

$$\chi = \frac{V}{ST} \quad (7)$$

Легко видеть, что коэффициенты полноты являются величинами, меньшими единицы.

Формулу (3) можно представить в виде

$$S = \alpha LB, \quad (8)$$

следовательно, зная коэффициент полноты α , можно определить площадь ватерлинии S . Аналогично из формул (4) и (5) получим

$$\omega_x = \beta VT \quad (9)$$

$$\text{и } V = \delta LBT. \quad (10)$$

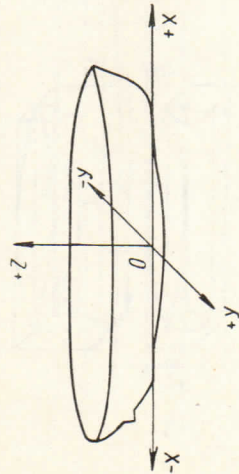
Заменив в формулах (6) и (7) значения ω_x , S и V , по этим формулам получим

$$\varphi = \frac{V}{\omega_x L} = \frac{\delta LBT}{\beta LBT} = \frac{\delta}{\beta}$$

и

$$\chi = \frac{V}{ST} = \frac{\delta LBT}{\alpha LBT} = \frac{\delta}{\alpha},$$

Рис. 153. Система координат судна.



откуда видно, что все коэффициенты полноты связаны между собой и, зная три из них, легко определить остальные два.

Посадка судна характеризует его положение относительно поверхности воды, которое, кроме осадки, определяется креном θ (т. е. наклоном судна относительно продольной оси, иначе говоря, на тот или другой борт) и дифферентом ψ (наклоном судна относительно поперечной оси, т. е. на нос или на корму).

Следует упомянуть о системе координат, связанной с судном (рис. 153). Начало координат лежит в точке пересечения миделя, ДП и ОП. Ось Ox направлена в нос, ось Oy — на правый борт, ось Oz — вверх. Таким образом, положение любой точки на судне можно задать тремя координатами: абсциссой x , измеряемой параллельно оси Ox ; ординатой y , измеряемой параллельно оси Oy , и аппликатой z , измеряемой параллельно оси Oz . При этом следует учесть, что абсцисса может быть положительной (если точка лежит в нос от миделя) и отрицательной (если точка расположена в корму от миделя); ордината так же может быть положительной (точка справа от ДП) и отрицательной (точка слева от ДП); аппликата же бывает только положительной, так как все точки, расположенные на судне, лежат выше киля.

Расстояние между двумя точками на судне обозначается через l_x , если оно измеряется вдоль судна, параллельно оси Ox ; l_y — при измерении поперек судна, параллельно оси Oy и l_z — параллельно оси Oz .

Пример 1.

Определить объем подводной части корпуса V , площадь ватерлинии S , площадь мидель-шпангоута ω_x и коэффициенты полноты φ и χ судна с элементами L ; B ; T ; δ ; α и β , соответственно равными 140; 18; 6; 0,65; 0,83; 0,97*.

Объем подводной части корпуса V по формуле (10) будет $V = \delta LBT = 0,65 \times 140 \times 18 \times 6 = 9830 \text{ м}^3$.

Площадь ватерлинии S по формуле (8)

$$S = \alpha LB = 0,83 \times 140 \times 18 = 2090 \text{ м}^2.$$

Площадь мидель-шпангоута ω_x по формуле (9)

$$\omega_x = \beta VT = 0,97 \times 18 \times 6 = 104,7 \text{ м}^2.$$

Коэффициент продольной полноты

$$\varphi = \frac{V}{\omega_x L} = \frac{9830}{104,7 \times 140} = 0,672.$$

Коэффициент вертикальной полноты

$$\chi = \frac{V}{ST} = \frac{9830}{2090 \times 6} = 0,783.$$

Ответ: $V = 9830 \text{ м}^3$; $S = 2090 \text{ м}^2$; $\omega_x = 104,7 \text{ м}^2$; $\varphi = 0,672$; $\chi = 0,783$.

Пример 2.

Определить L ; B ; T ; H ; S ; ω_x ; β и α судна с объемным водоизмещением $V = 4200 \text{ м}^3$ при $\delta = 0,63$; $\varphi = 0,66$; $\chi = 0,80$; $L : B : T = 1,9$; $L : H = 12$.

Известно, что $V = \delta LBT$. В этом выражении нам известны только V и δ . Для определения неизвестных главных размеров следует, воспользовавшись данными соотношениями их, выразить два размера через третье. Из анализа соотношений видно, что удобнее всего выразить L и T через B . Тогда $L = 8B$, а $T = B/1,9$.

Подставив полученные значения в уравнение для V , получим

$$V = \delta 8B B \frac{B}{1,9}$$

или

$$V = \frac{8\delta B^3}{1,9} = 4,21\delta B^3.$$

Отсюда ширина судна

$$B = \sqrt[3]{\frac{V}{4,21\delta}} = \sqrt[3]{\frac{4200}{4,21 \times 0,63}} = 11,66 \text{ м}.$$

Длина судна $L = 8B = 8 \times 11,66 = 93,3 \text{ м}$.

