний тільки як основа для подальшого дослідження надійності судна в штормових умовах плавання.

Третій підхід, не викликаючи труднощів теоретичного характеру при впровадженні в практику нормування остійності суден своїх підсумкових результатів – показників надійності, призводить у даний час до досить громіздких

числових розрахунків, які можуть бути реалізовані тільки за допомогою ЕОМ. Він не задовольняє вимогам простоти і компактності норм, проте може бути використаний у процесі створення норм остійності для уточнення нормативних значень величин, які обмежуються, що у достатній мірі характеризують необхідний набір властивостей судна.

З огляду на вищевикладене, було визнано доцільним звести нормування остійності малотоннажних суден на основі удосконалювання другого підходу в системі нормування остійності, максимального наближення його до наступної реалізації вищого ступеня норм – обчисленні показників надійності судна по розділу "Остійність". При цьому обов'язковою умовою для забезпечення безпечної експлуатації малотоннажних суден шляхом формування вимог до їх остійності є сукупність таких необхідних властивостей:

- здатність судна витримувати статичні навантаження;

- здатність судна витримувати динамічні впливи.

Здатність витримувати статичні навантаження при відносно малих їх розмірах пропонується забезпечити введенням обмеження по початковій остійності – кутові крену в одній з розрахункових ситуацій:

- при скупченні пасажирів на борту;

- при прямованні на сталій циркуляції;

- при дії того або іншого чинника одночасно тощо.

Здатність судна витримувати динамічні впливи пропонується забезпечити формуванням вимог до динамічної остійності в таких розрахункових ситуаціях:

- у положенні лагом до вітру і хвилювання в умовах шторму на відносно глибокій воді;

- при ривку буксирного троса на хвилюванні тощо.

Таким чином, з приводу питання про нормування остійності малотоннажних суден необхідно відмітити, що в даний час існують і діють норми остійності для таких суден, розроблені при принципово різних підходах. Морський Регістр перевіряє остійність по системі тривіальних обмежень, а Річковий Регістр – по основному критерії остійності. Тому при створенні малотоннажних суден

(а вони експлуатуються і на внутрішніх водоймищах, і в морях, і в океанах) проектувальнику приходится звертатися і до одного, і до іншого документу. Є також методика імовірнісної оцінки показників безпеки плавання, розроблена В.О.Некрасовим. Тому при створенні малотоннажних суден усі розглянуті методи оцінки остійності повинні бути старанно проаналізовані й враховані.

Виконані дослідження, які включали аналіз аварійної статистики і систематичні розрахунки показників запасів остійності реальних суден, дозволили виявити наступні особливості поведінки малотоннажних суден в умовах впливу на них достатньо інтенсивних вітро-хвильових режимів [24].

1) Аварійна статистика свідчить про те, що великі судна в основному гинуть від втрати остійності в положенні лагом до вітру і хвилювання. Середні судна (довжиною менше 80 м) також часто гинуть при русі на попутному хвилюванні. Для малих суден (довжиною менше 25–30 м) крім перерахованих вище небезпечних ситуацій небезпечним може виявитися хвилювання, яке руйнує. Тому малотоннажне судно можна вважати дійсно остійним, якщо забезпечена його безпека в розрахунковому районі плавання при положенні лагом до набігаючого хвилювання і вітру, при русі на побіжному хвилюванні або хвилюванні з косих кормових курсів, і, крім того, судно здатне витримувати ударні навантаження хвиль, що руйнуються. Аналіз параметрів, які впливають на остійність загиблих суден показав, що для забезпечення безпечного плавання на попутному або близькому до нього хвилюванні і в зоні хвилювання, що руйнується, малотоннажному судну необхідні значно більші потенційні запаси, чим при положенні лагом. Наприклад, робочий катер пр.РМ1, спроможний витримати в положенні лагом до хвилювання на глибокій воді 5–6-бальний шторм, перекинувся, намагаючись досягти захисту на попутному хвилюванні при його інтенсивності усього 4 бали.

У зв'язку з цим можна припустити, що якщо малотоннажне судно, призначене для експлуатації в заданому районі, витримує на межі остійності найбільш інтенсивний для даного району режим штормування лагом до вітру і хвилювання на відносно глибокій воді, то переміщення цього ж судна в зону прибе-

режного хвилювання, що руйнується, обов'язково призведе його до загибелі від втрати остійності. Також спроба при експлуатації судна в граничних погодних умовах рухатися зі швидкістю, близькою до швидкості бігу хвилі, попутними стосовно хвилювання курсами.

Таким чином, безпеку малотоннажного судна необхідно оцінювати в трьох розрахункових ситуаціях. Проте практично це виконати зараз складно. Більшість існуючих методів визначення остійності суден на хвилюванні засновані на статичній постановці судна на хвилю і вимагають розрахунку по теоретичному кресленню [27]. Спроба розробити відносно просту методику для визначення відновлювального моменту на попутному хвилюванні була виконана Ю.І. Нечаєвим [28]. На підставі аналізу випробувань систематичної серії моделей промислових суден була отримана наближена формула для оцінки зміни плеча діаграми статичної остійності судна при русі на хвилюванні з кормовими косими курсами. Незважаючи на те, що дана методика була у свій час рекомендована Регістром до використання, вона не прижилась. Аналогічна ситуація склалася і з засобами визначення чинних імпульсних навантажень від хвилювання, що руйнується. Для зменшення ризику загибелі суден у таких ситуаціях звичайно накладаються організаційні обмеження на експлуатацію. Наприклад, Морський Регістр обмежує швидкість руху для суден довжиною менше 20 м при русі на попутному хвилюванні.

2) Алгоритм розрахунку критеріїв остійності, розроблених у МКІ, дав можливість оцінити ступінь небезпеки кожної зі складових зовнішнього збурення, що діє на судно – кренувального моменту від середньої складової швидкості вітру, пульсаційні компоненти швидкості вітру і хвилювання. Для цього були проведені спеціальні розрахунки остійності реальних проектів малотоннажних суден. Результати розрахунків показали:

тиски від середньої складової швидкості вітру практичної небезпеки для малотоннажних суден не мають. Кут крену від цієї складової зовнішнього збурення є завжди малою величиною (як правило, не перевищує 50). У районах

експлуатації для яких призначена переважна кількість суден довжиною менше 20 м, він узагалі малий ($0,5^\circ$ – 3°);

внесок пульсаційної складової швидкості вітру не можна оцінити однозначно. Для суден з відносно малою площею парусності і достатньо великою метацентричною висотою пульсації швидкості вітру не мають помітного впливу на бортову хитавицю (збільшують амплітуду приблизно на 1–10 %). Проте при збільшенні площі парусності і зменшенні початкової метацентричної висоти вплив пульсацій різко зростає. При їх урахуванні амплітуда бортової хитавиці може збільшитися в 1,5–2 рази. Пульсації вітрового навантаження можуть внести помітний внесок також при великих середніх швидкостях вітру ($v > 17$ м/с);

інтенсивність хвилювання завжди дуже впливає на значення коефіцієнтів запасів остійності малотоннажних суден. Цей вплив тим більш значний, чим більша початкова метацентрична висота і чим менша здатність судна гасити ці збурення.

Таким чином, для малотоннажних суден динамічні складові зовнішнього навантаження мають більшу небезпеку, ніж статично прикладений кренувальний момент від тисків, обумовлених середніми швидкостями вітру. Здатність судна сприймати динамічні навантаження істотно залежить від його частоти вільних коливань і, зокрема, від початкової метацентричної висоти. Чим вона менша, тим судно краще сприймає накачування енергії від хвилювання. З іншого боку, судно повинно задовольняти додатковим вимогам до остійності, які потребують достатню початкову остійність. Тому спроможність судна витримувати статичні навантаження при відносній їхній малості переплітається з властивістю сприймати накачування енергії. Це потребує пошуку компромісного рішення, а також дотримання певної послідовності операцій.

Таке рішення може бути отримане в процесі проектування малотоннажного судна початковим вибором мінімально можливого значення початкової метацентричної висоти, що дозволило б одержати максимальне значення періоду вільних коливань судна, змістити його "власну" частоту до області низьких час-

тот і забезпечити тим самим входження в "резонанс" на нерегулярному хвилюванні тільки наприкінці або за межами можливого частотного діапазону умов експлуатації. Цим будуть забезпечені помірність і повільність хитавиці судна в значному діапазоні умов експлуатації, різко підвищиться його працездатність, а, отже, і економічна ефективність.

3) Дослідження змін характеристик бортової хитавиці судна при наростанні інтенсивності вітру і хвилювання показало, що вони різко збільшуються при наближенні середньої частоти хвилювання до частоти його вільних бортових коливань. Якщо подальший розвиток хвилювання відбувається достатньо плавно, то дуже помітного посилення процесу бортової хитавиці не спостерігається, він розвивається при проходженні через "резонанс" і як би стабілізується на "зарезонансних" режимах. Подальше посилення процесу бортової хитавиці має місце, в основному, за рахунок імпульсних ударів гребенів хвиль, що руйнуються, коли зони руйнації починають досягати помітних значень, а також за рахунок збільшення вітрових компонент зовнішнього збурення.

Слід зауважити, що у більшості малотоннажних суден частоти бортових коливань розташовуються в області частот максимумів спектрів хвилювання силою 1–5 балів. Це свідчить про те, що у своєму районі експлуатації вони з великим ступенем імовірності можуть піддаватися резонансній бортовій хитавиці.

Відомо, що кількість потужності, що подається від хвилювання визначається ординатами спектральної щільності, яка істотно залежить від вибору розрахункового спектра хвилювання і ступеня його розвиненості. При "резонансі" бортової хитавиці на нерегулярному хвилюванні виявилось, що в умовах, близьких до насичення процесу бортової хитавиці, найгіршим для судна є хвилювання, яке розвивається, що має короткі і круті гребені хвиль.

Що стосується розрахункового спектра хвилювання, то в даний час є достатньо велика кількість наближених формул. Вибір конкретної формули повинен залежати від майбутніх районів експлуатації. Принаймні, необхідно використовувати спектр для внутрішніх водойм, а також для відкритих акваторій

(наприклад, Вознесенського-Нецветасва або Джонсвел) і їх прибережних районів.

2.2 Особливості проектних розрахунків малотоннажних суден

2.2.1 Розрахунок потужності головного двигуна

Характерною рисою малотоннажних суден є великий діапазон експлуатаційних швидкостей, який визначає різноманітні режими руху по відносній швидкості руху. Ця якість суттєво відрізняє малотоннажні судна від морських транспортних, пасажирських і інших суден великої водотоннажності.

Як відомо, відносною характеристикою руху (відносною швидкістю) судна є безрозмірне число Фруда, що визначається виразом:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}},$$

де v – швидкість судна, м/с;

L – довжина судна.

Число Фруда малотоннажного судна, як правило, змінюється в діапазоні 0,35–2,0, у той час, як великі морські судна експлуатуються при значно менших відносних швидкостях.

Відносні швидкості експлуатації унаслідок великої енергооснащеності визначають появу на переважній більшості малотоннажних суден значних гідродинамічних сил. Особливості форми корпусу малотоннажного судна, яке відрізняється співвідношенням головних розмірів, коефіцієнтів форми, положенням центру прикладення сил, дозволяє використовувати динамічні сили підтримки і експлуатувати малі судна як у звичайному – водотоннажному режимі так і в перехідному режимі, режимі часткового і повного глісування.

Зазначені відмінності малотоннажних суден не дозволяють застосовувати широко відомі методи оцінки буксировального опору і потужності, які використовуються для великих суден, і потребують використання оригінальних методів розрахунку опору.

Строго говорячи, достовірний результат може бути отриманий шляхом буксировальних випробувань натурного судна або, найбільш близьким до досто-

вірного – шляхом модельних випробувань проектного судна і перерахунку отриманого результату. Проте рішення задачі в такій постановці на початковій стадії проектування недоцільне через великий об'єм, вартість і терміни проведення випробувань. Практичний шлях рішення може ґрунтуватися на методах регресивного аналізу при оцінці впливу характерних параметрів суден на розмір їх опору руху для експлуатованих малотоннажних суден і моделей за даними їх випробувань, або на узагальнених результатах серійних випробувань моделей однотипних з проектованим судном. Зараз немає теоретичного рішення задачі ходовості малотоннажного судна з необхідною для практики точністю, так само, як і немає відпрацьованих узагальнених аналітичних рішень на основі статистичного опрацювання даних.

Однією з причин такого стану є дуже велике різноманіття типів корпусів малотоннажних суден, специфіка експлуатаційних режимів (навантаження, у першу чергу), значний для розмірів цього класу суден вплив на розмір загального опору конструктивних і технологічних відхилень від теоретичної моделі або серії моделей, складності в проведенні натурних випробувань.

Винятком можна назвати номограму Морана і Шоу [19], яка є результатом статистичного опрацювання 207 експлуатованих катерів, і охоплює практично все різноманіття малотоннажних суден по визначальних параметрах:

довжина, L – 3–26 м;

водотоннажність, V – 1–35 м³;

потужність двигуна, N – 7–500 кВт.

Проте зазначена номограма носить загальний і неконкретний характер по основних параметрах, що впливають, і не може бути використана безпосередньо при розв'язанні проектних задач. Дозволяючи оцінити швидкість по трьох зазначених параметрах, вона не дає прямого рішення, коли по заданій швидкості потрібно визначити буксирувальну потужність. Крім того, узагальнення в параметрі V конструктивних особливостей усіх можливих корпусів, а в параметрі N – особливостей усіх типів двигунів і рушіїв може призвести до грубих помилок.

Через відсутність єдиної залежності для оцінки опору руху, що враховує тип корпусу і визначає його параметри, для вирішення задачі ходовості малотоннажного судна велике значення має поділ по загальних ознаках суден на характерні групи, для кожної з яких можна сформувати узагальнену математичну модель оцінки опору руху, тобто класифікувати судна, поклавши в основу розрахункової моделі результати систематичних серійних випробувань корпусів, які відповідають виділеним групам.

Найбільш доцільним на цьому етапі є поділ усієї множини малотоннажних суден на групи за ознакою приналежності до того або іншого режиму руху, тобто по відносній середній експлуатаційній швидкості, з наступним поділом усередині кожної групи розрахункових методик за ознакою "тип корпусу", який враховує особливості обводів (рис. 2.5).

Підхід, оснований на формуванні математичної моделі при поділі малотоннажних суден за їх призначенням, є проблематичним, оскільки ті самі базові проекти у малотоннажному флоті можуть використовуватися для різноманітних цілей при їх несуттєвій модернізації.

Винятком можуть бути вузькоспеціалізовані судна: мотозавозні, буксири, шлюпки і деякі інші. У цьому випадку призначення судна визначає характерну геометрію корпусу і режим руху. Проте, ця особливість спеціалізованих суден не суперечить класифікації за ознакою "режим руху" як найбільш загальною, а у випадку формування характерної розрахункової моделі для цих типів малотоннажних суден останні можуть сформувати окрему підгрупу усередині групи.

Відповідно до гідродинамічних особливостей руху судна можна виділити чотири характерних діапазони по відносній швидкості:

I – водотоннажний режим руху:

$$Fr_{\nabla} = 0 \dots 1 \text{ або } Fr = 0 \dots 0,42;$$

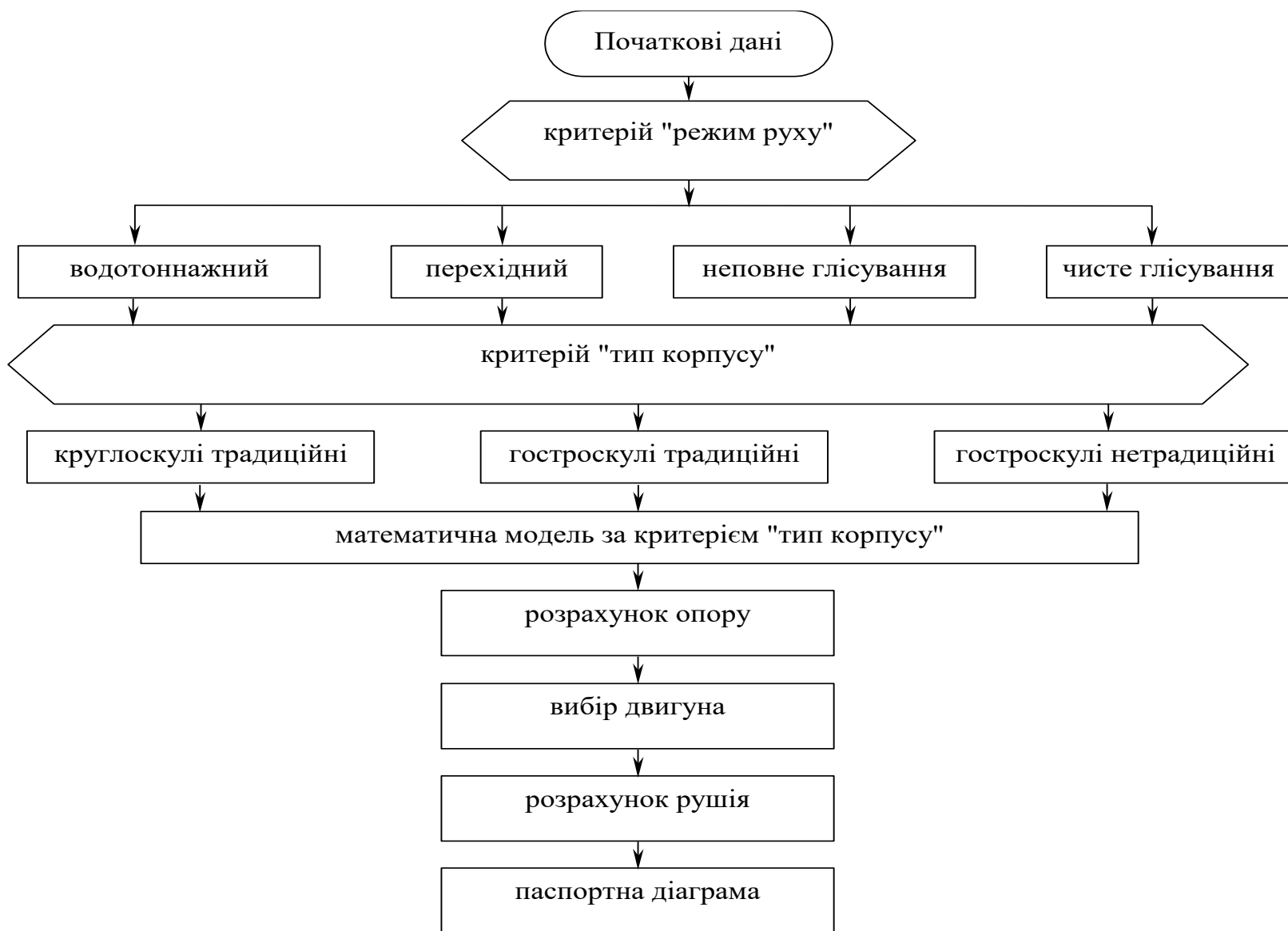


Рис.2.5 Блок-схема загального вирішення задачі ходовості

II – перехідний режим руху:

$$Fr_{\nabla} = 1-3 \text{ або } Fr = 0,42-1,25;$$

III – режим часткового глісування:

$$Fr_{\nabla} = 3-5 \text{ або } Fr = 1,25-1,80;$$

IV – режим повного глісування:

$$Fr_{\nabla} > 5 \text{ або } Fr > 1,80,$$

де $Fr_{\nabla} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \sqrt[3]{V}}}$ – число Фруда по водоводотоннажності, яке прийнято

вважати більш обґрунтованою характеристикою виділених режимів руху.

Режим руху, при якому хвилеутворення практично відсутнє і форма корпусу не впливає на загальний опір, зветься "режим дрейфу". Для цього режиму $Fr \leq 0,1$.