Осадка судна $T = \frac{B}{1,9} = \frac{11,66}{1,9} = 6,14 \text{ м}$.

Высота борта определяется из третьего соотношения:

$$H = \frac{L}{12} = \frac{93,3}{12} = 7,77 \text{ м}.$$

* Здесь и далее в книге буквами обозначены элементы судна, а цифрами — их величина, причем линейные размеры даны в метрах, коэффициенты — безразмерные. Например, для данного судна длина $L = 140 \text{ м}$, ширина $B = 18 \text{ м}$; высота $T = 6 \text{ м}$; коэффициент общей полноты $\delta = 0,65$; коэффициент полноты ватерлинии $\alpha = 0,83$; коэффициент полноты мидель-шпангоута $\beta = 0,97$. Далее при аналогичной форме записи линейные размеры принимаются в метрах, площадь — в м^2 , объемы — в м^3 .

Коэффициент полноты α по формуле

$$\alpha = \frac{\delta}{\chi} = \frac{0,63}{0,8} = 0,788.$$

Коэффициент полноты β по формуле

$$\beta = \frac{\delta}{\varphi} = \frac{0,63}{0,66} = 0,955.$$

Площадь ватерлинии $S = \alpha LB = 0,788 \times 93,3 \times 11,66 = 853 \text{ м}^2$.

Площадь мидель-шпангоута $\omega_{\chi} = \beta VT = 0,955 \times 11,66 \times 6,14 = 68,4 \text{ м}^2$.

Сделаем проверку:

$$V = \delta LBT = 0,63 \times 93,3 \times 11,66 \times 6,14 = 4200 \text{ м}^3.$$

Ответ: $L = 93,3 \text{ м}$; $B = 11,66 \text{ м}$; $T = 6,14 \text{ м}$; $H = 7,77 \text{ м}$; $S = 833 \text{ м}^2$; $\omega_{\chi} = 68,4 \text{ м}^2$; $\alpha = 0,788$; $\beta = 0,955$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить все коэффициенты полноты судна, элементы которого L ; B ; T ; V ; S и ω_{χ} соответственно равны 90; 13; 5,6; 4100; 970; 71.

Ответ: $\alpha = 0,829$; $\beta = 0,975$; $\delta = 0,625$; $\varphi = 0,642$; $\chi = 0,755$.

Задача 2. Определить объем подводной части корпуса V , если элементы S ; α ; δ и T соответственно равны 700; 0,85; 0,75; 3.

Ответ: $V = 1850 \text{ м}^3$.

Задача 3. Определить площадь мидель-шпангоута, если L ; β ; $\frac{L}{B}$ и $\frac{B}{T}$ соответственно равны 72; 0,9; 6; 3.

Ответ: $\omega_{\chi} = 43 \text{ м}^2$.

Задача 4. Определить главные размеры и недостающие коэффициенты полноты судна, у которого V ; δ ; $\frac{L}{B}$; $\frac{L}{T}$; $\frac{H}{N}$, S и ω_{χ} соответственно равны 2000; 0,7; 20; 2; 13; 550; 33.

Ответ: $L = 83 \text{ м}$; $B = 8,3 \text{ м}$; $T = 4,15 \text{ м}$; $H = 6,38 \text{ м}$; $\alpha = 0,799$; $\beta = 0,957$; $\varphi = 0,732$; $\chi = 0,876$.

§ 50. Вычисления по методу трапечей

Все сечения корпуса судна представляют собой площади, ограниченные кривыми линиями; объемы корпуса — это объемы, ограниченные криволинейными поверхностями. Для вычисления этих площадей и объемов применяют ряд приближенных методов, один из которых мы рассмотрим.

Вычисление площадей. Для определения площади фигуры, изображенной на рис. 154, поступим следующим образом. Основание фигуры l разделим на n равных частей и из точек деления восстановим перпендикуляры, называемые ординатами, длину которых будем обозначать через $y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n$. Длину получившегося единичного участка основания обозначим Δl , следовательно $\Delta l = l/n$, где n — число равных промежутков, или количество ординат без одной.

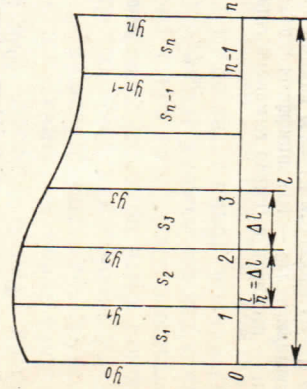


Рис. 154. К методу трапечей.

Площадь фигуры оказалась, разбитой на плоскости, ограниченные с боков ординатами, снизу — отрезком Δl , а сверху — участком кривой, которую с достаточной степенью точности можно заменить прямой линией, что превращает полосу в трапецию (отсюда и название метода).

Теперь можно написать, что площадь всей фигуры S равна сумме площадей отдельных полосок s_i , т. е.

$$S = \sum_{i=1}^n s_i = s_1 + s_2 + \dots + s_{n-1} + s_n. \quad (11)$$

Площадь же первой полоски $s_1 = \frac{y_0 + y_1}{2} \Delta l$, второй $s_2 = \frac{y_1 + y_2}{2} \Delta l$ и т. д.; площадь последней полоски

$$s_n = \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \Delta l.$$

Подставив полученные значения в формулу (11), получим

$$\begin{aligned} S &= \frac{y_0 + y_1}{2} \Delta l + \frac{y_1 + y_2}{2} \Delta l + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \Delta l = \\ &= \Delta l \left(\frac{y_0}{2} + \frac{y_1}{2} + \frac{y_1}{2} + \frac{y_2}{2} + \dots + \frac{y_{n-1}}{2} + \frac{y_n}{2} \right) = \\ &= \Delta l \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right) = \\ &= \Delta l \left(y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + y_n - \frac{y_0 + y_n}{2} \right). \end{aligned}$$

Полученное выражение и есть формула трапечей, которую кратко можно записать так:

$$S = \Delta l \left(\sum_{i=0}^n y_i - \varepsilon \right). \quad (12)$$

Здесь $\sum_{i=0}^n y_i = y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + y_n$ — сумма ординат; $\varepsilon = \frac{y_0 + y_n}{2}$ — поправка.

Тогда правило трапечей можно прочесть таким образом: *площадь фигуры, ограниченной кривой линией, равна произведению расстояния между ординатами на сумму ординат, за вычетом поправки.*

Правило трапечей для определения площадей по теоретическому чертежу имеет следующий вид:

а) для определения площади ватерлинии (рис. 155, а)
$$S = 2\Delta L \left(\sum y - \varepsilon \right); \quad (13)$$

б) для определения площади шпангоута (рис. 155, б)
$$\omega = 2\Delta T \left(\sum y - \varepsilon \right). \quad (14)$$

В этих формулах $\Delta L = L/n$, где $n = 20$ или $n = 10$ в зависимости от числа шпангоутов на теоретическом чертеже и $\Delta T = T/m$, где m — число ватерлиний без одной. Поправка ε — полусумма крайних ординат. Коэффициент 2 принят для того, чтобы получить полную площадь, так как на теоретическом чертеже изображена только половина судна.

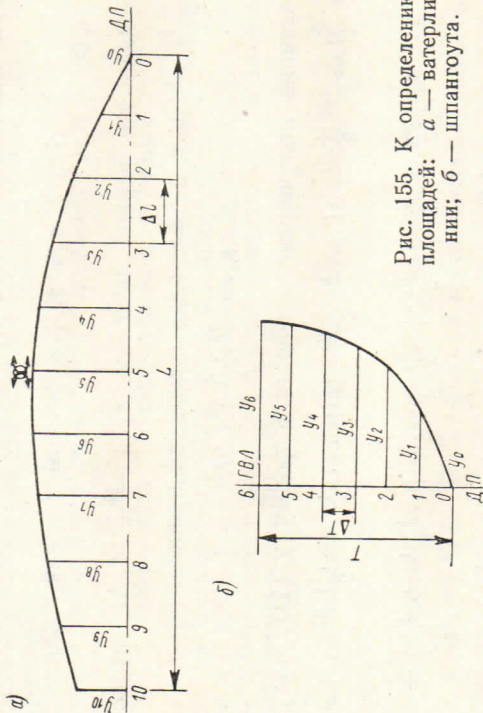


Рис. 155. К определению площадей: а — ватерлинии; б — шпангоута.

Вычисление объема. Если тело разделить равноотстоящими плоскостями на несколько частей, то объем тела можно вычислить по формуле трапеций, заменив ординаты y площадями сечений s . Формула трапеций для вычисления объема приобретает вид

$$V = \Delta L (s_0 + s_1 + s_2 + \dots + s_{n-1} + s_n - \frac{s_0 + s_n}{2},$$

или сокращенно

$$V = \Delta L \left(\sum_{i=0}^n s_i - \varepsilon \right), \quad (15)$$

где $\varepsilon = \frac{s_0 + s_n}{2}$ — поправка.

Для вычисления объема подводной части судна формула трапеций может быть записана двояко:

$$V = \Delta L (\sum \omega - \varepsilon) \quad (16)$$

при использовании в качестве сечений плоскостей шпангоутов и

$$V = \Delta T (\sum S - \varepsilon) \quad (17)$$

при использовании в качестве сечений площадей ватерлиний.

Точность расчета повышается с увеличением количества ординат, но при этом резко возрастает и громоздкость расчетов. В настоящее время для расчетов элементов теоретического чертежа часто исполь-

зуют электронно-вычислительные машины. Однако для приближенных вычислений можно пользоваться приведенными формулами.