"Тип корпусу" як підрозділ у групі, об'єднаної ознакою "режим руху", є, у певній мірі, наслідком приналежності до цього режиму й урахування експлуатаційних вимог до малотоннажних суден. Цей підрозділ складають судна з круглоскулними традиційними обводами, круглоскулі зі сплющеним днищем і транцевою кормою, традиційні гостроскулі: "исоїда", "моногодрон", "глибоке V"; гостроскулі нетрадиційні: "кафедрал", "сани Фокса", реданні різноманітних типів тощо.

Режим руху передбачає у своїй основі оптимальні (що рекомендуються) форми корпусів. Проте це не виключає появи інших форм. Причиною їх появи можуть послужити додаткові вимоги, що накладаються особливостями режиму експлуатації і виділення тих або інших якостей судна.

Для $Fr_{\nabla} = 0-1$, можна рекомендувати круглоскулі обводи зі звичайною заокругленою формою кормової кінцевості [19];

$Fr_{\nabla} = 1-2, 2-3$ – круглоскулі обводи зі сплющеною у кормі ділянкою днища і транцевою кормою, а також гостроскулі обводи типу "исоїда" ("закруглене днище");

$Fr_V = 3-4$ – гостроскулі обводи з помірною кілеватістю типу "моногедрон";

$Fr_V > 4$ – гостроскулі кілеваті обводи;

$Fr_V > 5$ – обводи типу "глибоке "V".

Рекомендовані обводи є характерними для відповідного режиму руху і, як відзначалося, не виключають появи проміжних, компромісних рішень: "сани Фокса" як приклад високошвидкісного судна при задовільних загальних морехідних якостях; "кафедрал" або "тримаран" – приклад вдалого рішення високошвидкісного судна у поєднанні з хорошою мореплавністю, остійністю і керованістю тощо.

З урахуванням існуючих розробок рекомендується доцільним на початкових стадіях проектування задачу ходовості вирішувати у такій постановці, при якій тип обводів корпусу вибирається проектувальником виходячи з вимог дотримання режиму руху (досягнення заданої швидкості) і режиму експлуатації.

Принципова схема такого підходу показана на рис. 2.6.

Проведений аналіз існуючих методів розрахунку ходовості малотоннажних суден дає змогу зробити висновок, що найбільш повно викладені методи розрахунку режиму глісування. Цій задачі присвячені численні публікації вітчизняних і закордонних дослідників [26].

У той же час у літературі слабо освітлені питання ходовості малотоннажних суден водотоннажного і перехідного режиму руху, для якого рекомендованими є круглоскулі обводи. До робіт у цій області варто віднести результати випробувань серії моделей В.Л. Єрошина [27].

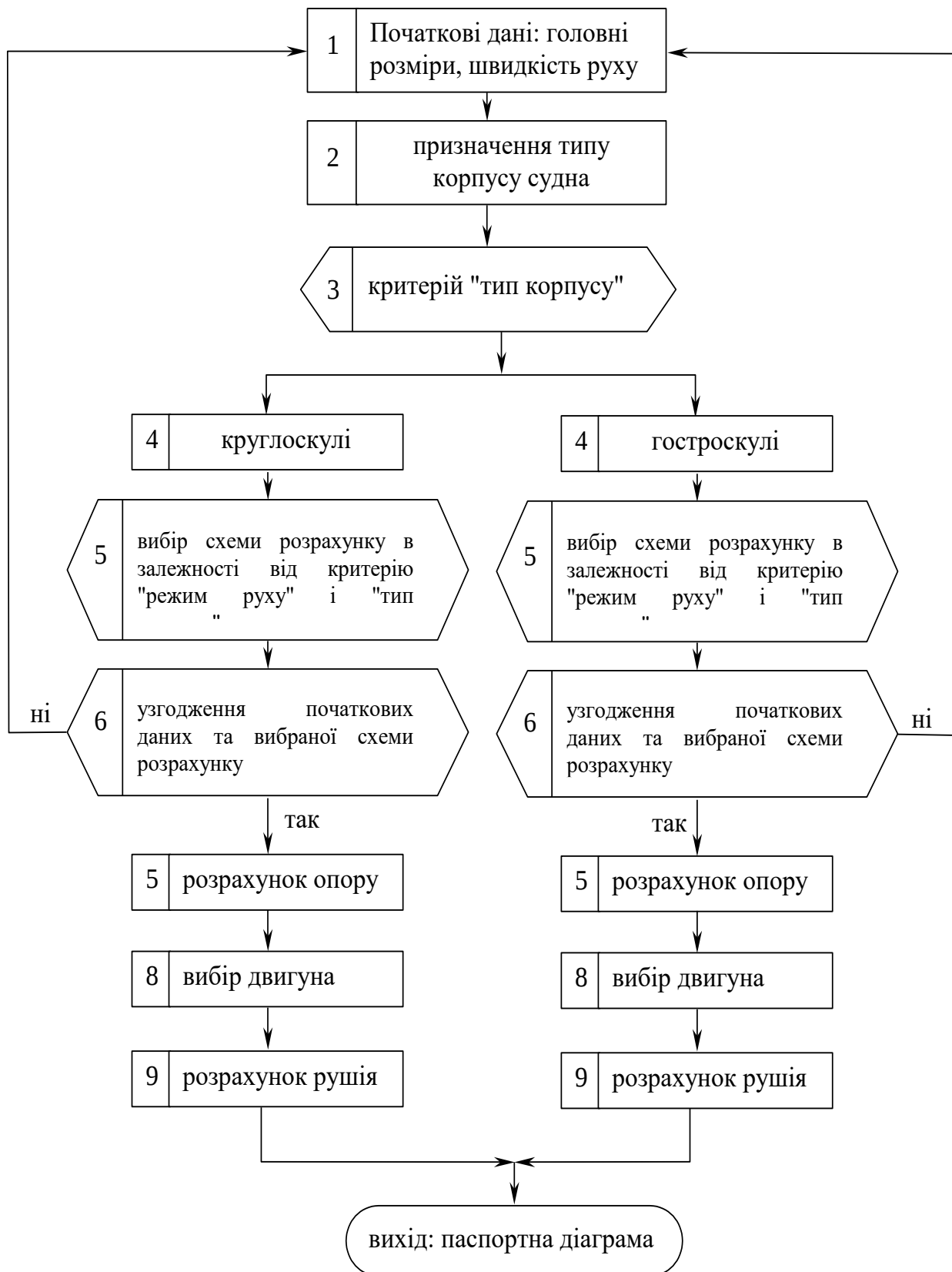


Рис.2.6 Блок-схема спрощеного вирішення задачі ходовості

Аналіз результатів випробувань систематичних серій моделей, проведених за рубежом [28–30], і діапазону їхній застосування, дозволяє встановити, що

для малотоннажних суден характерна велика чутливість розміру буксировочного опору до варіацій параметрів корпусу. Аналіз величини зміни параметрів корпусів малотоннажних суден, які експлуатуються зараз і припустимих меж використання різноманітних серій моделей і розрахункових методик показує, що жодна із серій моделей або методика не може претендувати на повноту охоплення суден навіть одного круглоскулого типу обводів корпусу по всім параметрам, що його визначають.

Певний інтерес дають розрахункові методики, що є результатом статистичного опрацювання ходовості великих груп малотоннажних суден округлого типу обводів: (методики "Holtrop" [29] і "Oortmersen" [28]).

Розрахункові методики "Holtrop" і "Oortmersen" є дещо обмеженими по відносних швидкостях руху і не можуть бути застосовані без додаткової доробки до круглоскулих корпусів на всьому діапазоні їх застосування.

У результаті проведеного аналізу для розрахунку повного опору руху малотоннажного судна для водотоннажного і перехідного режиму (число Фруда по водотоннажності $Fr \leq 3$) обрані два способи [28,29], що мають мінімальну відносну похибку 10 % у порівнянні з іншими проаналізованими методами.

Для визначення ККД рушіїв судна можуть бути рекомендовані формули Карпова [31,32], отримані на підставі висновків теорії ідеального рушія з урахуванням його навантаженості. Величину коефіцієнтів попутного потоку і засмоктування можна визначати виразами, наведеними в роботі [33].

2.2.2 Особливості розрахунку навантаження мас, оцінки місткості і вибору головних елементів малотоннажного судна

У початкових стадіях розробки проекту ступінь розбивки навантаження на укрупнені складові продиктована тією особливістю їх формування, при якій відносні частки складових мас мають приблизно один порядок. Цей висновок отриманий при аналізі складових масового навантаження робочих, буксирних, водолазних і службово-роз'їзних катерів і визначенні характерного її складу

(табл. 2.4). Дані табл. 2.4 можуть служити для орієнтовної оцінки складу навантаження, а також при визначенні водотоннажності проектного судна.

З огляду на це, а також на рекомендації авторів ряду робіт із проектування суден [34,35], можна зробити розбивку навантаження по наступним складовим. P_k – корпус; $P_{об}$ – обладнання; P_c – системи; $P_{мех}$ – механізми; $P_{ел}$ – електрообладнання; $P_{зб}$ – забезпечення; $P_{ек}$ – екіпаж, провізія, вода; $P_{п}$ – паливо; $P_{вн}$ – вантаж; P_6 – баласт.

Через відсутність систематизованих даних із розрахунку складових навантаження мас малотоннажних суден зазначених типів були оброблені дані по 63 суднах і отримані розрахункові залежності, які дозволяють з достатньою для передескізної стадії (відносна похибка 0,7–15 % для різноманітних складових) визначати повну водотоннажність.

Таблиця 2.4. – Характерний склад навантаження малотоннажних суден деяких типів, %

Найменування статті навантаження	Робочі	Водолазні	Буксирні	Службово-роз'їзні	
				сталь	АМГ
Металевий корпус	20,6 ÷ 25,1	28 ÷ 29,5	34,0 ÷ 35,2	35,5 ÷ 36,2	18,0 ÷ 21,1
Надбудови	25 ÷ 3,5	3,3 ÷ 4,5	2,7 ÷ 3,0	3,2 ÷ 3,5	0,06 ÷ 2,1
фундаменти	2,0 ÷ 3,1	2,5 ÷ 3,2	3,5 ÷ 3,7	2,7 ÷ 2,9	0,3 ÷ 2,1
Неметалеві частини корпусу	7,0 ÷ 7,8	7,0 ÷ 9,0	5,3 ÷ 5,6	6,5 ÷ 6,9	4,0 ÷ 8,3
Виробні речі	2,7 ÷ 3,8	3,3 ÷ 4,9	4,2 ÷ 4,6	3,2 ÷ 4,1	2,6 ÷ 5,3
Рульовий пристрій	0,7 ÷ 1,2	1,0 ÷ 2,0	1,3 ÷ 1,6	1,1 ÷ 1,3	1,5 ÷ 4,2
Якірний пристрій	1,4 ÷ 1,6	2,0 ÷ 3,1	1,5 ÷ 1,7	0,8 ÷ 1,1	0,2 ÷ 0,9
Інші суднові пристрої	1,6 ÷ 1,8	1,7 ÷ 3,3	4,5 ÷ 4,8	0,2 ÷ 0,4	0,4 ÷ 2,5
Суднові системи	2,3 ÷ 3,3	9,8 ÷ 11,5	7,9 ÷ 8,1	1,5 ÷ 1,6	0,6 ÷ 6,1
Енергетична установка	5,0 ÷ 5,8	8,1 ÷ 7,9	7,8 ÷ 8,1	22,0 ÷ 24,2	24,6 ÷ 30,2
Електрообладнання	3,6 ÷ 5,5	4,4 ÷ 6,7	8,3 ÷ 8,6	4,6 ÷ 5,7	4,3 ÷ 10,0
Баласт	0,6 ÷ 2,5	0,3 ÷ 2,3	–	–	–
Забезпечення	1,3 ÷ 2,3	5,0 ÷ 5,6	2,0 ÷ 2,3	0,8 ÷ 1,2	1,8 ÷ 3,0
Вантаж	30,1 ÷ 32,1	–	4,0 ÷ 5,0	2,2 ÷ 6,7	3,9 ÷ 18,0
Паливо	2,9 ÷ 3,4	3,7 ÷ 4,2	5,9	3,3 ÷ 3,7	2,8 ÷ 7,6
Обладнання приміщень	2,4 ÷ 3,1	3,5 ÷ 4,9	1,9 ÷ 2,2	2,0 ÷ 5,2	2,2 ÷ 6,8
Екіпаж	2,3 ÷ 4,0	5,5 ÷ 6,5	2,3 ÷ 3,0	1,5 ÷ 1,7	2,2 ÷ 5,5

На підставі даних робіт [34,35] можна запропонувати такі залежності для розрахунку складових водотоннажності судна:

$$P_k = q_k \delta^{1/3} L^{4/3} (B+H);$$

$$P_{об} = q_{об} (LBH)^{2/3};$$

$$P_c = q_c LBH;$$

$$P_{ек} = q_{ек} n_{ек} + A n_{ек} q_{пр} + A n_{ек} q_v;$$

$$P_{мех} = q_{мех} N;$$

$$P_{ел} = q_{ел} LBH;$$

$$P_6 = q_6 LBH;$$

$$P_{зб} = q_{зб} (LBH)^{2/3};$$

$$P_{п} = q_{п} \frac{L_{пл}}{v_s} N.$$

У наведених формулах позначено:

q_k – вимірник маси корпусу, $\text{кг} \cdot \text{м}^{(-7/6)}$;

$q_{об}$ – вимірник маси обладнання, $\text{кг} \cdot \text{м}^{(-2)}$;

q_c – вимірник маси систем, $\text{кг} \cdot \text{м}^{(-3)}$;

$q_{мех}$ – вимірник маси механізмів, $\text{кг} \cdot \text{кВт}^{(-1)}$;

$q_{ел}$ – вимірник маси електрообладнання, $\text{кг} \cdot \text{м}^{(-3)}$;

$q_{зб}$ – вимірник маси забезпечення, $\text{кг} \cdot \text{м}^{(-3)}$;

$q_{п}$ – вимірник маси палива, г/кВт-год ;

L – довжина судна між перпендикулярами, м;

B – ширина судна, м;

H – висота борту, м;

T – осадка, м;

δ – коефіцієнт загальної повноти;

v_s – швидкість руху, вузли;

$L_{пл}$ – дальність плавання, милі;

N – потужність, кВт;

$n_{ек}$ – кількість членів екіпажу;

A – автономність, доби;

$q_{ек}$ – маса одного члена екіпажу, кг;

$q_{пр}$ – маса провізії на одного члена екіпажу в добу, кг;

$q_{в}$ – маса води на одного члена екіпажу в добу, кг.

Графічні залежності для вимірників складових навантаження мас наведені на рис. 2.7 – 2.13.