Пример 1.

Вычислить площадь ватерлинии судна длиной $L = 62$ м (см. рис. 155, а) по ординатам полушироты, равным 0; 1,3; 2,35; 3,2; 3,8; 4,0; 3,9; 3,75; 3,2; 2,5; 1,4 м. Определить коэффициент α .

Для определения площади воспользуемся формулой (13) способа трапеций

$$S = 2\Delta L (\sum y - \varepsilon).$$

Определяем неизвестные величины:

$$\begin{aligned} \sum y &= 0 + 1,3 + 2,35 + 3,2 + 3,8 + 4,0 + 3,9 + 3,75 + 3,2 + 2,5 + 1,4 = \\ &= 29,4 \text{ м;} \end{aligned}$$

$$\Delta L = \frac{L}{n} = \frac{62}{10} = 6,2 \text{ м,}$$

$$\varepsilon = \frac{y_0 + y_n}{2} = \frac{0 + 1,4}{2} = 0,7 \text{ м.}$$

Подставляя полученные значения в формулу для S , получим $S = 2 \times 6,2 (29,4 - 0,7) = 350 \text{ м}^2$.

Примечание. При решении задач можно подставлять найденные значения прямо в первоначальную формулу, что сэкономит время.

Коэффициент полноты α определяем по формуле (3). $\alpha = S/LB$.

Ширину судна B нужно определить, удвоив наибольшую ординату полушироты $B = 2 \times 4,0 = 8 \text{ м}$.

$$\text{Тогда } \alpha = \frac{350}{62 \times 8} = 0,706.$$

$$\text{Ответ: } S = 350 \text{ м}^2; \alpha = 0,706.$$

Пример 2.

Определить объем подводной части судна V и коэффициенты полноты δ , β и φ , если известны площади шпангоутов: 0; 8; 23; 45; 65; 70; 67; 59; 41; 18; 0. $LBT = 98 \times 12 \times 6,1$.

Объем подводной части корпуса по формуле (16) будет

$$V = \Delta L (\sum \omega - \varepsilon).$$

Определяем неизвестные элементы:

$$\sum \omega = 0 + 8 + 23 + 45 + 65 + 70 + 67 + 59 + 41 + 18 + 0 = 396 \text{ м}^2;$$

$$\Delta L = \frac{L}{n} = \frac{98}{10} = 9,8 \text{ м;}$$

$$\varepsilon = 0, \text{ так как } \omega_0 = \omega_n = 0.$$

$$\text{Тогда } V = 9,8 (396 - 0) = 3880 \text{ м}^3.$$

$$\text{Коэффициент полноты } \delta = \frac{V}{LBT} = \frac{3880}{98 \times 12 \times 6,1} = 0,54.$$

$$\text{Коэффициент полноты } \beta = \frac{\omega_{\text{ш}}}{BT} = \frac{70}{12 \times 6,1} = 0,956.$$

Здесь $\omega_{\text{ш}} = 70 \text{ м}^2$ — наибольшая площадь шпангоута.

$$\text{Коэффициент полноты } \varphi = \frac{\delta}{\beta} = \frac{0,54}{0,956} = 0,565.$$

Ответ: $V = 3880 \text{ м}^3$; $\delta = 0,54$; $\beta = 0,956$; $\varphi = 0,565$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить площадь мидель-шпангоута и коэффициент β по полуординатам корпуса, равным: 3,40; 5,90; 6,15; 6,25; 6,30; 6,30 м.

Осадка судна $T = 6,5$ м.

Ответ: $\omega_x = 76,6$ м²; $\beta = 0,935$.

Задача 2. Определить площадь переборки, если измерены горизонтальные ординаты от ДП до борта: 1,8; 2,5; 3,0; 3,4; 3,7; 3,9; 4,0 м. Высота переборки 9,6 м.

Ответ: $F = 62,2$ м².

Задача 3. Определить количество погонных метров парусины шириной 0,8 м для изготовления тента над участком палубы длиной 9,6 м и полуординатами: 6,2; 6,0; 5,7; 5,2; 4,7; 4,0; 2,8. Припуск на швы принять 2% от общей площади.

Ответ: 123 пог. м.

Задача 4. Определить значения V , δ , α и χ , если известны площади ватерлиний (снизу вверх): 120; 630; 870; 1000; 1100; 1200; 1250 м², а L ; B и T соответственно равны 120; 15; 5,4.

Ответ: $V = 4940$ м³; $\delta = 0,51$; $\alpha = 0,695$; $\chi = 0,734$.

Задача 5. Определить V , δ и α , если известны площади ватерлиний 600; 596; 590; 580; 560; 500; 400 м², а L ; B и T соответственно равны: 80; 10; 4,8.

Ответ: $V = 2660$ м³; $\delta = 0,692$, $\alpha = 0,75$.

ГЛАВА XII

ПЛАВУЧЕСТЬ

• • • •

§ 51. Условия равновесия судна
Плавучестью называется способность судна плавать, неся на себе все грузы, при определенном положении относительно поверхности воды.

При плавании судна на спокойной воде на него действуют силы веса самого судна и находящихся на нем грузов. Равнодействующая этих сил P (рис. 156) приложена в точке G , называемой *центром тяжести*.

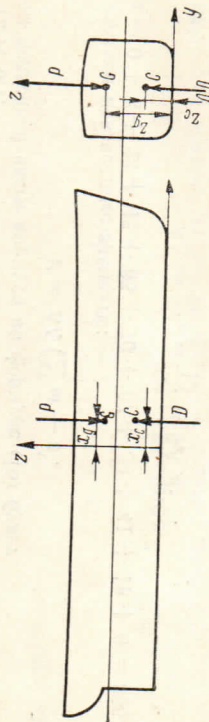


Рис. 156. Силы, действующие на судно.

сти судна (ЦТ), и направлена вертикально вниз. Силы веса уравновешиваются силами давления воды на корпус судна или *силами поддержания*. Равнодействующая сил поддержания D приложена в точке C , называемой *центром величины* (ЦВ)*, и направлена вер-

* Центр величины совпадает с геометрическим центром тяжести подводного объема корпуса.

тикально вверх. Судно, плавающее на поверхности воды, будет находиться в равновесии, если силы веса и силы поддержания будут уравновешены, т. е. будут выполнены следующие условия:

$$\begin{aligned} P &= D; \\ x_g &= x_c; \\ y_g &= y_c. \end{aligned}$$

Эти выражения представляют собой условия равновесия судна, плавающего на поверхности воды.

Первое условие является математической записью закона плавучести, который формулируется так: *всякое судно, плавающее на поверхности воды, весит столько, сколько весит вытесненная им вода*.

Если обозначить удельный вес воды через γ , то уравнение плавучести можно записать в следующем виде:

$$D = \gamma V. \quad (18)$$

При расчетах плавучести принимают:

$$\begin{aligned} \text{для пресной воды} & \dots \dots \dots \gamma = 1,00 \text{ т/м}^3 \\ \text{» морской воды} & \dots \dots \dots \gamma = 1,025 \text{ т/м}^3 \end{aligned}$$

• • • •

§ 52. Весовые и объемные характеристики

К основным характеристикам или размерам судна относятся: водоизмещение, грузоподъемность и грузоемкость.

Водоизмещение судна бывает объемное и весовое. *Объемным водоизмещением* называется объем подводной части судна или, что то же самое, объем вытесненной судном воды. Обозначается объемное водоизмещение буквой V и измеряется в кубических метрах (м³). *Весовым водоизмещением* называется вес судна или вес вытесненной судном воды. Весовое водоизмещение обозначается буквой D и измеряется в тоннах (т).

Во время эксплуатации судна его водоизмещение постоянно меняется в зависимости от количества груза, расхода топлива, смазки, пресной воды и т. д., однако в определенных пределах. Нижний предел D_0 , называемый *водоизмещением судна порожнем*, представляет собой вес порожнего судна, т. е. вес корпуса, механизмов и оборудования без груза, запасов топлива, смазки, воды, продовольствия и без учета веса экипажа. Верхний предел $D_{гр}$, называемый *водоизмещением в полном грузу*, представляет собой полный вес загруженного судна, готового к плаванию. Для каждого судна существует вполне определенная величина водоизмещения в полном грузу и эксплуатация перегруженного судна категорически запрещена.

Весовое и объемное водоизмещение связаны между собой формулой (18).

Ниже приведены примеры решения отдельных задач и задачи для упражнений.

Следует помнить, что с увеличением количества принимаемого или снимаемого груза точность расчета по указанным формулам снижается, а при величине груза, превращающей 10% от водоизмещения, ошибка может быть недопустимо большой.

Для случая приемки (или снятия) любого груза пользуются грузовым размером (см. § 55).

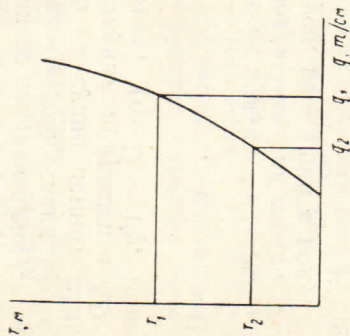


Рис. 157. Кривая числа тонн на 1 см осадки.

Новое водоизмещение $D' = D + p$.

Определяем начальное водоизмещение:

$$D = \gamma \delta LBT = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т.} \quad \text{Тогда } D' = 2300 + 200 = 2500 \text{ т.}$$

Ответ: $T' = 4,26 \text{ м}$; $D' = 2500 \text{ т}$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Судно с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными соответственно 140; 20; 9,6; 0,72 и 0,85, выгрузило в морской порт ($\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$) 1200 т груза и приняло 800 т топлива. Определить конечную осадку и водоизмещение.