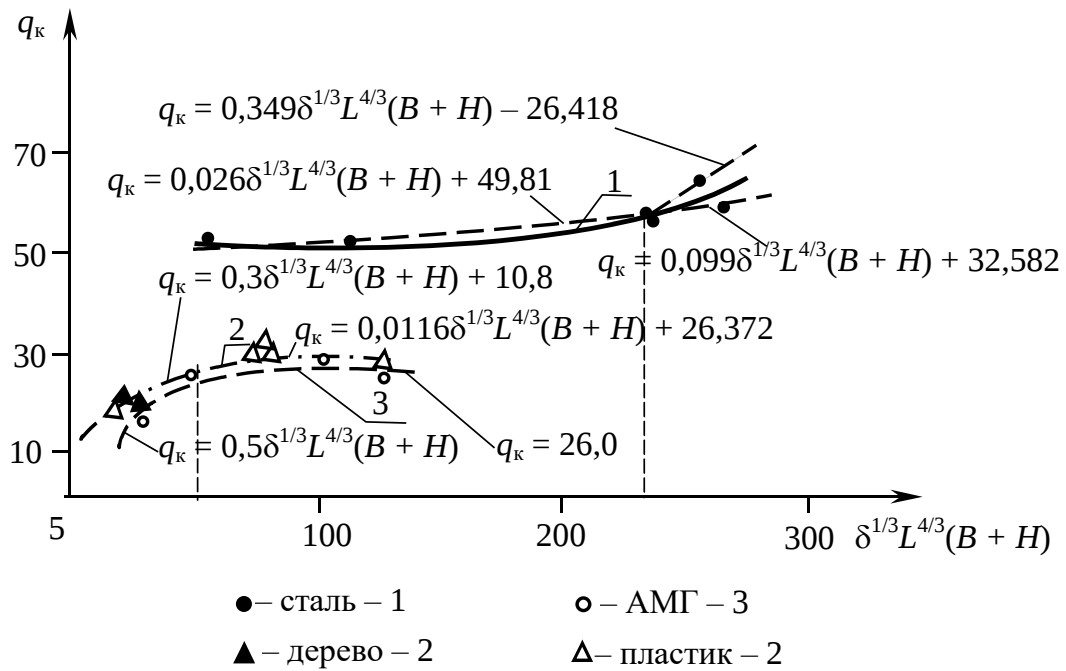


Рис.2.7 Залежності вимірника маси корпусу

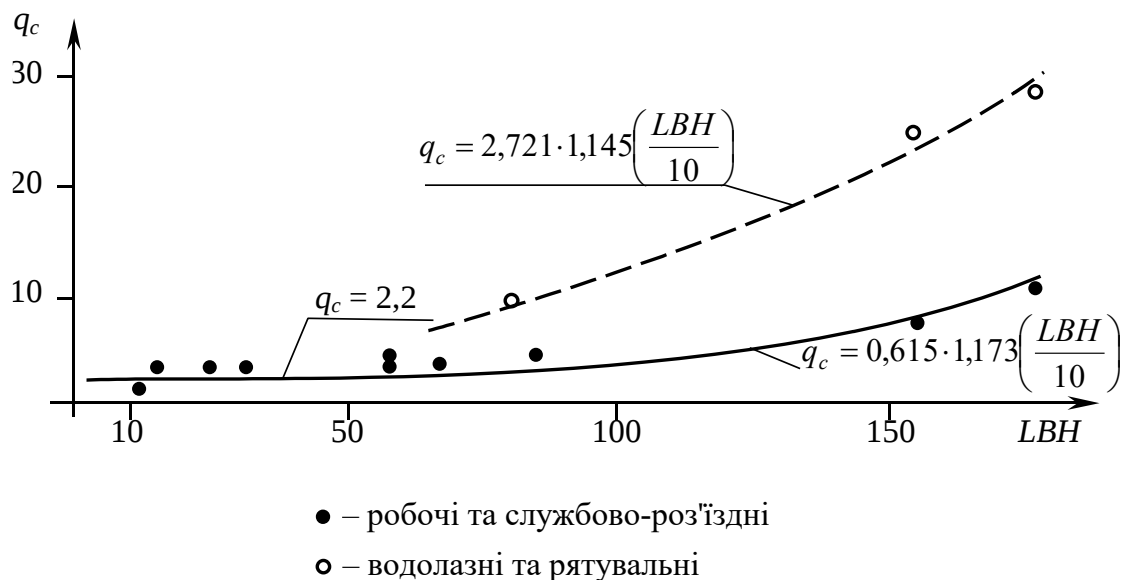


Рис.2.8 Залежності вимірника маси систем

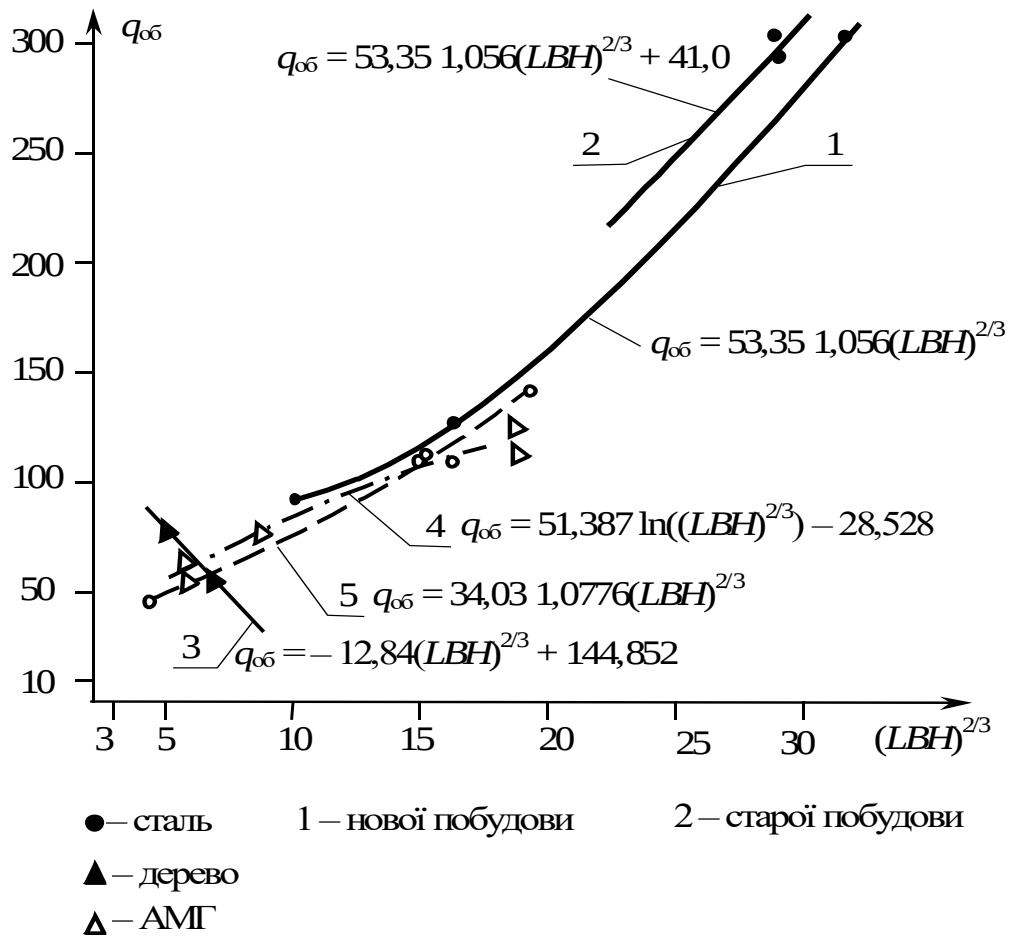


Рис.2.9 Залежності вимірника маси обладнання

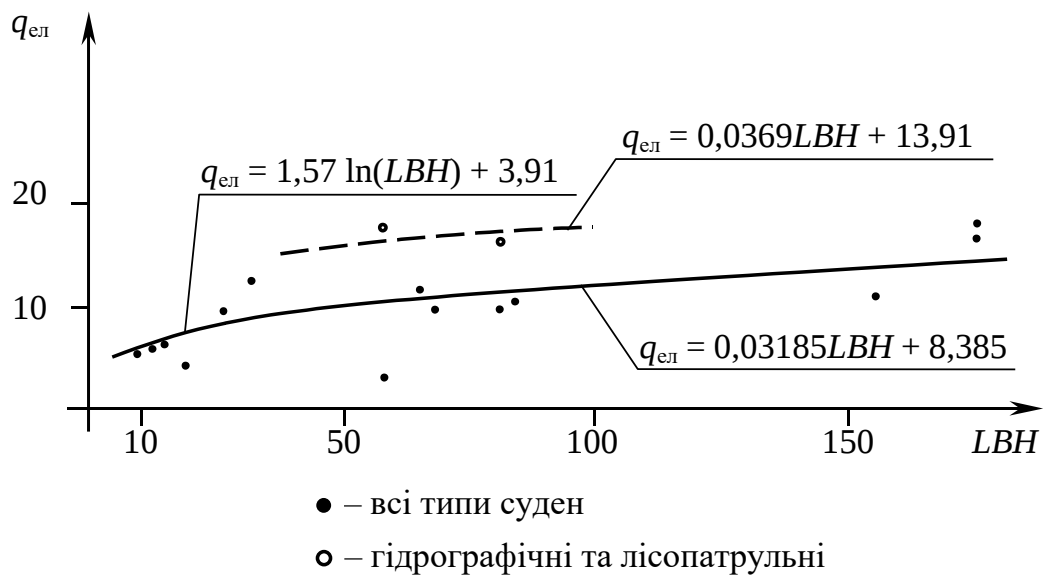


Рис.2.10 Залежності вимірника маси електрообладнання

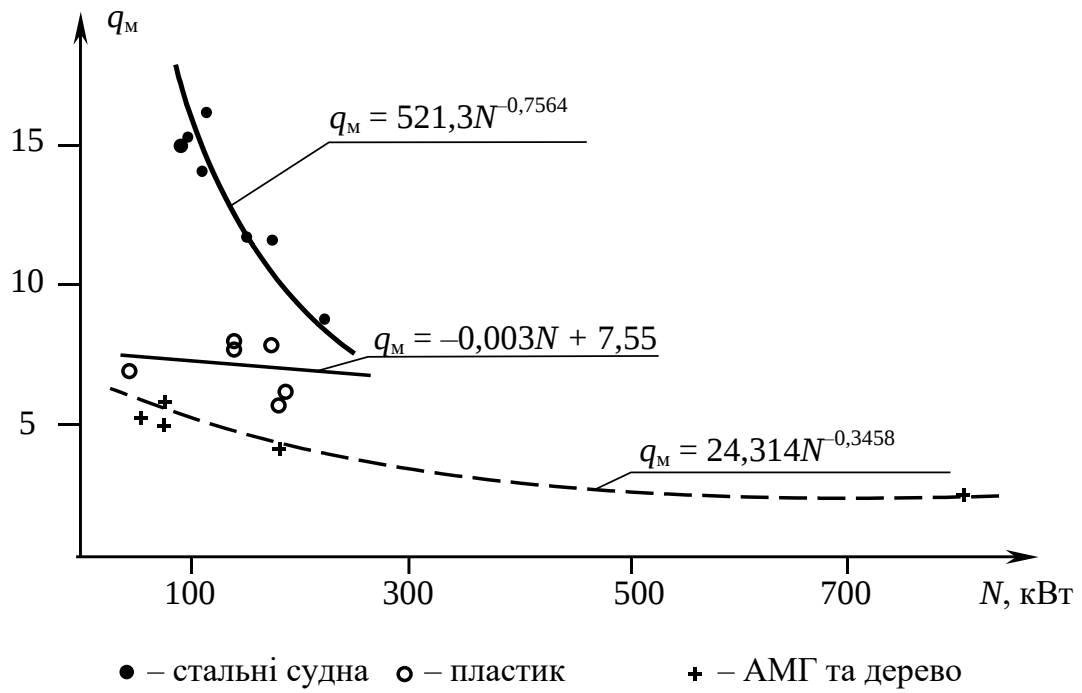


Рис.2.11 Залежності вимірника маси механізмів

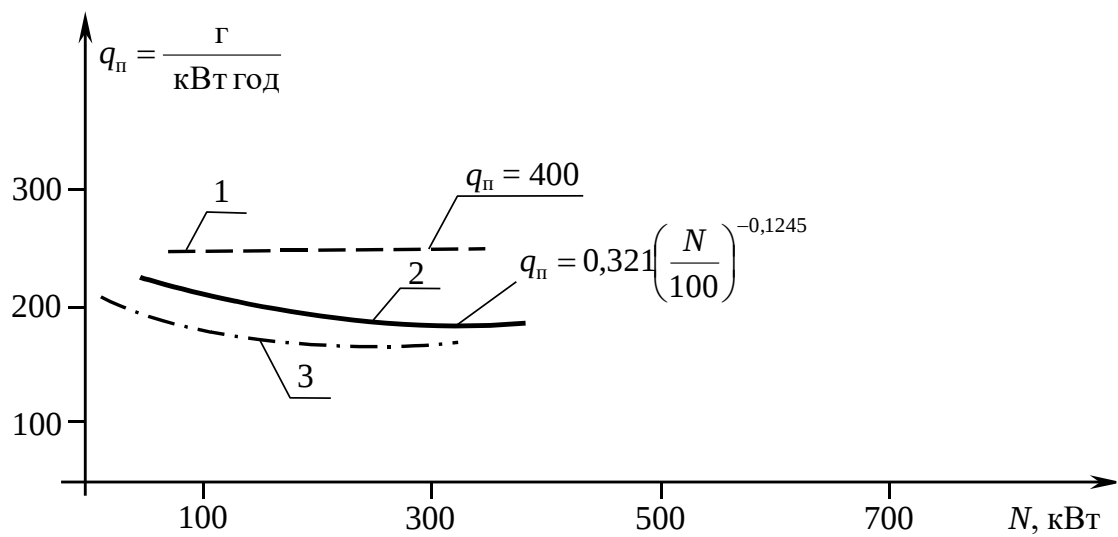


Рис.2.12 Залежності вимірника маси палива

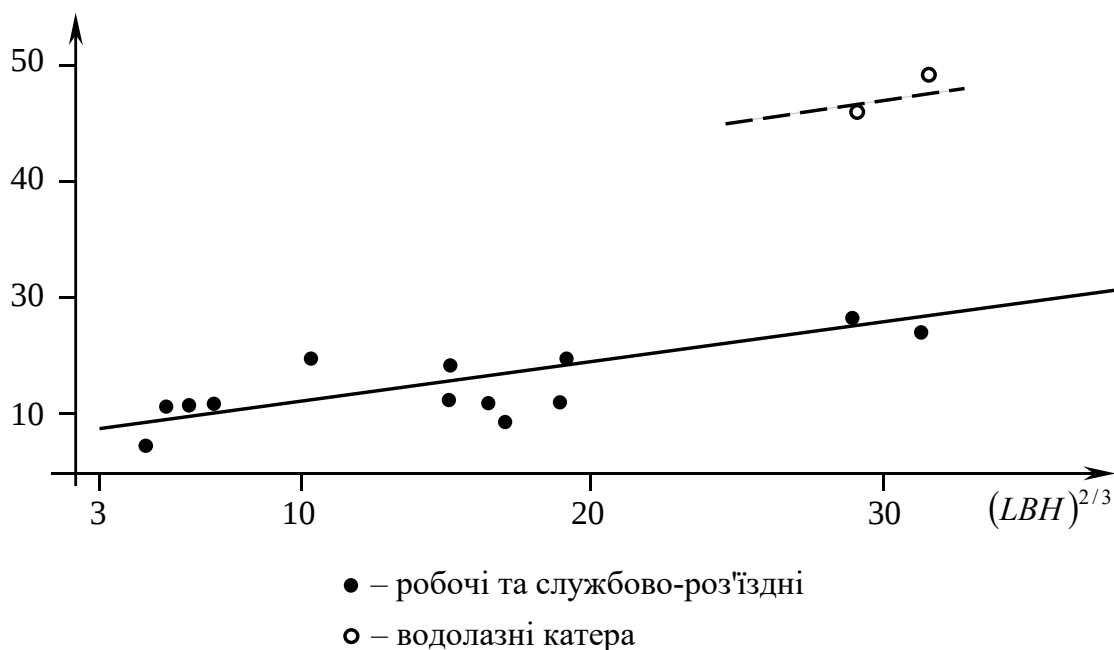


Рис.2.13 Залежності вимірника маси забезпечення

Аналіз навантаження мас показав, що статистичні залежності для розрахунку вимірників водотоннажності мають досить велику похибку (до 35%). У зв'язку з цим можна зауважити таке. Дослідницька робота в області малотоннажного суднобудування зараз знаходиться на низькому рівні. Наслідком цього є відсутність робіт, пов'язаних із систематизацією і розробкою комплектувального устаткування, створенням ряду двигунів потужністю до 700 кВт із достатньо малим кроком тощо. Внаслідок цього близькі за розмірами і призначенням проекти можуть мати істотну (що залежить, в основному, від вибору проектувальника) різницю за окремими складовими масового навантаження (до 30–40 %). Це ж, найчастіше, визначає низьку якість проектів.

Тому використання залежностей, що враховують масштабний ефект є цілком виправданим і припустимим в початкових стадіях проектування. У цьому випадку в математичну модель малотоннажного судна вони можуть увійти у вигляді:

$$q_i = \bar{q}_i \frac{[q_i]}{[\bar{q}_i]},$$

де $[q_i]$, $[\bar{q}_i]$ – вимірник i -ї статті навантаження відповідно для проекту і прототипу, обчислений за розрахунковою залежністю; $\bar{q}_i$ – вимірник i -ої статті навантаження обраного прототипу.

Таким чином, визначення розміру вимірників при систематичному варіюванні головних елементів судна в процесі пошуку прийнятного рішення, буде проводитися по кривій, еквідистантній розрахунковій.

Істотні відмінності архітектурно-конструктивних типів малотоннажних суден визначають особливості оцінки їхньої місткості. Так, робочі, водолазні і буксирні катера, як правило, проектуються на базі того самого проекту, являючись його модифікаціями. По архітектурно-конструктивному типу ці судна є запалубленими, з рубками, встановленими на палубі. Для них характерне середнє розташування машинного відділення і поділ повної місткості на підпалубну місткість і місткість рубок. У корпусі розташовані приміщення для перевезення вантажів і пасажирів, водолазні відсіки, кубрики і каюти для екіпажу, шкіперські комори. На верхній палубі в рубці (надбудові) розташовані місця епізодичного перебування екіпажу – туалетні, душові, камбуз, якщо на деяких проектах може бути розташований у корпусі, а також ходова рубка.

Необхідну місткість робочих, буксирних і водолазних катерів можна визначити як:

$$W = \sum_{(i)} W_i,$$

де W – теоретичний об'єм корпусу судна з надбудовами (рубками);

$\sum W_i$ – сума необхідних теоретичних об'ємів усіх приміщень, куди входять об'єми:

підків $W_{\text{підк}}$;

вантажних (пасажирських) приміщень $W_{\text{вн}}$;

водолазних відсіків $W_{\text{від}}$;

приміщень енергетичної установки $W_{\text{ен}}$;

шкіперських комор $W_{\text{ко}}$;

паливних цистерн $W_{\text{п}}$;

рубок W_{p6} ;

кубриків W_k .

У результаті розгляду проектів робочих і водолазних катерів пр.РМ1 і Р1 була проаналізована їх місткість. У табл.2.5 – 2.6 наведені деякі результати аналізу підпалубної місткості.

Таблиця 2.5. Розподіл об'ємів робочого і водолазного катерів

№ з/П	Найменування	РМ1		РВМ1	
1.	Форпик	4,68	3,9	4,68	3,9
2.	Кубрик носовий	19,94	16,8	19,94	16,8
3.	Носовий вантажний трюм	22,3	18,8	–	–
4.	Кубрик шестимісний	–	–	22,3	18,8
5.	Камбуз	11,2	9,4	11,2	9,4
6.	Машинне відділення	28,4	23,9	28,4	23,9
7.	Кормовий вантажний трюм	20,6	17,4	–	–
8.	Водолазний кубрик	–	–	20,6	17,4
9.	Шкіперська комора	10,4	8,8	10,4	8,8
10	Ахтерпик	1,2	1,0	1,2	1,0
11	Підпалубна місткість	118,72	100	118,72	100

Основним вантажем, який перевозиться службово-роз'їзними катерами є пасажери. Це визначає і архітектурно-конструктивний тип, і особливості розподілу об'ємів суден цього класу. За архітектурно-конструктивним типом це судна відкриті (безпалубні), частково запалублені з відкритим кокпітом і запалублені. Умовно службово-роз'їзні катери можна поділити на дві групи: малі і середні.

Для групи малих суден характерне планування типу "седан" і кормове розташування моторного відділення.

Для групи середніх суден характерне середнє розташування моторного відділення, наявність приміщень для відпочинку екіпажу, розташованих у кор-

пусі, і приміщень для перевезення пасажирів, медичних та інших, розташованих поза підпалубним об'ємом.

Таблиця 2.6. Розподіл об'ємів робочого і рейдового водолазного катерів

№ з/п	Найменування	Р1		РВ1	
1.	Форпик	2,56	2,1	2,56	2,1
2.	Носовий трюм (приміщення для пасажирів)	16,80	13,5	—	—
3.	Трьохмісний кубрик	—	—	16,8	13,5
4.	Приміщення для пасажирів	15,20	12,3	—	—
5.	Одномісна каюта	—	—	15,2	12,3
6.	Кубрик на 4 місця	22,70	18,4	22,7	18,4
7.	Машинне відділення	36,0	29,1	36,0	29,1
8.	Кормовий трюм (приміщення для пасажирів)	22,4	18,1	—	—
9.	Водолазний відсік	—	—	22,4	18,1
10.	Ахтерпик	8,0	6,5	8,0	6,5
11.	Підпалубна місткість	123,66	100	123,66	100

Аналіз загального розташування і місткості службово-роз'їзних катерів дозволив зробити висновок про те, що об'ємні співвідношення для них мало характерні і для вибору головних розмірів логічніше користуватися показниками, які характеризують питому пасажиромісткість. Справа в тому, що судна цього типу мають приміщення для виконання службово-роз'їзних функцій, які розташовані на верхній палубі або в кокпіті. Тому визначальну роль у цьому випадку відіграє можливість розміщення необхідного устаткування і перевезених пасажирів в обмеженому просторі.

Для малотоннажних суден, що мають верхню палубу (робочі буксирні і водолазні катера), які за аналогією з транспортними суднами можна назвати висококубатурними, визначальною величиною при проектуванні є вантажоміст-

кість: характеристика, що зберігає незмінне значення при будь-яких змінах навантаження, дальності плавання та інших експлуатаційно-технічних показників. У цьому випадку визначення елементів у початкових стадіях недоцільно проводити тільки за допомогою коефіцієнтів утилізації за вантажем (дедвейтом) внаслідок дуже низьких значень останніх і великої можливості отримання помилкових результатів. Тому при проектуванні малотоннажних суден цього типу особливу увагу варто звертати на вибір відношення висоти борту до осадки (H/T), що має дуже важливе значення в питанні забезпечення місткості [7]. Окрім того, з огляду на жорсткі обмеження для початкової метацентричної висоти, вже у початкових стадіях варто забезпечити достатньо високий показник остійності. Таким чином, при визначенні елементів "висококубатурних" малотоннажних суден можна сполучити рівняння місткості, мас і остійності.

При аналізі проектних матеріалів робочих, водолазних і буксирних катерів можна виявити, що вони істотно відрізняються головними елементами і характеристиками. Це, безумовно, ускладнює проектну задачу і змушує до використання близького (виправленого) прототипу, як при розробці проекту, так і при виборі початкової точки в оптимізаційних розрахунках. У такому випадку можна скористатися наступним способом визначення головних розмірів.

Необхідна підпалубна місткість судна W визначається диференціальним способом через відносні прирости об'ємів. Для цього підпалубну місткість прототипу (наприклад, пр.РМ1) можна розглядати як суму об'ємів трюмів $W_{\text{тр}}$, кубрика $W_{\text{кубр}}$, машинного відділення $W_{\text{МВ}}$, камбузу $W_{\text{кам}}$, шкіперською коморою $W_{\text{шк}}$, паливних цистерн $W_{\text{п}}$, і піків $W_{\text{пк}}$. Визначивши часткові коефіцієнти цих складових, можна підрахувати коефіцієнт Нормана по місткості. Для кожного елемента місткості необхідно скласти модуль перерахунку, опираючись на функціональне призначення об'єму. Величина кожного з об'ємів визначається в залежності від елементів технічного завдання (швидкості руху, дальності плавання, типу енергетичної установки тощо). Частина об'ємів залежить від величини проектуваного судна, тобто від величини W . Тоді відносне збільшення підпалубного об'єму можна визначити за формулою:

$$\frac{dW}{W} = \eta_W \left(b_{\text{тр}} \frac{dW_{\text{тр}}}{W_{\text{тр}}} + b_{\text{МВ}} \frac{dW_{\text{МВ}}}{W_{\text{МВ}}} + b_{\text{п}} \frac{dW_{\text{п}}}{W_{\text{п}}} + b_{\text{кубр}} \frac{dW_{\text{кубр}}}{W_{\text{кубр}}} \right),$$

де η_W – коефіцієнт Нормана по місткості;

$b_{\text{тр}}, b_{\text{МВ}}, b_{\text{т}}, b_{\text{кубр}}$ – часткові коефіцієнти місткості вантажу, машинного відділення, палива, кубрика;

$\frac{dW_{\text{тр}}}{W_{\text{тр}}}, \frac{dW_{\text{МВ}}}{W_{\text{МВ}}}, \frac{dW_{\text{т}}}{W_{\text{т}}}, \frac{dW_{\text{кубр}}}{W_{\text{кубр}}}$ – відносні прирости об'ємів трюму, машинного

відділення, паливних цистерн, кубрика.

Приріст мас судна визначаємо, користуючи також правилами відносного диференціювання. У цьому випадку задані (явні) зміни навантаження пов'язані зі зміною вантажопідйомності $P_{\text{вн}}$, швидкості руху і дальності плавання. Збільшення водотоннажності від прототипу до проекту складе [7,8]

$$\frac{dD}{D} = \eta_H \left(a_{\text{вн}} \frac{dP_{\text{вн}}}{P_{\text{вн}}} + a_{\text{м}} \frac{dP_{\text{м}}}{P_{\text{м}}} + a_{\text{п}} \frac{dP_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} \right),$$

де η_H – коефіцієнт Нормана;

$a_{\text{вн}}, a_{\text{м}}, a_{\text{п}}$ – часткові коефіцієнти маси вантажу, механізмів, палива;

$\frac{dP_{\text{вн}}}{P_{\text{вн}}}, \frac{dP_{\text{м}}}{P_{\text{м}}}, \frac{dP_{\text{п}}}{P_{\text{п}}}$ – відносні збільшення мас вантажу, механізмів, палива.

Знаючи величину $\frac{dW}{W}$ і $\frac{dD}{D}$, можна визначити водотоннажність і місткість проєктованого судна як [7,8]

$$D = \bar{D} \left(1 + \frac{dD}{D} \right)$$

$$W = \bar{W} \left(1 + \frac{dW}{W} \right),$$

де $\bar{D}, \bar{W}$ – водотоннажність і підпалубна місткість прототипу.

Тоді відношення H/T можна визначити зі співвідношення підпалубної місткості і водотоннажності за формулою:

$$\frac{H}{T} = \left(\frac{\overline{H}}{\overline{T}} \right) \cdot \frac{1 + \frac{dW}{W}}{1 + \frac{dD}{D}}.$$

де $\overline{H}$ і $\overline{T}$ – висота борту та осадка прототипу.

Відношення B/T визначаємо з рівняння остійності, інтерпретуючи його у формі Л.М. Ногіда:

$$\frac{h}{B} = \psi_{\rho} \frac{B}{T} + \psi_c \frac{T}{B} - \zeta_g \frac{H}{T} \cdot \frac{T}{B},$$

$$\text{де } \psi_{\rho} = \frac{1}{k_1} \cdot \frac{\alpha^2}{\beta};$$

$$\psi_c = k_2 \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^{0,5}.$$

ζ – відносна апліката центра мас.

h/B – відносна метацентрична висота.

Коефіцієнти k_1 і k_2 визначаються на основі аналізу корпусів робочих катерів і дорівнюють:

$$k_1 = 23,91 - 14,67\alpha;$$

$$k_2 = 0,899 \left(\frac{\alpha}{\delta} \right)^{0,5} - 0,649.$$

Розміри $\frac{h}{B}, \zeta_g$ рекомендується приймати за прототипом. Коефіцієнт загальної повноти δ можна визначити за статистичною формулою, що відображає особливості малотоннажних суден аналізованих типів:

$$\delta = 0,398 Fr^{-0,25}.$$

Подовження корпусу в плані

$$\frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \frac{T}{B} \delta k_{\text{вч}} \gamma},$$

де $l = \frac{\overline{L}}{\overline{D}^{1/3}}$ – відносна довжина за прототипом.

Знаючи $L = ID^{1/3}$ можна визначити інші головні розміри:

$$B = L \cdot \frac{B}{L}; T = B \frac{T}{B}; H = T \frac{H}{T}.$$

2.2.3 Місткість малотоннажних суден

У теорії проектування суден питання визначення місткості звичайно розглядається після того, як головні елементи судна (водотоннажність, головні розміри, осадка, форма обводів) уже встановлені. У математичній моделі судна ці характеристики є визначеними завдяки тому, що головні розміри і коефіцієнт повноти входять у модель як основні (незалежні) змінні, які оптимізуються, а інші розраховані на попередніх етапах розробки математичної моделі.

На відміну від рівняння мас, рівняння місткості запишемо у вигляді нерівності

$$W_c = W_k + W_n \geq \sum_{(i)} W_i \quad (2.1)$$

де W_c – повний об'єм судна, м³;

W_k – об'єм основного корпусу (підпалубний об'єм) м³;

W_n – об'єм надбудови (рубки), м³;

W_i – необхідна кубатура для розміщення об'єму i -го призначення на судні, м³.

З рівняння (2.1) може бути виявлене відхилення між фактичним і необхідним об'ємами судна

$$\Delta W = W_c - \sum_{(i)} W_i \quad (2.2)$$

Для проекту це відхилення повинне дорівнювати нулю або доводитися до мінімального значення, яке допускається.

Слід відмітити, що питання місткості малотоннажних суден вивчене ще недостатньо незважаючи на те, що при розробці проектів йому приділяється багато уваги. При цьому проектувальник звичайно розглядає питання місткості з позиції перевірконого розрахунку, а не проектного. Через це має місце несумісність вимог рівняння мас судна і його місткості. Така несумісність, як правило, призводить до появи надлишку об'єму судна. При цьому судно експлуатується

в постійному недовикористанні об'єму, що призводить до подорожчання експлуатації. Причиною цього недоліку є відсутність для суден таких типів надійної проектної методики розрахунку місткості в початкових стадіях проектування.

Перед тим, як викласти один з варіантів такої методики для розрахунку місткості, розглянемо наступні особливості малотоннажних суден:

судна порівняно малі, не насичені великою кількістю механізмів, пристроїв тощо. Коефіцієнти енергооснащеності цих суден високі, тому відносно високий об'єм МВ;

на коротких суднах з малими коефіцієнтами повноти утруднюється використання об'ємів, особливо в кінцевих частинах;

на цих суднах необхідно досить точно визначати навіть такі складові місткості як об'єм коридорів, трапів, тамбурів, який ігнорується на великих суднах;

висота борту судна – міра місткості – звичайно вибирається з інших вимог (остійність на великих кутах крену, незаливаність і інші морехідні якості).

Визначення повного об'єму корпусу. Повний теоретичний об'єм судна відповідно до формули (2.1) складається з підпалубного об'єму W_k і об'єму, який знаходиться вище палуби (надбудова, рубка) W_n

$$W_c = W_k + W_n. \quad (2.3)$$

Головну частину місткості судна складає об'єм основного корпусу, що розраховується так:

$$W_k = V + W_b, \quad (2.4)$$

де V – об'ємна водотоннажність, m^3 ;

W_b – об'єм надводної частини основного корпусу, m^3 ;

Об'єм W_b визначається по теоретичному кресленню.

Малотоннажні судна відрізняються великою сідлуватістю і вигином бімсів, тому об'єм між відкритою палубою і ватерлінією, яка проходить через нижні точки ліній палуби, має досить велике значення і потребує окремого розрахунку. Цей об'єм складається з трьох частин: носової частини $W_{сн}$, кормової частини $W_{ск}$ і об'єму $W_{вб}$, що враховує вигин бімсів (рис.2.14)

$$W_{\text{вз}} = W_{\text{сн}} + W_{\text{ск}} + W_{\text{вб}}.$$

Об'єм носової частини визначається як

$$W_{\text{сн}} = \int_0^{L/2} 2yz_{\text{п}} dx,$$

де y – напівширина лінії палуби;

z – аплікати носової частини лінії сідлуватості.

Лінію палуби зобразимо параболою n -ного ступеня, а лінію сідлуватості – параболою 2-го ступеня

$$y = \frac{B}{2} \left(1 - \left(2 \frac{x}{L_{\text{п}}} \right)^n \right), \quad (2.6)$$

$$z_{\text{п}} = 4h_{\text{н}} \left(\frac{x}{L_{\text{п}}} \right)^2, \quad (2.7)$$

де B – ширина судна, м;

$L_{\text{п}}$ – довжина палуби, м;

$n = \frac{\alpha_{\text{п}}}{1 - \alpha_{\text{п}}}$ ($\alpha_{\text{п}}$ – коефіцієнт повноти площі палуби);

$h_{\text{н}}$ – апліката лінії сідлуватості на носовому перпендикулярі.

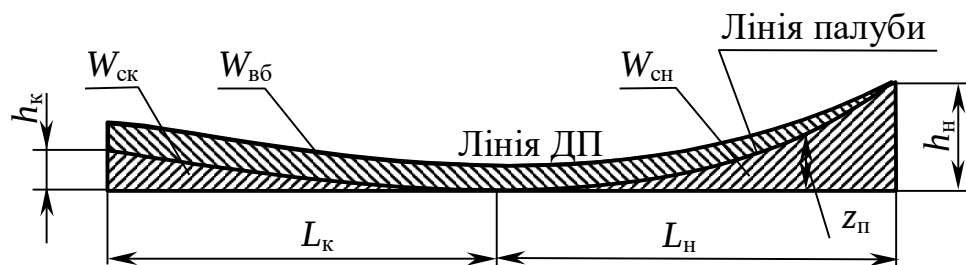


Рис.2.14 Об'єм між сідлуватістю та ВЛ, яка відповідає верхній палубі на міделі

Підставляючи (2.6) і (2.7) у (2.5) та інтегруючи, отримаємо

$$W_{\text{сн}} = BL_{\text{п}} h_{\text{н}} \frac{n}{6(n+3)} = BL_{\text{п}} h_{\text{н}} \frac{\alpha_{\text{п}}}{6(3-2\alpha_{\text{п}})}. \quad (2.8)$$

Аналогічно отримуємо

$$W_{\text{ск}} = BL_{\text{п}} h_{\text{к}} \frac{\alpha_{\text{п}}}{6(3-2\alpha_{\text{п}})}, \quad (2.9)$$

де h – апліката лінії сидлуватості на кормовому перпендикулярі.

Об'єм, утворений вигином бімсів, знаходиться як

$$W_{\text{вб}} = \int_0^L \omega_{\text{вб}} dx \quad (2.10)$$

де $\omega_{\text{вб}}$ – площа сегмента, утвореного вигином бімса (рис.3.18), яка обчислюється за формулою

$$\omega_{\text{вб}} = 4/3 f, \quad (2.11)$$

де f – висота сегмента.

На практиці f звичайно виражається у функції від

$$f = ay, \quad (2.12)$$

де a – коефіцієнт пропорційності, прийнятий для малих суден рівним 1/15–1/25.

Підставляючи (2.12) у (2.11), а (2.11) у (2.10) і замість у вираз (2.6), інтегруючи, будемо мати

$$W_{\text{вб}} = \frac{2}{3} a B^2 L_{\text{п}} \frac{\alpha_{\text{п}}^2}{1 + \alpha_{\text{п}}}.$$

Проведемо підстановку

$$W_{\text{вз}} = BL_{\text{п}} \left[\frac{\alpha_{\text{п}}}{6(3-2\alpha_{\text{п}})} - (h_{\text{н}} + h_{\text{к}}) + \frac{2}{3} a B \frac{\alpha_{\text{п}}^2}{1 + \alpha_{\text{п}}} \right] \quad (2.13)$$

При $a=1/25$ формула (2.13) приймає вигляд

$$W_{\text{вз}} = BL_{\text{п}} \left[\frac{\alpha_{\text{п}}}{6(3-2\alpha_{\text{п}})} - (h_{\text{н}} + h_{\text{к}}) + \frac{2}{75} B \frac{\alpha_{\text{п}}^2}{1 + \alpha_{\text{п}}} \right].$$

Виражаючи довжину палуби через довжину ГВЛ як $L_{\text{п}} = k_i L$ і враховуючи, що $BL = \frac{V}{\delta T}$, вираз (2.14) будемо мати

$$W_{вз} = \frac{V}{\delta T} k_L \left[\frac{\alpha_{\pi}}{6(3-2\alpha_{\pi})} - (h_{\pi} + h_{\kappa}) + \frac{2}{75} \frac{\alpha_{\pi}^2}{1 + \alpha_{\pi}} \right].$$

Коефіцієнти k і α_{π} приймаються за близькими прототипами або на основі таких рекомендацій :

$$k = 1,05; \quad \alpha_{\pi} = \alpha + \Delta\alpha,$$

де $\Delta\alpha$ – поправка коефіцієнта повноти ватерлінії;

$\Delta\alpha = 0,05$ – для суден із крейсерською кормою;

$\Delta\alpha = 0,15$ – для суден із транцевою кормою.

Необхідний теоретичний об'єм судна визначається такими чинниками, як типи і розміри перевезених вантажів, тип і потужність ЕУ, ступінь автоматизації, тривалість рейсу, чисельність екіпажу тощо.

Для робочих і водолазних катерів необхідний об'єм складається з таких укрупнених статей:

$$\sum_i W_i = W_{тр} + W_{мв} + W_{пц} + W_{пк} + W_{км} + W_{пр} + W_{км} + W_{рб} + W_{ком} + W_{зп} \quad (2.16)$$

Позначення статей водолазного варіанта катера зазначені в табл.2.7. Інші величини позначені в таблицях так:

$k_{нб}$ – питомого навантажувальна кубатуру вантажу;

$\omega_{мв}$ – вимірник об'єму МВ;

$n_{е}$ – чисельність екіпажу, осіб;

$n_{в}$ – чисельність водолазів, осіб;

V – об'ємна водотоннажність.

Вищевказані коефіцієнти і вимірники приймаються за даними близького прототипу або на підставі опрацювання статистичних даних суден, що експлуатуються, (стовпчик 6) табл.2.7.

Таблиця 2.7. Зведена таблиця залежностей для визначення необхідного об'єму рейдових робочих катерів

№ з/п	Найменування приміщення	Позначення	Функціональні залежності	Місця розташування	Значення коефіцієнтів залежності	Об'єм в м ³ розрахований за запроп. залежністю
1.	Службові приміщення (носовий і кормовий кубрик)	$W_{\text{сл}}$	$k_{\text{нб}}\omega_{\text{сл}}n_{\text{е}}$	корпус	$k_{\text{нб}} = 1,18$ $\omega_{\text{сл}} = 4,7$	50,1
2.	Машинне відділення і паливна цистерна	$W_{\text{мв}} + W_{\text{пц}}$	$\omega_{\text{мв}}V$	корпус	$\omega_{\text{мв}} = 0,93$	38,4
3.	Піки	$W_{\text{пик}}$	$\omega_{\text{пик}}V$	корпус	$\omega_{\text{пик}} = 0,14$	5,88
4.	Комори суднові	$W_{\text{км}}$	$\omega_{\text{км}}V$	корпус	$\omega_{\text{км}} = 0,25$	10,4
5.	Камбуз Провізійні комори	$W_{\text{пр}}$	$k_{\text{нб}}\omega_{\text{пр}}(n_{\text{е}} + n_{\text{в}})$	корпус	$\omega_{\text{пр}} = 0,60$	8,66
6.	Житлові приміщення для команди	$W_{\text{жт}}$	$k_{\text{нб}}\omega_{\text{жт}}n_{\text{е}}$	корпус	$\omega_{\text{жт}} = 4,2$	19,94
7.	Рульова і радіорубка	$W_{\text{рб}}$	$\omega_{\text{рб}}V$	корпус	$\omega_{\text{рб}} = 0,23$	9,6
8.	Комунікації (коридор, галіюн)	$W_{\text{ком}}$	$\omega_{\text{ком}}V$	корпус-рубка	$\omega_{\text{ком}} = 0,09$	3,7
9.	Запас місткості	$W_{\text{зп}}$	$\omega_{\text{зп}} \sum_{i=1}^8 W_i$	корпус-рубка	$\omega_{\text{зп}} = 0,05$	7,3

2.2.4 Визначення параметрів початкової остійності

Розрахунок параметрів початкової остійності малотоннажних суден у силу їхніх особливостей, обумовлених невеликими розмірами і труднощами в забезпеченні морехідних якостей, є одним із самих відповідальних. Тому в даних розрахунках визнано необхідним застосування ординат теоретичного креслення

при визначенні моменту інерції площі ватерлінії відносно осі x . Для розрахунку аплікати центра величини z_c застосовується отримана статистичною обробкою проектних даних малотоннажних суден залежність

$$z_c = \left(0,899 \sqrt{\frac{\alpha}{\delta}} - 0,649 \right) \sqrt{\frac{\alpha}{\delta}},$$

де α – коефіцієнт повноти площі ВЛ, обчислений за статистичною формулою

$$\alpha = (1,556 - 0,525\beta)\sqrt{\delta},$$

δ – коефіцієнт загальної повноти.

Апліката ЦМ визначається як

$$z_g = \mu H,$$

де H – висота борту;

μ – коефіцієнт, отриманий на основі близьких прототипів і рівний $\mu = 0,75$.

Момент інерції площі ВЛ J_x визначається відповідно до залежності

$$J_x = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx,$$

де y – ордината теоретичного креслення.

Поперечний метацентричний радіус визначимо як

$$r = \frac{J_x}{V},$$

де V – об'ємна водотоннажність.

Тоді початкова метацентрична висота визначиться:

$$h = r + z_c + z_g.$$

Отримане таким чином значення початкової метацентричної висоти обмежується у блоці формування і перевірки обмежень математичної моделі відповідно до Правил Регістру.

2.2.5 Генерація теоретичного креслення

Спосіб генерації суднової поверхні зводиться до побудови теоретичного креслення на основі креслення-прототипу. Цей спосіб з погляду математичного моделювання обводів, найбільш близьких до реальних, є найбільш прийнятним.

З метою реалізації даного методу необхідно підготувати і ввести в програму масиви ординат теоретичного креслення аналізованих у задачі типів суден-прототипів. Ці масиви використовуються для визначення ординат проектованого теоретичного креслення шляхом інтерполяції за коефіцієнтом загальної повноти способом В.В. Ашика [7]. Зміна інших характеристик форми теоретичного креслення (β , α , x_c) способом, викладеним, наприклад, у [36], визнано недоцільним унаслідок різкого підвищення об'єму обчислень. Крім того, таке рішення виправдане ще і тим, що зазначені характеристики форми теоретичного креслення на ранніх стадіях проектування практично не впливають на цільову функцію і тому в математичній моделі не приймаються як її аргументи. Якщо інтерполяційне перетворення відповідно до [7] враховує тільки зміну δ і потребує наявності двох теоретичних креслень – прототипів із $\bar{\delta}_{\min}$ і $\bar{\delta}_{\max}$ з обраного діапазону зміни δ , то ординати теоретичного креслення проекту можуть бути отримані у вигляді

$$y(x, z) = k_y \cdot \bar{y}^{\min}(x, z) + (1 - k_y) \cdot \bar{y}^{\max}(x, z) \quad (3.17)$$

де $\bar{y}^{\min}(x, z)$, $\bar{y}^{\max}(x, z)$ – ординати теоретичного креслення - прототипів з $\bar{\delta}_{\min}$ і $\bar{\delta}_{\max}$ відповідно;

k_y – коефіцієнт, обчислений за виразом

$$k_y = \frac{\bar{\delta}_{\max} - \delta}{\bar{\delta}_{\max} - \bar{\delta}_{\min}}.$$

Багаторічна практика використання цього методу показала його достатню для даної задачі точність і надійність

Розділ 3 .ОПТИМІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА

3.1 Постановка задачі

У сучасній практиці існує в достатній мірі відпрацьована система вибору архітектурно-конструктивного типу судна і визначення його головних елементів. Вказана система включає, як відмічалось у першому розділі посібника, три основних етапи: прогнозування економічно доцільних напрямків розвитку флоту і шляхів підвищення технічного рівня суден; обґрунтування перспективного типового ряду суден; конкретне проектування окремих видів суден. За такої схеми проектувальник на кожному етапі має у своєму розпорядженні необхідний обсяг інформації про судно, що дає можливість підвищити оптимальність вибраних характеристик проектного судна.