Ответ: $T' = 9,44 \text{ м}$; $D' = 19400 \text{ т}$.

Задача 2. Сколько груза надо снять с судна, имеющего элементы L ; B ; T ; δ и α соответственно равные 100; 14; 5,1; 0,7 и 0,8, чтобы уменьшить его осадку до 4,7 м ($\gamma = 1,0 \text{ т/м}^3$)?

Ответ: $p = -448 \text{ т}$.

Задача 3. Сколько груза принято на судно, элементы которого L ; B ; T ; δ и α соответственно равны 60; 8; 3,7; 0,6; 0,85, если его осадка стала 3,9 м ($\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$)?

Ответ: $p = 84 \text{ т}$.

Задача 4. Судно с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными 110; 16; 5,3; 0,75; 0,82, должно быть поставлено в сухой док с глубиной входа 5,2 м. Сколько груза надо снять с судна, чтобы при входе судна под его килем остался запас 0,3 м ($\gamma = 1,0 \text{ т/м}^3$)?

Ответ: $p = -578 \text{ т}$.

§ 54. Изменение солёности воды

Морская вода имеет более высокую плотность, чем пресная, поэтому судно при одном и том же весовом водоизмещении будет иметь в море меньшую осадку, чем в реке. Объемное водоизмещение также будет меньше в море.

Обозначим удельный вес воды до перехода судна через γ_1 ; удельный вес воды после перехода γ_2 ; объемное водоизмещение до перехода V_1 ; объемное водоизмещение после перехода V_2 .

Если судно переходит из моря в реку, то приращение объемного водоизмещения

$$\Delta V = V_2 - V_1. \quad (23)$$

Зная, что $D = V\gamma$, можно записать $V = D/\gamma$; тогда $V_1 = D/\gamma_1$, а $V_2 = D/\gamma_2$.

Подставив значения V_1 и V_2 в выражение (23), получим

$$\Delta V = \frac{D}{\gamma_2} - \frac{D}{\gamma_1} = \frac{D(\gamma_1 - \gamma_2)}{\gamma_1 \gamma_2}. \quad (24)$$

С другой стороны, $\Delta V = S \Delta T$ [см. формулу (20)].

Приравняв правые части выражений (23) и (20), получим

$$S \Delta T = \frac{D(\gamma_1 - \gamma_2)}{\gamma_1 \gamma_2},$$

откуда

$$\Delta T = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2} \cdot \frac{D}{S}. \quad (25)$$

Знак ΔT зависит от направления перехода. Если судно переходит из пресной воды в соленую ($\gamma_1 < \gamma_2$), то величина ΔT будет отрицательной, и новая осадка будет меньше первоначальной. Если же судно переходит из соленой воды в пресную ($\gamma_1 > \gamma_2$), то величина ΔT будет положительной, и новая осадка станет больше первоначальной.

Пример 1.

Судно с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными соответственно 80; 12; 4; 0,6; 0,8, должно перейти из реки, в которой $\gamma_1 = 1,0 \text{ т/м}^3$, в море, где $\gamma_2 = 1,025 \text{ т/м}^3$. Определить новую осадку судна.

Новая осадка определяется по формуле $T' = T + \Delta T$, где изменение осадки по формуле (25) будет

$$\Delta T = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2} \cdot \frac{D}{S}.$$

Водоизмещение первоначальное $D = \gamma_1 \delta LBT = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т}$.

Площадь ватерлинии $S = \alpha LB = 0,8 \times 80 \times 12 = 767 \text{ м}^2$. Тогда

$$\Delta T = \frac{(1 - 1,025) 2300}{1 \times 1,025 \times 767} = -0,07 \text{ м}$$

и $T' = 4 + (-0,07) = 3,93 \text{ м}$.

Ответ: $T' = 3,93 \text{ м}$.

Пример 2.

Судно с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными 80; 12; 4; 0,6; 0,8, при плавании в море, в котором $\gamma_1 = 1,02 \text{ т/м}^3$, израсходовало 400 т запасов и затем пришло в речной порт, где $\gamma_2 = 1,0 \text{ т/м}^3$. Определить конечные осадку и водоизмещение, условно считая груз малым.

Конечная осадка $T' = T + \Delta T_p + \Delta T_\gamma$.

Изменение осадки от расхода запасов $\Delta T_p = \frac{p}{\gamma_1 S}$.

Изменение осадки от изменения солёности воды $\Delta T_\gamma = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2^2} \cdot \frac{D'}{S}$ (здесь взято новое водоизмещение $D' = D + p$, так как переход совершается уже после израсходования запасов).

Начальное водоизмещение (в море) $D = \gamma_1 \delta L B T = 1,02 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2350 \text{ т}$.

Площадь ватерлинии $S = \alpha L B = 0,8 \times 80 \times 12 = 767 \text{ м}^2$.