Однак оптимальність таких характеристик носить часто умовний характер, яка, в першу чергу, залежить від точності встановлення взаємозв'язків між такими факторами, як призначення, обсяг, характер і умови роботи судна при урахуванні перспективного технічного прогресу на транспорті. Точність урахування факторів, які визначають характеристики судна, у великій мірі залежить від обсягу обчислювальної роботи і рівня використовуваного математичного апарату. Тому впровадження математичних методів, математичного моделювання і оптимізації, як показує практика, дозволяє підвищити ступінь оптимальності основних параметрів суден і скоротити період її обґрунтування.

До числа задач, які вирішуються при техніко-економічному обґрунтуванні, входить техніко-економічне обґрунтування оптимальних для флоту суден і техніко-економічне обґрунтування головних елементів, архітектурно – конструктивного типу судна, включеного до сітки суден, що плануються для проектування і побудови.

Найбільш надійне вирішення першої задачі можливе, якщо розглядати судно як елемент єдиної транспортної системи, що дає можливість оцінювати економічну ефективність судна з позицій всієї системи. Однак на практиці при вирішенні такої задачі прийнято розглядати судно як самостійну систему, у чому вбачається достатньо вагомий недолік. Економічну ефективність варіантів у

даному випадку оцінюють, порівнюючи їх з побудованими суднами. При вирішенні другої задачі судно може розглядатися тільки як самостійна система і її початковими даними є результати рішення першої задачі. Крім того, як показує практика, обидві задачі можна звести в одну і вирішити її одночасно.

На початкових стадіях проектування судна визначають звичайно головні розміри і коефіцієнт загальної повноти, при яких досягається найкраще значення критерію ефективності судна при обмеженнях, які накладаються вимогами замовниками до основних характеристик судна, габаритами шляху, Правилами Регістру тощо.

Сформулюємо задачу оптимізації елементів на прикладі робочого катера. Нехай вектор елементів судна, які оптимізуються

$$x = \{x_i\}, i(1, n);$$

вектор початкових даних

$$p = \{p_k\}, k(1, s).$$

Якщо економічну ефективність судна обчислювати за допомогою функції критерію $f(x, p)$, а його якості описувати функціями $g_j(x, p)$, то можна визначити елементи судна

$$x = \{x_i\}, i(1, n),$$

які задовольняють наступним умовам:

критерій економічної ефективності приймає найменше (найбільше) значення

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

виконуються вимоги до якостей судна, які містяться у завданні на проектування (у початкових даних) і нормативних документах

$$g_j(x, p) \geq b_j, j = (1, m);$$

значення елементів лежать у допустимих межах

$$(x_i)_{\max} \geq x_i \geq (x_i)_{\min}.$$

Початковими даними для вирішення задачі оптимізації елементів робочого катера можуть бути:

вантажопідйомність;

клас Регістру;
 швидкість бо потужність енергетичної установки;
 найбільша допустима осадка;
 найбільша розрахункова ширина корпусу;
 мінімальний питомий навантажувальний об'єм;
 тип вантажу, який перевозиться;
 необхідні характеристики судна-прототипу;
 характеристики лінії експлуатації (габарити шляху, термін навігації, протяжність лінії, хід у вантажі і порожнем, норми вантажних робіт тощо);

Для робочого катера, наприклад, як елементи, що оптимізуються, можна приймати – δ , L/B , H/T (при заданих вантажопідйомності, швидкості або потужності, максимально допустимій осадці).

3.2 Вибір і обґрунтування цільової функції для оцінки оптимального варіанту малотоннажного судна.

Задача вибору кращого технічного рішення [40] із сукупності можливих варіантів розв'язується на основі показника оптимальності, що однозначно характеризує рівень досконалості і ефективність порівнюваних технічних рішень.

Вибір показника оптимальності (цільової функції) і побудова математичної моделі – одна з головних проблем аналізу технічних рішень. Вона особливо важлива, тому що рішення задачі втрачає практичну цінність і може викликати значні втрати, якщо використовується некоректний показник оптимальності.

При виборі цільової функції задачі проектування малотоннажних суден враховувалося, що вона повинна відповідати наступним вимогам [40]:

1. Повинна забезпечувати вибір кращого варіанта, що забезпечує неухильний ріст продуктивності сукупної суспільної праці. З цих позицій при аналізі технічних рішень необхідно керуватися показниками економічності, розробленими теорії економічної ефективності нової техніки.

2. Повинна бути по можливості комплексною, що відбиває істотні сторони досліджуваних технічних систем у їхньому взаємозв'язку з іншими системами і зовнішнім середовищем. Вимозі комплексності найкраще відповідають еконо-

мічні показники, оскільки вони відбивають процес витрати ресурсів під впливом багатьох чинників. Жоден з технічних показників не має такого ступеню узагальнення і значимості, якими володіють економічні показники.

3. Цільова функція у своїй математичній формі повинна бути адекватна умовам і рівню задачі, яка розв'язується, а також її інформаційній базі.

4 Математична модель показника оптимальності (цільової функції) повинна бути по можливості простою, зручною у використанні, логічною за змістом і достатньо чутливою до розходжень між варіантами, що зіпівставляються.

5. Конкретним вираженням цих вимог служить використання показника зведених витрат по судну як цільової функції. Цей показник дозволяє відбирати до реалізації такі рішення, які у своїй сукупності забезпечать найбільшу ефективність вкладень.

У цьому випадку цільова функція є загальним показником оптимальності, що знаходиться на верхньому рівні системи оцінки показників малотоннажного судна. На нижніх рівнях розташовуються часткові показники, які вибірково впливають на величину загального показника оптимальності. Наприклад, трудомісткість виготовлення, маса складових водотоннажності, їхня конструктивна складність, ступінь уніфікації тощо, роблять прямий вплив на величину витрат у сфері виробництва, а витрати в сфері експлуатації формуються під впливом таких показників, як надійність, ремонтпридатність, потужність енергетичної установки тощо.

На ранніх стадіях проектування внаслідок обмеженості інформації про проектоване судно безпосередня оцінка зведених витрат по варіантах загальних технічних рішень складна. У цьому випадку можливий підхід до визначення загального показника оптимальності через відносні збільшення приватних показників. Проте використання цього підходу пов'язане з необхідністю наявності близького прототипу, що виключає можливість отримання достовірних результатів у процесі оптимізації, коли область зміни параметрів достатньо широка.

Більш прийнятним при пошуку оптимальних рішень як початкових стадіях може бути підхід, при якому побудовна вартість і експлуатаційні витрати мо-

жуть бути достатньо точно визначені, якщо відомі значення параметрів, взятих як вихідні дані (дальність плавання, швидкість руху, тип малотоннажного судна, марка матеріалу корпусу, вартісні показники, масові вимірники тощо) і такі проектні змінні, які називають головними елементами: довжина, ширина, висота борту, осадка, коефіцієнт загальної повноти.

У цьому випадку проектоване судно може бути представлення математичною моделлю у вигляді сукупностей математичних виразів – рівнянь, нерівностей тощо. Ці вирази описують реально існуючі зв'язки між елементами судна і розміром витрат з урахуванням обмежень за умовами побудови, експлуатації, морехідними і експлуатаційно-технічними якостями. Можливість достатньо точного визначення цільової функції при відомих значеннях головних елементів судна визначає прийняття останніх як незалежних змінних, що відповідає реально існуючій практиці [37].

На закінчення зауважимо, що вибір у якості цільової функції зведених витрат не виключає (у рамках математичної моделі) застосування будь-якого технічного або економічного критерію. У цьому випадку доцільно проаналізувати оптимальне рішення на стійкість і чутливість.

3.3 Розробка математичної моделі проектування малотоннажних суден

Математичною моделлю судна називають сукупність аналітичних, процедурних або логічних залежностей, які дозволяють кількісно оцінювати економічну ефективність проектованого судна, а також його основні характеристики і якості, такі, як: водотоннажність, вантажопідйомність, вантажомісткість, швидкість.

Створюючи математичну модель судна, необхідно встановити залежності між змінними, які оптимізуються, і навантаженням, вантажопідйомністю, вантажомісткістю, потужністю енергетичної установки, вартістю побудови судна, експлуатаційними витратами і зведеними витратами на його побудову і експлуатацію тощо. Модель розробляють на основі аналітичного апарату, який включає теоретичні формули, емпіричні залежності, апроксимації, за якими визначають різноманітні коефіцієнти (опору води рухові судна, пропульсивний то-

що), показники і характеристики проектного судна. Таким чином, математична модель судна базується на визначеній методології і фактичному матеріалі суднобудівних наук, а також на нормативних матеріалах, а кінцева мета використання математичної моделі – отримання для визначеного вектору змінних значення критерію ефективності (оптимальності).

Слід відзначити, що точного математичного опису судна добитися неможливо, особливо на початкових стадіях проектування, так як проектувальник використовує масу емпіричних формул і статистичного матеріалу. У зв'язку з цим математична модель судна найчастіше носить наближений характер. Найбільш складним при розробці математичної моделі є розрахунок складових навантаження і маси порожнього судна, опору води і швидкості судна, критерію економічної ефективності.

Розрахунок водотоннажності. За відомим на кожному кроці набору (вектору) незалежних змінних $x_1 - x_n$ (наприклад $\delta, L/B, H/T$) і заданим вантажопідйомності і осадці можна визначити орієнтовне значення водотоннажності $D = P/\eta_p$ і головні розміри, як показано в п.2.2.2.

За отриманими значеннями головних розмірів постатейно розраховуються складові навантаження, водотоннажність порожнього судна і з повним вантажем.

Визначення маси корпусу проводиться за допомогою вимірників маси корпусу і модулів, наведених в п.2.2.2.

Інші складові водотоннажності порожнем $D_{пор} = \sum_{i=1}^n P_i$, визначаються для заданих статей за формулами, наведеними в п.2.2.2.

Розрахунок вантажопідйомності і коригування водотоннажності. Знаючи головні розміри, і водотоннажність порожнем $D_{пор}$ судна, знаходимо фактичну вантажопідйомність $P_1 = D - P_{п} - P_{мс} - P_{ек}$. Водотоннажність кожного варіанту, як правило, розраховують методом послідовних наближень. Наприклад, якщо в початкових даних на проектування задана ванта-

жопідйомність P , визначають похибку у визначенні фактичної вантажопідйомності

$$\Delta P = \frac{P_1 - P}{P_1}$$

і при $|\Delta P| \geq \xi$ розраховують водотоннажність у другому наближенні

$$D_2 = \frac{P}{P_1} D_1.$$

Потім обчислюється розрахункову довжину у другому наближенні, потужність, водотоннажність порожнього судна тощо. Величину припустимої похибки ξ звичайно приймають рівною 0,005.

Розрахунок потужності енергетичної установки або, якщо задаються головні двигуни, швидкості, виконують для кожного варіанту судна через елементи L, B, T, δ і повну водотоннажність D . Алгоритм цього розрахунку вибрано і описано в п.2.2.2.

Визначення швидкості суден за заданими головними двигунами, проводиться, в принципі, за тими ж самими методами, які використовуються для обчислення потужності головних двигунів, але тільки в результаті послідовних наближень. Покажемо, як це здійснюється, на прикладі, коли потужність першого наближення визначається за адміралтейською формулою.

Спочатку за цією формулою знаходять швидкість судна у першому наближенні

$$v_1 = \sqrt[3]{\frac{NC}{D^{2/3}}},$$

де C – адміралтейський коефіцієнт судна-прототипу.

Потім обчислюється опір води рухові судна, коефіцієнти взаємодії рушія і корпусу, ККД гвинта, необхідна ефективна потужність енергетичної установки у першому наближенні N_1 відхилення

$$\Delta N = \frac{N_0 - N_1}{N_0},$$

де N_0 – потужність заданих двигунів. Якщо $|\Delta N| \geq 0,005$, необхідно виконати ще один цикл розрахунків, попередньо визначивши нове значення швидкості

$$v_2 = \sqrt[3]{\frac{N_0 C}{N_1 D^{2/3}}}.$$

Перевірка обмежень по головних розмірах. Обмеження вантажопідйомності судна перевіряють звичайним чином, наприклад, зпівставляючи розрахункову висоту борту з мінімальною висотою за умови забезпечення місткості (див. п.2.2.2). Перевірка обмежень по габаритам судна проводиться в залежності, наприклад, від гарантованої глибини суднового ходу, ширини, довжини залізничної платформи, на якій буде перевозитися судно, розмірів побутового місця, воріт цеху тощо.

Так, наприклад, максимальна припустима осадка від гарантованої глибини суднового ходу

$$T_{\max} = T_{\Gamma} - T_{\min},$$

де T_{Γ} – гарантована глибина суднового ходу, м; $\Delta T_{\min}$ – мінімальний запас глибини під днищем, м.

В залежності від ширини залізничної платформи, наприклад, гранично припустима ширина судна

$$B_{\max} = b_{\text{ПЛ}} - \Delta b,$$

де $b_{\text{ПЛ}}$ – ширина платформи, Δb – зазор між бортом судна і бортом платформи.

Таким чином, описані вище алгоритми, залежності, умови тощо, можуть бути використані при створенні математичної моделі малотоннажного судна. Блок-схема такої математичної моделі наведена на рис. 3.1.

3.4 Формування обмежень математичної моделі

Обмеження математичної моделі визначають область прийнятних рішень, у якій бажано одержати оптимальне.

Обмеження в розрахунках ходовості відповідають області застосування методів розрахунку опору води руху.

Обмеження математичної моделі малотоннажних запалублених суден по місткості сформовано з тієї умови, що повний об'єм корпусу не може бути менше необхідного об'єму.

Необхідною умовою функціонування моделі малотоннажного судна є обмеження параметрів діаграм статичної остійності, що формується виходячи з вимог Правил Регістру [2,9].

Нарешті, у математичній моделі використане обмеження, що впливає з закону Архімеда.

Крім того, у блоці формування обмежень є тривіальні обмеження такі, як $\delta_{\max} \geq \delta \geq \delta_{\min}$ (відповідає умовам генерації теоретичного креслення), а також $B \leq 3,9$ м (відповідає умовам проходження залізничних габаритів тощо).



Рис.3.1 Блок-схема математичної моделі малотоннажного судна

При створенні нового проекту малотоннажного судна звичайно стикаються з проблемою забезпечення безпеки мореплавства, одним із напрямків якої є призначення необхідних ресурсів остійності, що є дуже непростим питанням.

Це пов'язано з тим, що необхідно задовольняти двом, протилежним вимогам. З одного боку, судно повинно мати хорошу початкову остійність, що дозволяє витримувати статичні і одиничні імпульсні навантаження. З іншого боку, судно повинно мати гарні морехідні якості, під якими розуміється спроможність судна протистояти дії вітру і хвиль і мати при цьому обмежені викликані переміщення, швидкості і прискорення, не порушуючи роботу механізмів і екіпажу.

Згідно з прийнятою практикою параметром, за яким оцінюють початкову остійність, є початкова метацентрична висота h_0 , хоч більш повне уявлення про неї дає коефіцієнт остійності Dh_0 (D – водотоннажність). Чим більше значення h_0 , тим краща спроможність судна протистояти статично прикладеним навантаженням.

Найбільш типовими обмеженнями по мореплавності, які накладаються на судно є: помірність бортових нахилень, обумовлена можливою втратою стійкості руху судна при великих кутах крену; помірність прискорень, пов'язана з умовами життєпридатності, роботою механізмів і міцністю судових конструкцій; повна відсутність або слабка виразність слемінга і заливаності; помірна ризикованість судна при дії вітру і хвилі; відносно мала втрата швидкості при русі на хвилюванні.

Зараз на ранніх стадіях проектування перераховані вище типові обмеження з мореплавності практично не застосовуються через їхню неповну вивченість, а також через громіздкість і великі об'єми обчислень. Поводження судна на хвилюванні звичайно прогнозують за таким критерієм, як повільність хитавиці.

Застосування цього критерію мореплавності викликано багаторічним досвідом експлуатації, який показав, що рвучка, різка бортова хитавиця, яка відбувається з великою амплітудою, не тільки несприятливо позначається на спроможності судна виконувати своє функціональне призначення, але і є чинником, що знижує безпеку плавання. Крім того, встановлено, що період бортової хитавиці близький до періоду вільних бортових коливань. Це дозволяє оцінювати її плавність за достатньо простими наближеними формулами, які встановлюють

зв'язок бортових коливань судна τ_θ з його розмірами. Однією з таких формул є так звана "капітанська" формула, запропонована У. Ховгардом

$$\tau_\theta = \frac{cB}{\sqrt{h_0}}, \quad (2.19)$$

де B – ширина судна;

c – коефіцієнт, що змінюється для традиційних типів морських суден у достатньо вузьких межах (0,7–0,8).

Як видно з формули (2.19) збільшення початкової метацентричної висоти призводить до зменшення періоду вільних бортових коливань, а, отже, погіршує повільність хитавиці. У цьому і полягає протиріччя обмежень з початкової остійності і мореплавної. Чим більша початкова остійність, тим більш різка і рвучка бортова хитавиця і навпаки, забезпечення більш плавної хитавиці може призвести до недостатньої початкової остійності.

Зі сказаного вище стає ясным, що для кожного конкретного проекту повинен бути встановлений певний діапазон можливих значень метацентричних висот, який би забезпечував безпеку плавання при найкращих умовах виконання судном свого експлуатаційного призначення. Мінімальне значення початкової метацентричної висоти звичайно встановлюється відповідним органом технічного нагляду і класифікації. Так, для суден довжиною менше 20 м, крім рибпромислових, Правилами Регістру призначено мінімальну $h_0 = 0,5$ м [2], а Річковим Регістром незалежно від довжини і типу судна – 0,2 м.

Ці значення і необхідно брати як нижню межу при встановленні функціонального обмеження остійності для МС. Для відносно великих морських суден прийнято вважати, що вони відчують достатньо плавну хитавицю при періоді 10 с. Якщо період менше 10 с, то хитавиця вважається різкою, а остійність надмірною.

"Капітанську" формулу (2.19) можна переписати

$$\tau_\theta = \frac{2\rho_x}{\sqrt{h_0}}, \quad (2.20)$$

де ρ_x – радіус інерції маси судна відносно центральної поздовжньої осі.

Оскільки радіус інерції маси судна порівняно швидко зростає зі збільшенням його розмірів, на малих суднах, навіть при помірних значеннях початкової метацентричної висоти, не вдається забезпечити період вільних бортових коливань рівним 10 с. Наявні дані свідчать про те, що для малих військових кораблів і річкових суден, таких як тральщики, сторожовики, буксири з довжиною 30–60 м τ_0 знаходиться в межах 3,5–8,0 сек. Що ж стосується суден довжиною менше 20 м, то даних по них практично немає. Отже, невідомі значення коефіцієнтів у формулі (2.19) виключають можливість її застосування для малотоннажних суден.

З метою оцінки розкиду значень τ_0 , які можуть бути отримані при застосуванні наближених методів, був виконаний порівняльний розрахунок по 30 суднах різноманітного призначення довжиною від 5 до 23 м. Період вільних бортових коливань визначався за наступними способами.

1. За формулою Дуайра [17] визначався момент інерції маси судна

$$J_x = \frac{D}{12g} (B^2 + 4z_g^2),$$

де z_g – апліката центра ваги,

g – прискорення вільного падіння.

Приєднаний момент інерції μ_{44} приймався рівним $0,25J_x$ при $B/T \leq 3,5$ і $0,6J_x$ при $B/T \geq 5$. Для проміжних значень B/T момент інерції визначався лінійною інтерполяцією.

Частота вільних бортових коливань визначалася за формулою

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{Dh_0}{J_x + \mu_{44}}},$$

після чого визначався період коливань.

2. Момент інерції визначався за формулою для грубої оцінки

$$J_x = \frac{D}{g} \rho_x^2,$$

де ρ_x змінювався у межах

$$0,35 \leq \frac{\rho_x}{B} \leq 0,45.$$

Далі розрахунки велися як у першому способі.

3. Період вільних бортових коливань визначався відповідно до графічної залежності, наведеної в [19], яка виражає $\tau_\theta / \sqrt{h_0}$ параметр від параметра n_1 , обчислений як

$$n_1 = \frac{h_0 B}{\sqrt[3]{D z_g}}.$$

Знаючи період, можна визначити частоту ω_θ і сумарний момент інерції маси судна $J_x + \mu_{44}$.

В усіх трьох випадках визначався коефіцієнт c для формули (2.19).

Аналіз результатів розрахунків показав наступне.

1. Наближені формули дають значний розкид результатів. Особливо сильний розкид спостерігається у суден з великим відношенням B/T . Наприклад, значення сумарних моментів інерції двох буксирів, у яких відношення B/T дорівнює 9–11 різняться в три рази, а періоди вільних бортових коливань у півтора. У той же час, у катерів проектів РМ1 і РВ1 з відношенням B/T 3,5–4,0 розкид значень значно менший.

2. Всі три наближених способи показали, що судна довжиною менше 20 м мають різку, рвучку хитавицю з періодом 1,7–6,5 сек. При цьому визначається явна закономірність у зменшенні періоду коливань зі зменшенням довжини судна, що узгоджується з практикою.

3. Для вибору конкретного способу розрахунку τ_θ необхідно порівняння отриманих результатів з даними натурних випробувань.

Визначення верхньої межі значення початкової метacentричної висоти доцільно виконувати лише для суден, які мають достатньо велику автономність плавання (більше 1 доби). Для таких суден плавною можна вважати хитавицю з $\tau_\theta \geq 3$ –3,5 сек. Для малих службово-роз'їзних суден довжиною менше 12–14 м,

які мають автономність менше 1 доби, встановлювати верхню межу по h_0 нецільно.

3.5. Методи оптимізації

3.5.1 Спеціальна термінологія і позначення

У відповідності з ГОСТ 22487-77 проектування – це процес складання описів, необхідних для створення ще не існуючого об'єкта шляхом перетворення первинного опису і оптимізації заданих його характеристик.

Вектор $X^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]$, в якому досягається екстремум цільової функції називається оптимальним вектором або оптимальною точкою, координатами якої є характеристики, які оптимізуються а відповідне значення $F(X^*)$ – оптимальним значенням цільової функції.

Пара X і $F(X^*)$ складає оптимальне рішення.

Множина усіх точок, які задовольняють обмеженням, утворює допустиму область, яка позначається через R , будь-яка точка поза R називається недопустимою.

Допустиме рішення, в якому цільова функція $F(X)$ досягає свого екстремального значення, називається оптимальним рішенням.

Множина усіх векторів $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що задовольняють обмеженням, називається множиною допустимих рішень.

Оптимізаційна процедура складається з кроків і етапів. Кроком оптимізації називається одноразове перетворення однієї компоненти вектора X і розрахунку цільової функції.

Етапом оптимізації називається багаторазове перетворення всіх компонент вектора X , що приводить до допустимого рішення задачі мінімізації цільової функції при заданому рівні штрафу на безперервні і дискретні незалежні змінні.

Даний алгоритм складається з 5-ти етапів. На кожному етапі завдається свій рівень штрафу.

Деякі умовні визначення, які вживаються в посібнику:

$\{\}$ – символ множини,

$|$ – визначає “за умови, якщо”,

$\in$ – знак незалежності (елемента множини),

$F(X), f(X)$ – цільова функція, значення цільової функції в точці,

$G(g_i(X^c))$ – функціонал над множиною обмежень неперервних незалежних змінних у вигляді нерівностей,

$Q(g_i(X^d))$ – функціонал над множиною обмежень на дискретні незалежні змінні у вигляді нерівностей,

$G\left(g\left(X^c\right)^d\right)$ – функціонал над множиною обмежень неперервних і дискретних незалежних змінних у вигляді нерівностей на перших двох етапах оптимізації.

3.5.2 Огляд методів оптимізації суден.

З розвитком обчислювальної техніки з'явилась можливість оптимізації елементів суден на основі мінімізації (максимізації) економічного критерію.

В цьому випадку задача формується таким чином:

знайти таке сполучення елементів судна, що оптимізуються, при якому функція критерію ефективності досягає свого екстремального значення при одночасному виконанню вимог до його якостей і задоволенню усім обмеженням.

Більшість ЛММ обмежуються оптимізацією головних розмірів і коефіцієнтів повноти. Деякі, особливо ранішні моделі, за величини, які оптимізуються, використовують співвідношення головних розмірів. Кількість змінних, які оптимізуються, не перевищує 5–7.

Деякі ЛММ мають змішану структуру: поряд з головними елементами судна оптимізуються і деякі характеристики завдання на проектування (наприклад, швидкість руху).

Більшість ЛММ застосовують прямі методи розрахунків, але з використанням необмежених залежностей.

Оптимізація головних елементів суден відноситься до класу задач нелінійного програмування з спрямованими методами пошуку. Серед нелінійних методів можна виділити методи рішення оптимізаційних задач без обмежень (безумовна оптимізація) і з обмеженнями (умовна оптимізація). Найчастіше використовуються надійні методи безумовної оптимізації, в яких не вимагаються розрахунки похідних функцій критерію ефективності.

При застосуванні методів нелінійного програмування вихідна задача з обмеженнями в більшості випадків приводиться до задачі безумовної оптимізації за допомогою штрафних функцій.

Достатньо широко використовуються методи внутрішніх штрафних функцій:

SUMT (*Sequential Unconstained Minimization Technique*)

і метод зовнішніх штрафних функцій:

EPT (*External Penalti Technique*)

В методах SUMT і EPT застосовуються наступні перетворення:

$$\text{SUMT} - P(X, r_k) = f(X) + r_k \sum 1/g_s(X);$$

$$\text{EPT} - P(X, r_k) = f(X) + r_k \sum |(g_s(X))^n|,$$

де $P(X, r_k)$ – узагальнена цільова функція;

r_k – параметр, що характеризує рівень штрафу на k -му етапі оптимізації;

$f(X)$ – вихідний критерій економічної ефективності;

$g_s(X)$ – функція обмеження, при умові, що усі обмеження записані у вигляді $g_s(X) \geq 0$;

0 – на межі допустимих рішень

$$g_s(X) = \begin{cases} 0 & \text{– на межі допустимих рішень} \\ + g_s(X) & \text{– в середині області допустимих рішень.} \\ - g_s(X) & \text{– за межею області допустимих рішень} \end{cases}$$

За такої побудови узагальненої цільової функції легко доводиться, що граничне значення $P(X, r_k) \rightarrow f(x)$.

Необхідно відзначити, що єдиного метода оптимізації елементів суден не може бути і, що вибір методу визначається специфікою поставленої задачі.

3.5.3. Оптимізація за наявності обмежень

У загальному випадку пошук екстремуму цільової функції в задачі нелінійного програмування здійснюється при заданих обмеженнях у вигляді рівностей і (або) нерівностей. Обмеження можуть бути лінійними і нелінійними.

Як згадувалося вище, задача нелінійного програмування формулюється наступним чином:

Визначити вектор $X = \{X_i\}$, $i \in (1; n)$

Якщо критерій економічної ефективності приймає найменше (найбільше) значення

$$F(X) \rightarrow \min(\max)$$

При лінійних і (або) нелінійних обмеженнях у вигляді рівностей

$$h_j(X) = 0, j = 1, \dots, m$$

І при $(p-m)$ лінійних і (або) нелінійних обмеженнях у вигляді нерівностей

$$G_j(X) \geq 0, j = m + 1, \dots, p,$$

де i – множина незалежних змінних

j – множина обмежень типу рівностей і (або) нерівностей;

X – вектор незалежних змінних;

$g_j(X)$ – функції обмежень типу нерівностей;

$h_j(X)$ – функції обмежень типу рівностей.

Незалежними змінними називаються компоненти вектора X : $x_1, x_2, \dots, x_n$, які в процесі оптимізації змінюються незалежно від зовнішніх умов і один від одного в допустимій області.

В деяких окремих задачах, в тому числі, і в задачі оптимізації елементів судна, обмеження у вигляді рівностей можуть бути явно розв'язані відносно обраних незалежних змінних на кожному кроці оптимізації.

До такого обмеження належить вимога виконання закону Архімеда

$$\sum(P_i) = \gamma \delta_{\text{вч}} LBT, \text{ т } D = \sum P_i, \text{ т}$$

тобто маса судна повинна дорівнювати масі витісненої води.

Це обмеження типу рівності досягається визначенням маси вантажу, що перевозиться, на кожному кроці оптимізації як різниці між масою витісненої

судном води при обраних незалежних змінних L , B , T , δ і сумою мас навантаження $\sum P_i$ (без маси вантажу). В цьому випадку одночасно з розв'язанням обмеження типу рівності досягається максимальний оптимізовний ефект за рахунок зміни маси вантажу при кожній зміні незалежних змінних. Таким чином, в задачі оптимізації залишаються тільки обмеження типу нерівностей. Ці обмеження окреслюють допустиму область оптимізації і діляться на 4 групи:

обмеження на головні розміри відповідно до вимог завдання і матеріалів серійних випробувань моделей, що використовуються в розрахунках ходовості;

обмеження діапазону можливих значень характеристик судна вказаних в завданні;

обмеження, в яких враховуються вимоги Регістру до якостей судна, до висоти надводного борту та ін.;

тривіальні обмеження зони пошуку оптимуму, які вводяться для зручності організації процедури пошуку.

Обмеження всіх груп повинні бути пов'язані між собою. При визначенні обмежень необхідно порівнювати розміри допустимої області з початковим кроком оптимізації: при надмірно вузькій допустимій області по якомусь з обмежень можливий зрив процесу оптимізації.

3.5.4 Топологія цільової функції

Цільова функція (ЦФ) при наявності обмежень і в зв'язку з залежністю її від змінних представляє собою поверхню складної форми. Функція може мати тільки один екстремум, і тоді вона зветься унімодальною, але може мати декілька екстремумів – це буде мультимодальна ЦФ. Глобальне оптимальне рішення ЛММ представляє собою найменше значення $f(X)$, тоді як локальне оптимальне значення представляє собою найменше значення $f(X)$ в околиці деякого вектора.

Збіжність до глобального оптимуму не може бути гарантована без додаткових даних відносно природи ЦФ та характеру обмежень.

На практиці припущення про те, що локальний екстремум є глобальним може бути перевірене шляхом виконання декількох оптимізацій з різних почат-

кових векторів. Але навіть якщо знайдене тільки одне локальне рішення, в загальному випадку неможливо з повною упевненістю стверджувати, що це рішення обов'язково є глобальним оптимумом.

На рис. 3.2 показано оптимальне рішення за наявності двох локальних оптимумів. Один з них глобальний. Між локальними оптимумами знаходиться сідлова точка. Множина точок, для яких ЦФ має постійне значення, утворює лінії рівня.

На рис. 3.3 показана схема руху точки X^0 до оптимуму при наявності функціоналів штрафу $r_i G_i$ на безперервні незалежні змінні і функціоналу штрафу $S_i Q_i$ на не дискретність, який утворює локальні екстремуми. Одночасно на цьому рисунку представлена цільова функція $F(x)$ і узагальнена цільова функція $P(x)$. На перших двох етапах оптимізації (рис. 3.3а) ЦФ приводиться в **околицю** оптимуму X_1 без урахування дискретності ($S = 0$).

На третьому і четвертому етапі оптимізації рис. 3.3б зростає дія функціоналу SQ і значно зменшується значення функціоналу штрафу rQ . Це дає можливість доставити точку X_1 безпосередньо в околицю дискретного значення X_1^d .

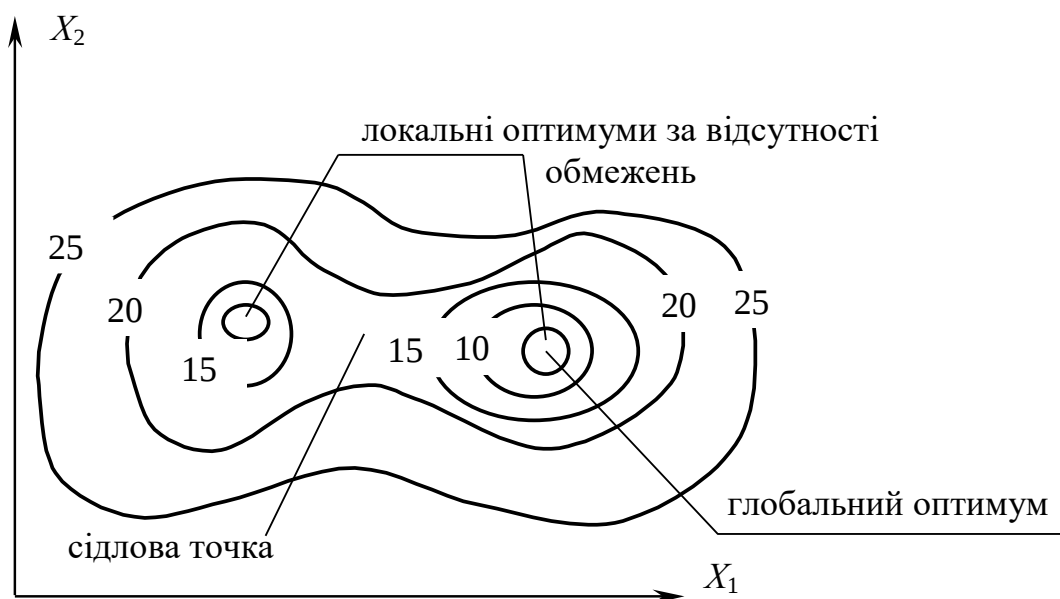


Рис. 3.2 Локальні і глобальний оптимуми

На останньому етапі оптимізації рис.3.3 в функціонал rG практично досяг нульового значення, а величина штрафу SQ зросла до максимальної, але так, що в дискретних точках X_1^d, X_2^d, X_3^d значення $SQ \rightarrow 0$, тобто $F(X) = P(X)$, а точка X_2 дійшла до свого оптимального значення X^* .

Рис. 3.3а, б, в показує складну топологію цільової функції при наявності тільки двох обмежень 1,2, а фактично таких обмежень може бути більше 20-ти, що не дає можливості відобразити поверхню цільової функції на площині.

3.5.5. Методи штрафних функцій

Наявність обмежень утворює допустиму область рішень оптимізаційної задачі. В процесі оптимізації незалежні змінні одержують приріст і щоб утримати їх в допустимій області треба утворити “бар’єри”, за які вони не спроможні виходити. Такими “бар’єрами” і є штрафні функції.

В теорії нелінійного математичного програмування існують алгоритми для пошуку як умовного, так і безумовного екстремумів, проте останній набага-

то простіший і ефективніший. Тому, якщо є можливість, доцільно

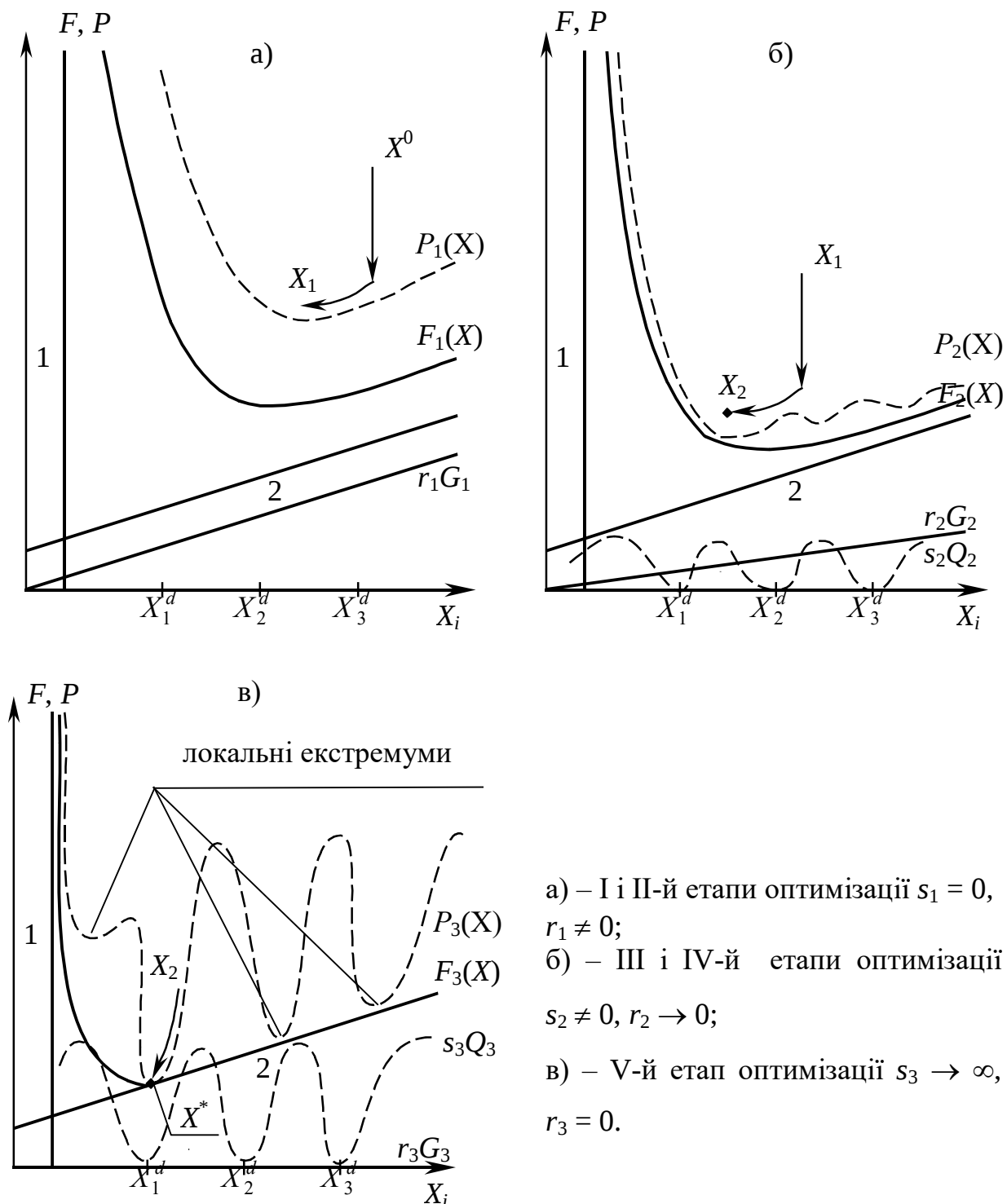


Рис. 3.3. Схема прямування точки X^0 до оптимуму X^* при оптимізації по схемі дискретно безперервного нелінійного програмування:

X_1^d, X_2^d, X_3^d – можливі дискретні значення точки X ; $F(X)$ – цільова функція; $P(X)$ – узагальнена цільова функція; r, s – вагові фактори штрафу; G, Q – функціонали штрафних функцій; 1, 2 – обмеження.