Теперь:

$$\Delta T_p = \frac{-400}{1,02 \times 767} = -0,51 \text{ м}; \quad \Delta T_\gamma = \frac{(1,02 - 1) \times 2350}{1,02 \times 1 \times 767} = 0,06 \text{ м};$$

$$T' = 4 + (-0,51) + 0,06 = 3,55 \text{ м}.$$

Новое водоизмещение $D' = 2350 + (-400) = 1950 \text{ т}$.

Ответ: $T' = 3,55 \text{ м}$; $D' = 1950 \text{ т}$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Судно с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными соответственно 140; 18; 6,7; 0,65; 0,82, в пресноводном порту приняло 600 т запасов и вышло в море, где $\gamma_2 = 1,02 \text{ т/м}^3$. При плавании в море было израсходовано некоторое количество запасов и по окончании рейса осадка судна стала $T' = 7,02 \text{ м}$. Определить количество p израсходованных за рейс запасов и конечное водоизмещение.

Ответ: $p = -296 \text{ т}$; $D' = 11304 \text{ т}$.

Задача 2. Танкер с элементами L_T ; B_T ; T_T ; α_T и δ_T , равными 100; 14; 4; 0,7; 0,8, на Астраханском рейде ($\gamma_1 = 1,006 \text{ т/м}^3$) перекачал 300 т груза на баржу с элементами L_B ; B_B ; T_B ; δ_B и α_B , равными соответственно 115; 16; 0,8; 0,85; 0,9, которую отбуксировали в Волгоград ($\gamma_2 = 1,0 \text{ т/м}^3$), а сам ушел в Баку ($\gamma_3 = 1,011 \text{ т/м}^3$). Определить конечное водоизмещение и осадки танкера и баржи, условно считая перекачиваемый груз малым как для танкера, так и для баржи.

Ответ: $D_T' = 3640 \text{ т}$; $T_T' = 3,71 \text{ м}$; $D_B = 1560 \text{ т}$; $T_B' = 0,98 \text{ м}$.

Задача 3. Судно в пресноводном порту ($\gamma_1 = 1,0 \text{ т/м}^3$) имеет элементы L ; B ; T ; δ и α , равные соответственно 120; 15; 7; 0,7; 0,8, и должно выйти в море, где $\gamma_2 = 1,025 \text{ т/м}^3$. Сколько груза судно может принять дополнительно, чтобы его осадка в море была 7 м?

Ответ: $p = 216 \text{ т}$.

Задача 4. Судно с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными 110; 14; 6,5; 0,75; 0,85, вышло из морского порта, в котором $\gamma_1 = 1,025 \text{ т/м}^3$. Израсходовав за время плавания 600 т запасов, оно пришло в речной порт, где $\gamma_2 = 1,0 \text{ т/м}^3$. Определить осадку и водоизмещение судна в реке.

Ответ: $T' = 6,94 \text{ м}$; $D' = 8100 \text{ т}$.

• • •

§ 55. Грузовой размер и грузовая шкала

Грузовым размером называется кривая, выражающая зависимость между водоизмещением и средней осадкой судна. Грузовой размер позволяет решать при эксплуатации судна следующие задачи:

- определение водоизмещения судна по известной средней осадке;
- определение средней осадки судна по известному водоизмещению;

— определение количества принятого или снятого с судна груза по известному изменению средней осадки;

— определение изменения средней осадки по известному количеству принятого или снятого груза.

Последние две задачи можно решать не только для случая малого груза, но и для груза любой величины.

Следует оговориться, что грузовой размер строится по теоретическому чертежу для посадки судна на ровный киль, и пользоваться им можно только при дифференте, не превышающем 1° . При больших величинах дифферента грузовой размер дает большую по-

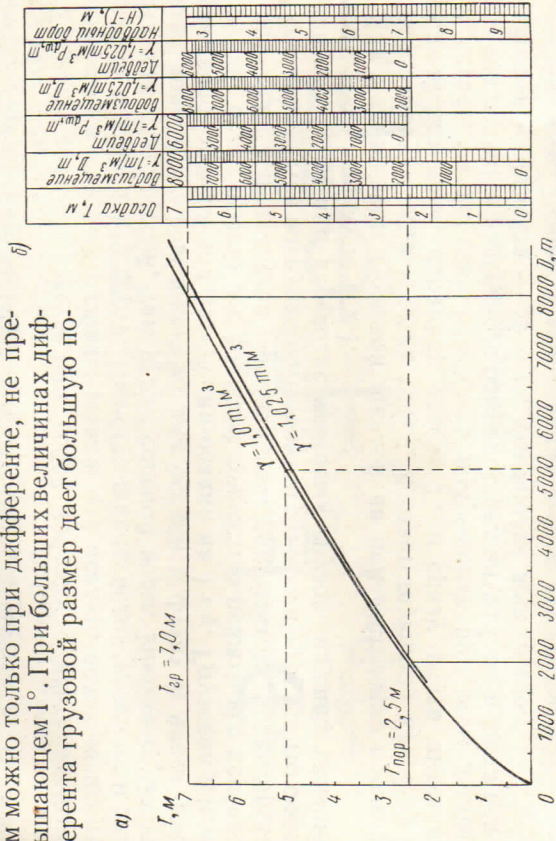


Рис. 158. Грузовой размер (а) и грузовая шкала (б).