перетворити задачу на умовний екстремум до задачі на безумовний (без обмежень).

Для оптимізації судна це перетворення простіше зробити за допомогою штрафних функцій. Перевага такого прийому полягає в тому, що мінімізація здійснюється за допомогою значно простіших алгоритмів (в порівнянні з алгоритмами, які враховують наявність обмежень).

В загальному вигляді штрафні функції представляють з себе добуток вагових коефіцієнтів рівня штрафу r_k на k -тому етапі оптимізації і функціоналів обмеження.

$\sum_{i=1}^m r_k H(h_i(X))$ – штрафна функція на обмеження типу рівностей;

$\sum_{i=m+1}^p r_k G(g_i(X))$ – штрафна функція на обмеження типу нерівностей, де $i =$

$1-m$ – індекси обмежень типу рівностей; $i=m+1-p$ – індекси обмежень типу нерівностей

$H(h_i(X))$ і $G(g_i(X))$ – функціонали обмежень відповідно типу рівностей і типу нерівностей.

Функціонал $G(g_i(X))$ обирають виходячи з таких міркувань:

1. $G_1(g_i(X)) \rightarrow +\infty$, якщо $g_i(X) \rightarrow 0^+$, для цього необхідно, щоб точка, визначаємо вектором X , завжди була внутрішньою і не знаходилася на границі, тобто

$$\{X | g_i(X) > 0, \quad i = +1, -, p.$$

2. $G_2(g_i(X)) \rightarrow 0$, якщо $g_i(X) \rightarrow 0^-$ При такому виборі функціонал G оперує тільки зовнішніми точками.

3. $G_3(g_i(X)) > 0$, якщо $g_i(X) < 0$ і $G_4(g_i(X)) = 0$, якщо $g_i(X) \geq 0$. При такому виборі функціоналу не турбуються про те, щоб обмеження задовольнялися на проміжних етапах обчислювального процесу, але, звичайно, вимагається, щоб ці умови задовольнялися в точці, яка визначає шукане рішення.

При будь-якому виборі функціоналів $H(h_i(X))$ і $G(g_i(X))$ вимагається, щоб на границі задовольнялися умови

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{i=m+1}^p r_k G(g_i(X)) = 0,$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^m r_k H(h_i(X)) = 0,$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} |P_{k,m}(X) - F(X)| = 0,$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$ – число завершених етапів обчислювального процесу; $m = 0, 1, 2, \dots$ – число кроків обчислювального процесу; $P_{k,m}(X)$ – узагальнена цільова функція.

Для оптимізації елементів суден зручніше утримувати вектор точки, яка оптимізується, всередині області допустимих рішень і використовувати функціонали I типу

$$G_1(g_i(X)) \rightarrow +\infty, \text{ якщо } g_i(X) \rightarrow 0^+.$$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Дормидонтов Н.К., Анфимов В.Н., Малый П.А., Пахомов Б.А., Шмуйлов Н.Л.* Проектирование судов внутреннего плавания. – Л.: Судостроение, 1974.
2. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т. 1. – Київ, 2002.
3. *Поздюнин В.Л.* Теория проектирования судов: Вып.1, вып.2. – Л.: Изд. ЛКИ, 1938.
4. *Бубнов И.Г.* Избранные труды. – Л.: Судпромгиз, 1956.
5. *Ногид Л.М.* Проектирование морских судов. – Л.: Судостроение, 1964.
6. **Санітарні Правила**
7. *Кротов А.И., Сорокин В.И., Цыбенко Б.А.* Проектирование судов. Методические указания к выполнению курсового проекта. – Николаев: НКИ, 1989. – 46 с.
8. *Ашик В.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1984. – 449 с.
9. *Бронников А.В.* Проектирование морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1984. – 327 с.
10. Правила класифікації та побудови малих суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2000.
11. *Алферьев М.Я.* Теория корабля. – М.: Транспорт, 1972.
12. *Вицинский В.В., Страхов А.П.* Основы проектирования судов внутреннего плавания. – Л.: Судостроение, 1970.
13. *Бреслав Л.Б.* Экономические модели в судостроительном производстве. – Л.: Судостроение, 1984. – 272 с.
14. *Голдобин Ю.А.* Роль малотоннажного флота в народном хозяйстве СРСР и перспективы развития малотоннажного судостроения / Тез докл. Всесоюзн.научн.-техн. конф. – Николаев: 1988.
15. *Гурович А.Н., Асиновский В.И.* Суда прибрежного и портового плавания. – Л.: Судостроение, 1978.
16. *Еганов А.Е., Голиков В.И., Живолупов В.И.* Армоцемент в судостроении. Технология судостроения. Сб. науч. тр. Николаев; –НКИ, 1993.

17. *Якишаров А.С.* Малые стальные суда. – Л.: Судостроение, 1986.
18. Новые типы малых катеров / *Е.В.Захаров, Л.В.Каменчук, Н.Н.Трапезников, Д.А.Чорногуз* // Судостроение. – 1977. – №1. – С.50–51.
19. Справочник по теории корабля: В 3 т./ Под ред. *Я.И.Войткунского*. – Л.: Судостроение, 1985. – Т.2: Статика судов. Качка судов. – 440 с.
20. Справочник по катерам, лодкам и моторам / Под ред. *Г.М.Новака*. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1982.
21. *Баадер Х.* Разъездные, туристские и спортивные катера: Перев с нем. *В.П.Гудимовича* и *Л.Б.Емельяновой* / Под ред. *Ю.В.Емельянова*. – Л.: Судостроение, 1976.
22. *Некрасов В.А.* Вероятностные задачи мореходности судов. – Л.: Судостроение, 1978.
23. *Некрасов В.А.* Мореходность и техническая устойчивость судна // Сб.науч. трудов НКИ: Гидромеханика корабля. – Николаев: НКИ, 1985.
24. *Амплеев Г.Г., Жуков Ю.Д., Некрасов В.А.* Характеристики бортовой качки и техническая устойчивость малотоннажного судна открытого типа в условиях шторма // Сб.науч. трудов НКИ: Гидромеханика корабля. – Николаев: НКИ, 1987.
25. *Александров М.Н.* Безопасность человека на море. – Л.: Судостроение, 1983.
26. *Александров М.Н., Донченко М.В., Еганов А.Е., Голиков В.И.* Методические аспекты безопасности на море. Сб. науч. тр. Николаев; –НКИ, 1993
27. *Холодилин А.Н., Шмырев А.Н.* Мореходность и стабилизация судов на волнении. – Л.: Судостроение, 1976.
28. *Нечаев Ю.И.* Остойчивость судов на попутном волнении. – Л.: Судостроение, 1978.
29. *Егоров И.Т., Буньков М.М., Садовников Ю.М.* Ходкость и мореходность глиссирующих судов. – Л.: Судостроение, 1978.

30. Справочник по теории корабля: В 3 т./ Под ред. *Я.И.Войткунского*. – Л.: Судостроение, 1985. – Т.1: Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители. – 768 с.
31. *Oortmerssen G. Van*. A Power Prediction Method and its Application to Small Ships // International Shipbuilding Progress. – 1971. – Vol. 18, №207. – P.397–415.
32. *Holtrop J*. A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data // International Shipbuilding Progress. – 1984. – Vol. 31, №363. – P.272–276.
33. *Ногид Л.Н.* Проектирование морских судов. – Л. Судостроение, 1976.
34. *Карнов А.Б.* Определение мощности энергетической установки на ранних стадиях проектирования // Судостроение. – 1980. – №8. – С.3.
35. *Карнов А.Б.* Приближенные расчеты скорости судна и мощности его энергетической установки // Судостроение. – 1974. – №4. – С.18–19.
36. *Harvald S.A*. Estimation of Power of Ships Data // International Shipbuilding Progress. – 1978. – Vol.25. – №283. – P.65–75.
37. Буксирные суда / *Б.В.Богданов, А.В.Слуцкий, М.Г.Шмаков, К.А.Васильев, Д.Х.Сорокин*. – Л.: Судостроение, 1974.
38. *Раков А.И., Севастьянов Н.Б.* Проектирование промысловых судов. – Л.: Судостроение, 1981.
39. *Кротов А.И., Сорокин В.И.* Расчетный метод проектирования теоретического чертежа // Сб. науч. трудов НКИ: Проектирование и конструкция судов. – Николаев: НКИ, 1983.
40. *Пашин В.М.* Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.

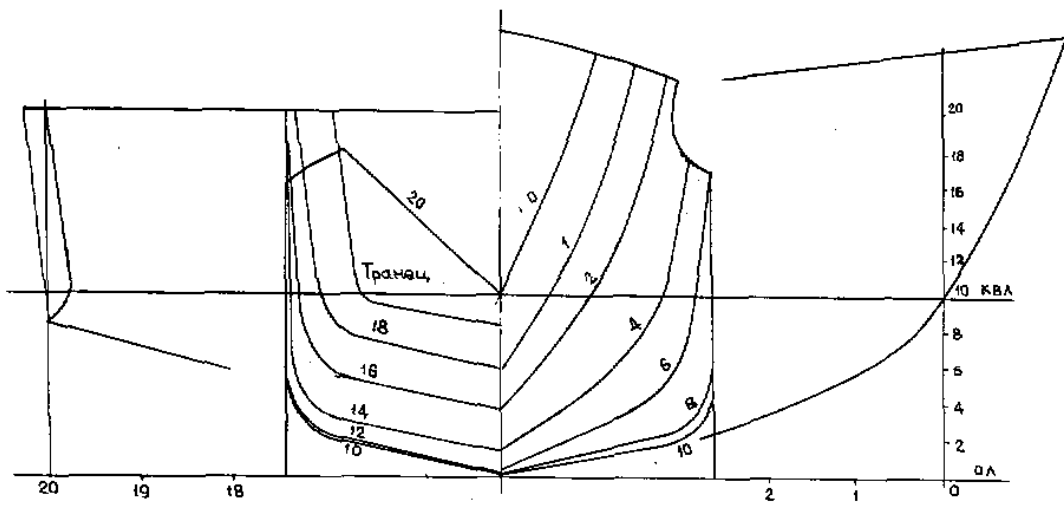


Рис.Д.1 Теоретичне креслення круслокулого судна з кілеватістю

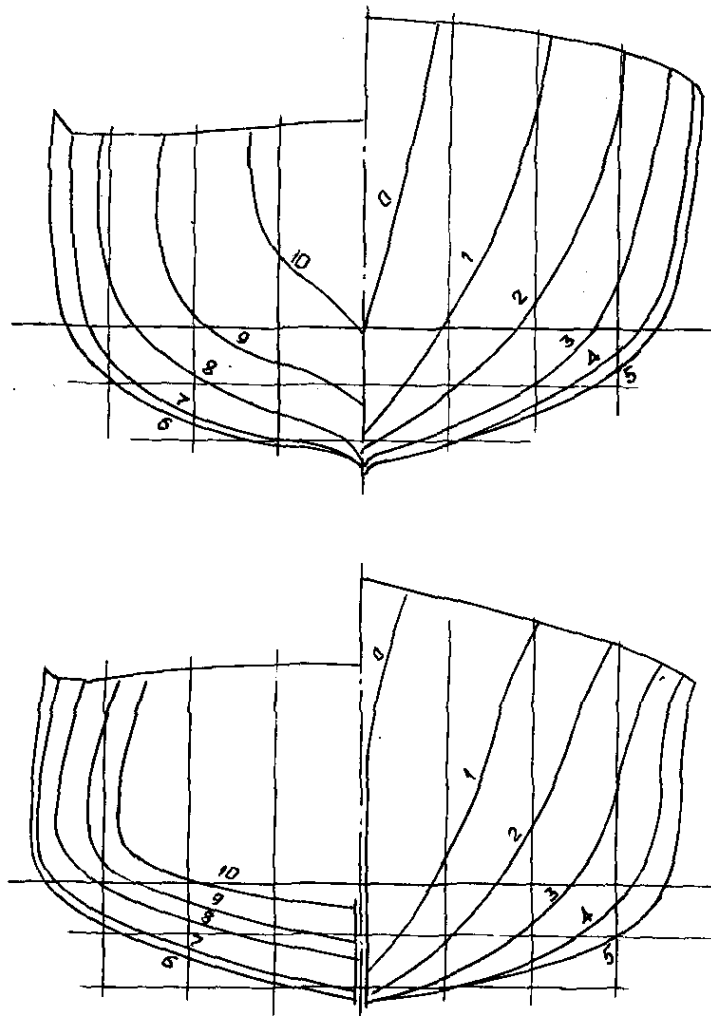
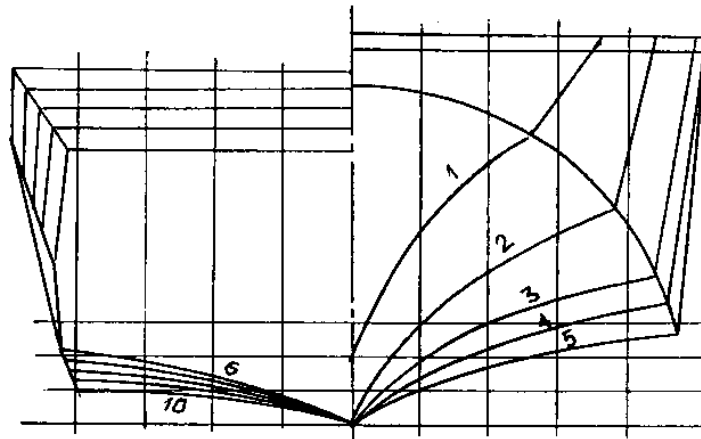
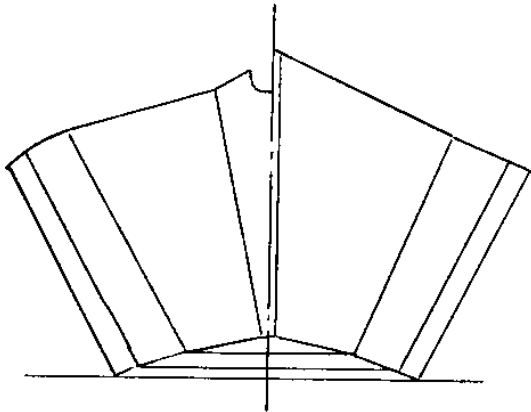


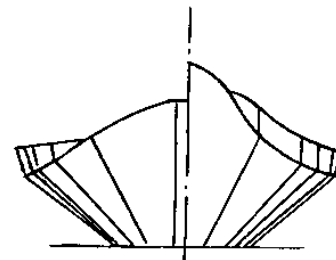
Рис.Д.2 Теоретичне креслення тихохідних круглокулих катерів



а



б



в

Рис.Д.3. Теоретичні корпуси гостроскулих катерів:
а – моторолка "Казанка"; б – катер "Дорн"; в – моторолка "Мах-4"

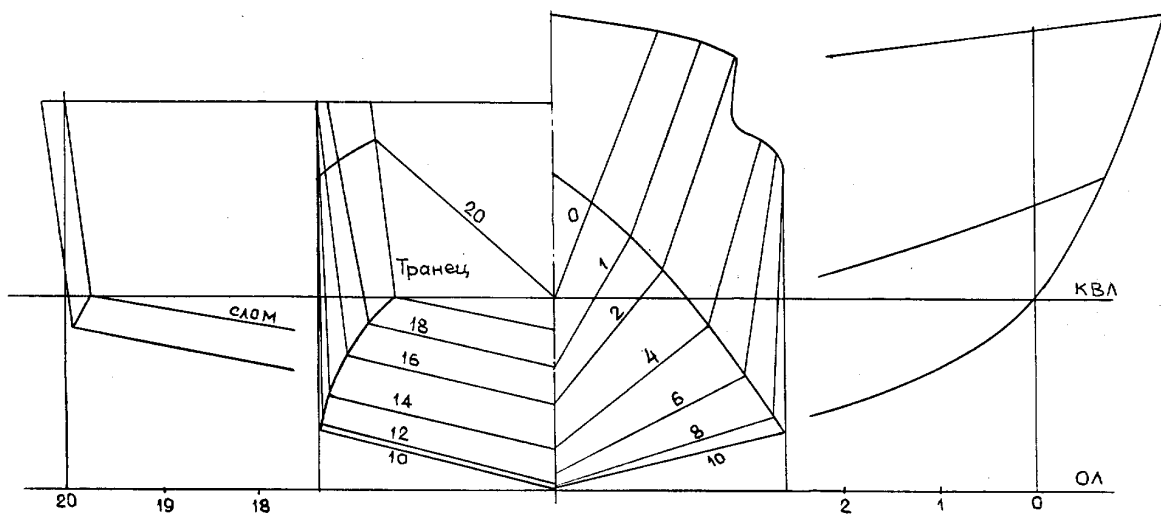


Рис.Д.4. Теоретичне креслення гостроскулого риболовецького судна (з одним зломом)

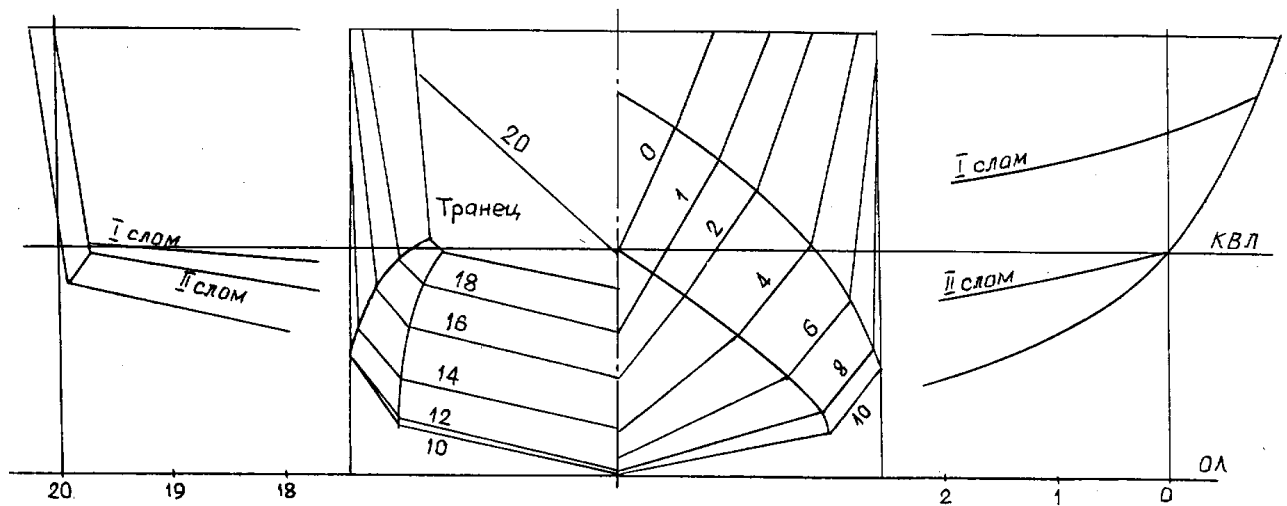


Рис.Д.5 Теоретичне креслення гостроскулого риболовецького судна (з двома зламами)

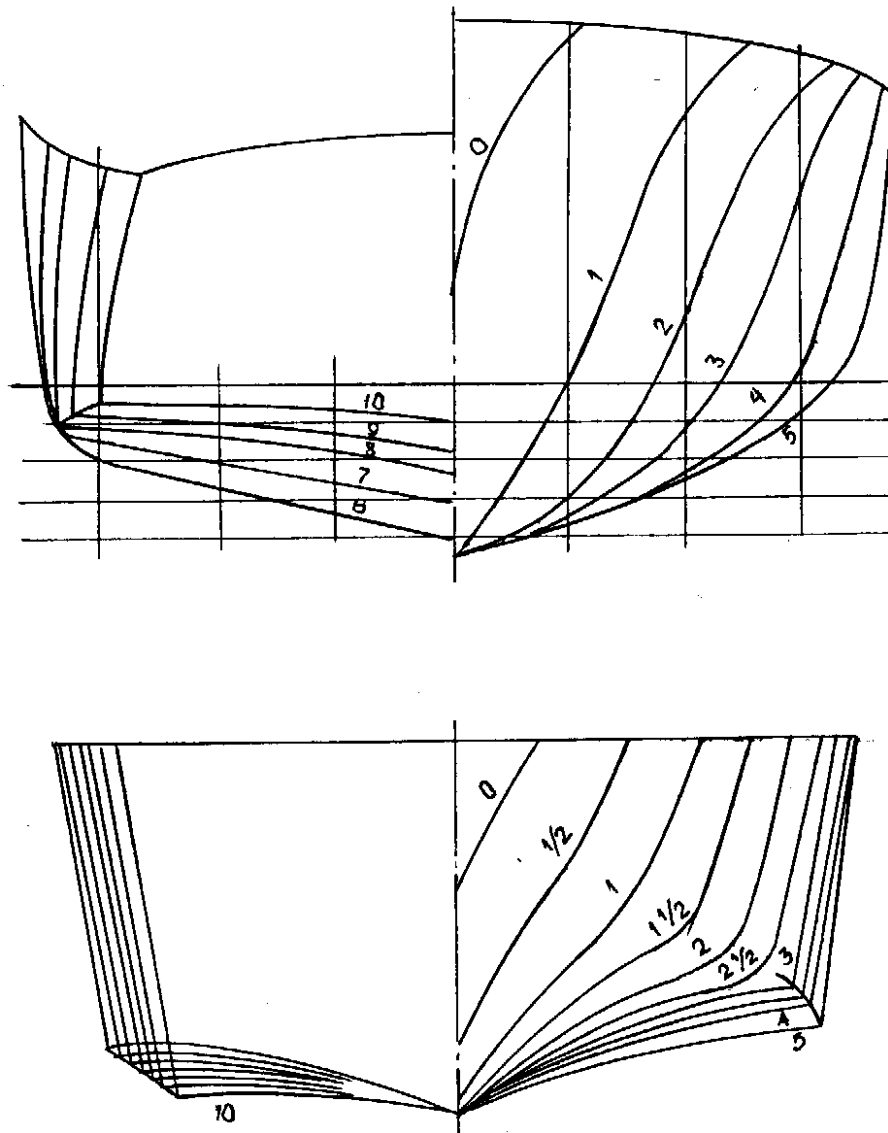


Рис.Д.6 Теоретичні корпуси катерів з плавним переходом від круглої до гострої скули

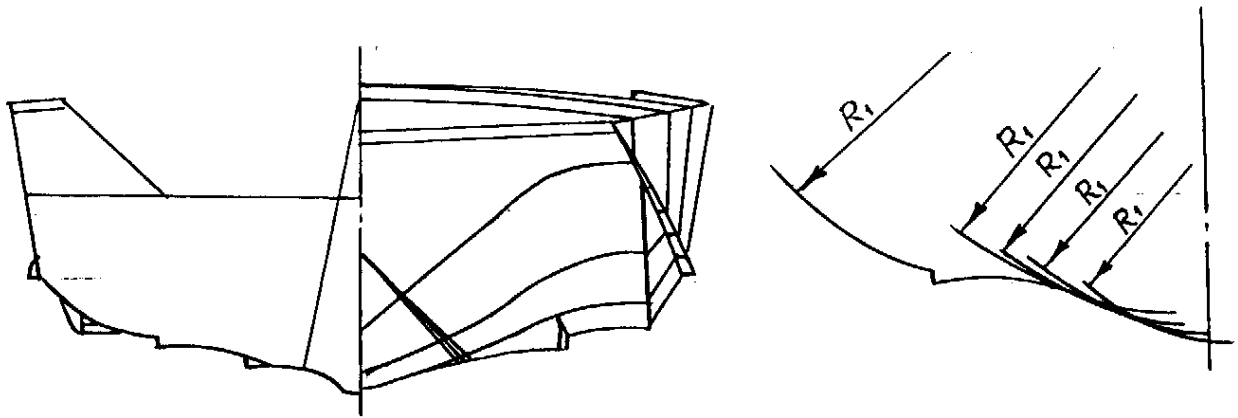


Рис.Д.7 Схема обводів моторовна "Комбі" і побудова обводів днища

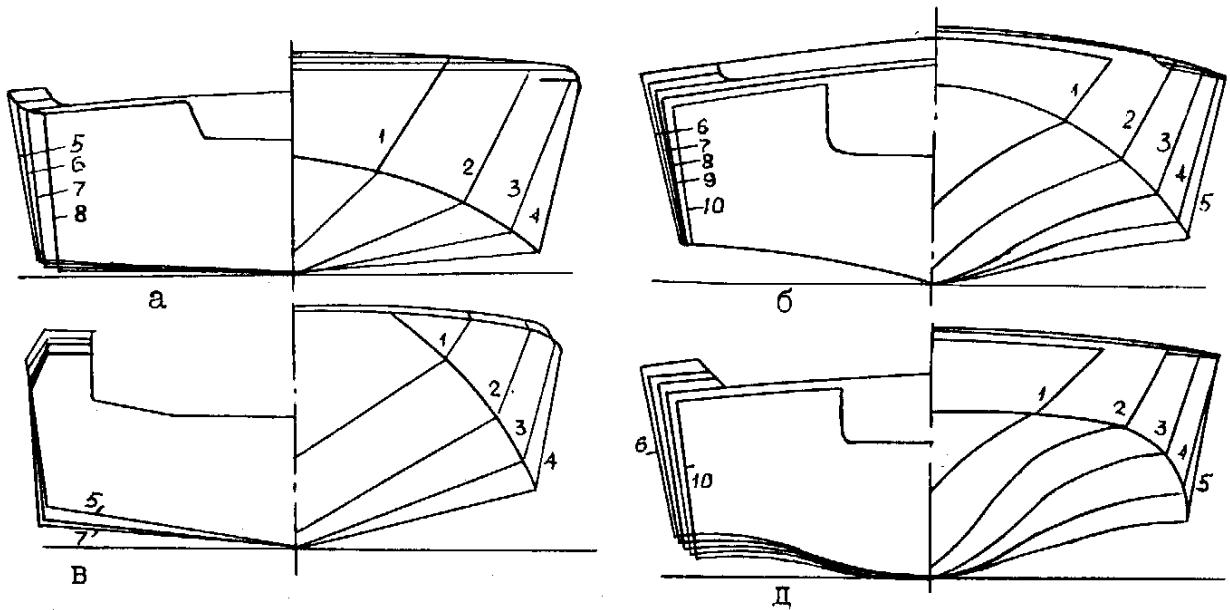


Рис.Д.8 Корпуси глісуючих мотолюдок:
а – "Дельфін"; б – "Ідель"; в – "Ока"; д – "Шмель"

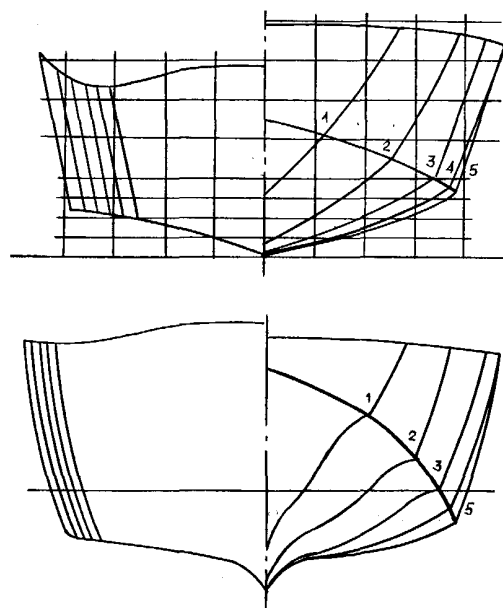


Рис.Д.9 Обводи корпусів глісуючих катерів типу "Моногедрон"

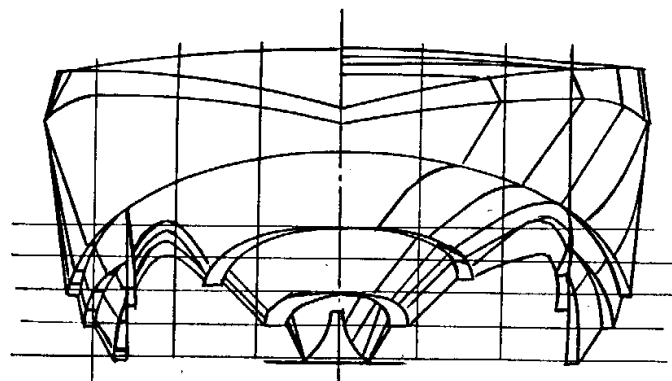
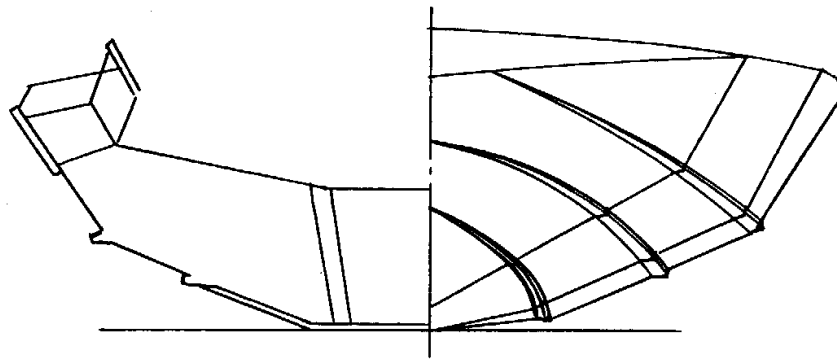


Рис.Д.10 Схема обводів катерів з гідро лижею і спонсорами

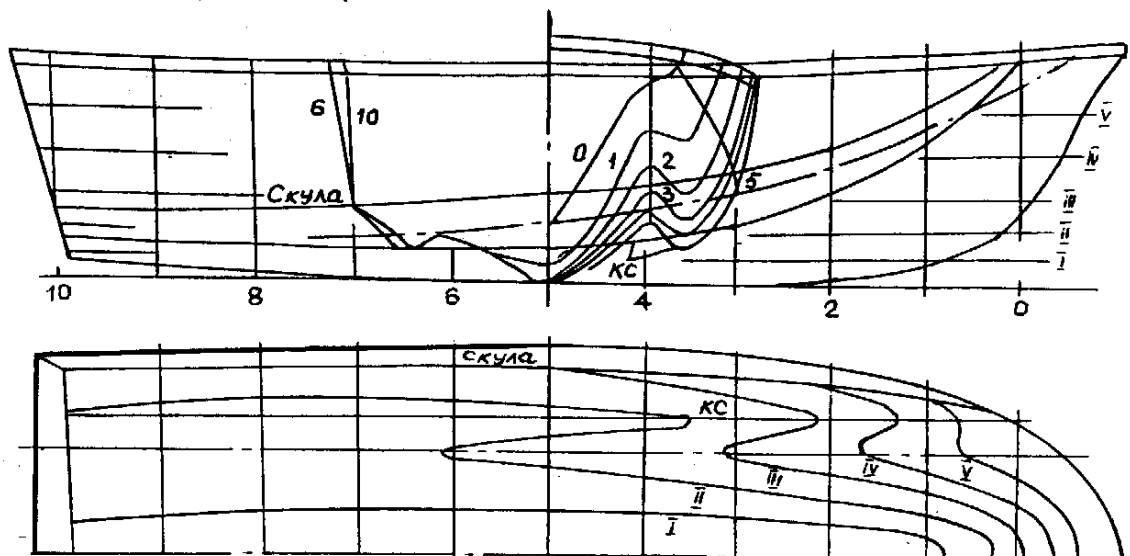


Рис.Д.11 Катер-тримаран "Уайт-Леді"

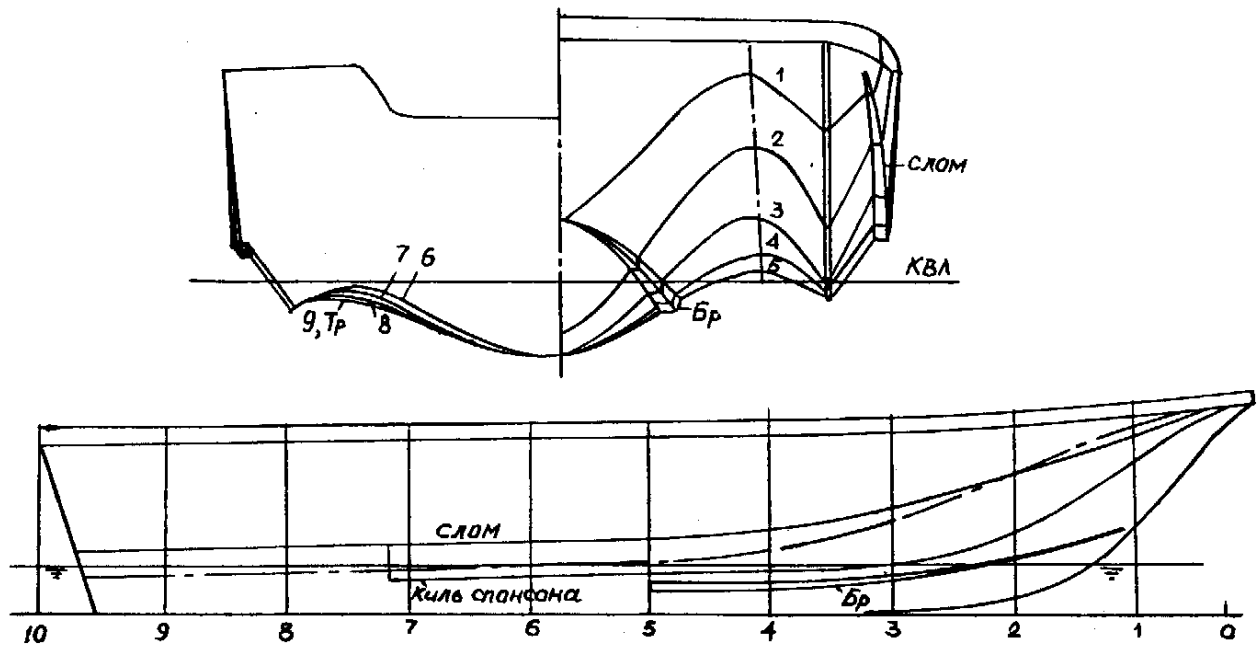


Рис.Д.12.Схема обводів "Бостонського китобою"

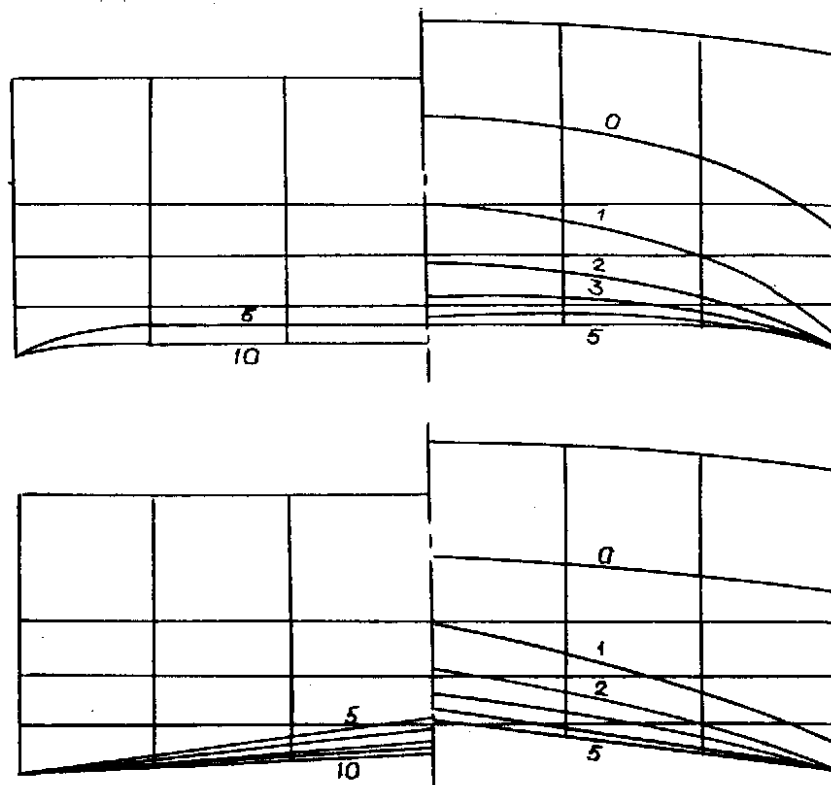


Рис.Д.13.Теоретичні креслення корпусів двох типів "Морських саней"

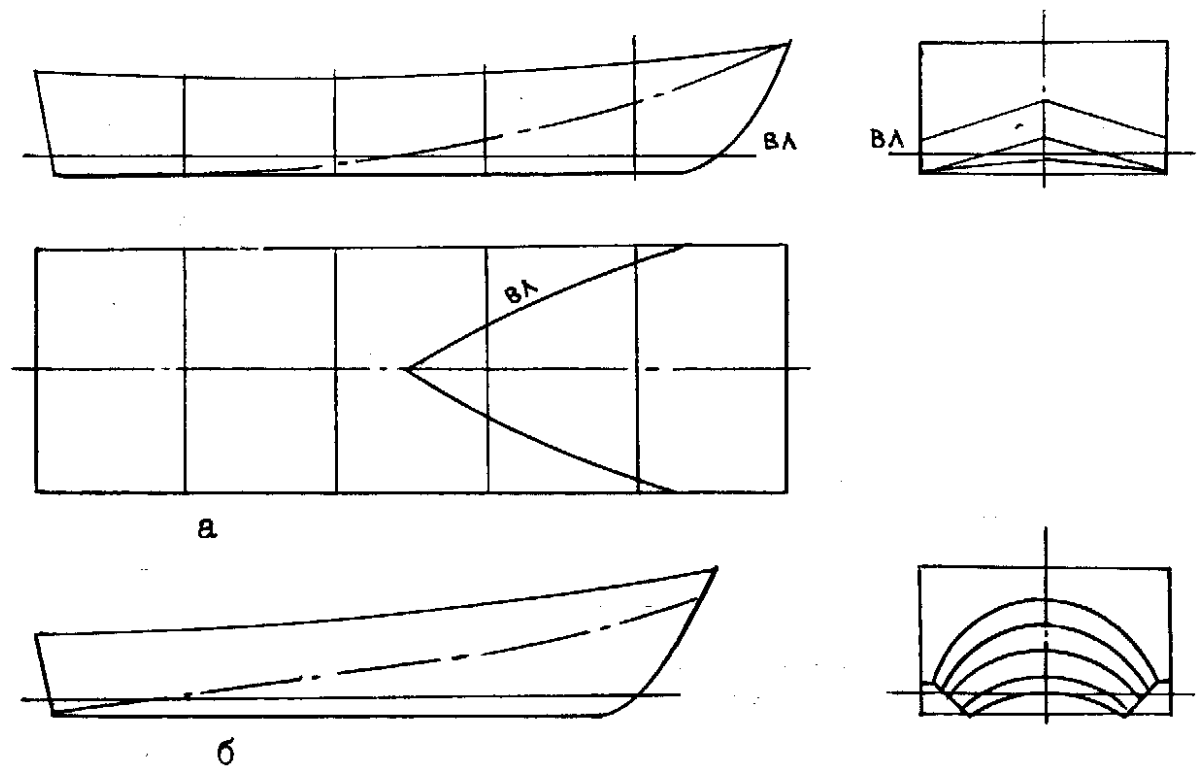


Рис.Д.14 Схема обводів "морських саней":
а – "А.Хікмана"; б – "Дж. Тіл