грешность*. Для судов, плавающих как в пресной, так и в соленой воде, на чертеже грузового размера (рис. 158) наносят две кривые: для водоизмещения в пресной воде (верхняя кривая) и для водоизмещения в соленой воде (нижняя кривая).

Пользуются грузовым размером для решения, например, первой задачи, следующим образом. На оси ординат из точки, соответствующей средней осадке судна (например, $T = 5 \text{ м}$), проводят горизонтальную линию до пересечения с кривой водоизмещения, соответствующей солёности воды, в которой плавает судно. Из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс и считывают значение водоизмещения (в нашем примере $D = 5200 \text{ т}$). Понятно, что вторая задача будет решаться в обратном порядке.

Решение третьей задачи несколько сложнее. Например, исходная осадка судна $T_1 = 5 \text{ м}$, а после приема какого-то груза осадка стала $T_2 = 7 \text{ м}$. Чтобы определить количество принятого на судно

* Для вычисления водоизмещения при большом дифференте служит так называемый масштаб Бонжана, который в данной книге не рассматривается.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Пользуясь приближенными формулами § 59, определить метacentрические высоты судна с элементами L ; B ; T ; δ ; α и z_g , равными соответственно 80; 12; 4; 0,6; 0,8; 4,1.

Задача 2. На судно водоизмещением $D = 3000$ т и с аппликатой центра тяжести $z_g = 5,2$ м приняты и сняты грузы с соответствующими аппликатами их центра тяжести:

$$p_1 = +800 \text{ т};$$

$$z_1 = 4 \text{ м};$$

$$p_2 = +200 \text{ т};$$

$$z_2 = 6,8 \text{ м};$$

$$p_3 = -600 \text{ т};$$

$$z_3 = 3 \text{ м}.$$

Определить новое водоизмещение и аппликату центра тяжести.

Ответ: $D' = 3400$ т; $z_{g1} = 6,45$ м.

Задача 3. На судне водоизмещением $D = 6000$ т и $z_g = 7,3$ м требуется снять аппликату центра тяжести до $z_{g1} = 7$ м. Сколько груза нужно снять с палубы с высоты 12 м?

Определить новое водоизмещение.

Ответ: $p = -360$ т; $D' = 5640$ т.

• • •

§ 60. Определение дифферента Дифферентом называется разность осадок носом и кормой

$$d = T_n - T_k. \quad (38)$$

Продольные наклонения происходят вокруг поперечной оси, проходящей через центр тяжести площади ватерлиний, который, как правило, лежит на некотором расстоянии от миделя. Примем, что наклонения происходят вокруг поперечной оси, проходящей через

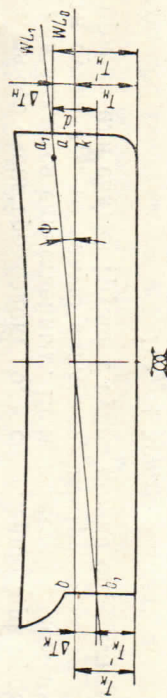


Рис. 163. К определению дифферента и новых осадок носом и кормой.

середину судна. Это позволит значительно упростить расчетные формулы, а погрешность расчетов будет небольшой.

Итак, примем, что судно наклонилось на нос под действием какого-то дифферентующего момента $M_{\text{диф}}$ (рис. 163). При этом нос судна вошел в воду на величину $\Delta T_n = aa_1$, а корма вышла из воды на величину $\Delta T_k = bb_1$, причем по принятому допущению $\Delta T_n = \Delta T_k$.

Новая осадка носом

$$T'_n = T_n + \Delta T_n, \quad (39)$$

а новая осадка кормой

$$T'_k = T_k - \Delta T_k, \quad (40)$$

где T_n и T_k — первоначальные осадки носом и кормой соответственно.

Если через точку b_1 провести прямую b_1k параллельно исходной ватерлинии WL_0 , то отрезок a_1k , очевидно, будет равен дифференту судна $a_1k = d$.

Из рисунка видно, что дифферент можно определить не только по формуле (38), но и через выражение $d = \Delta T_n + \Delta T_k$. Следовательно, $\Delta T_n = \Delta T_k = \frac{d}{2}$.

Из треугольника b_1a_1k , в котором угол при вершине k прямой, а угол при вершине b_1 равен углу дифферента ψ , следует, что

$$d = b_1k \operatorname{tg} \psi,$$

а так как $b_1k = L$, т. е. длине судна, то $d = L \operatorname{tg} \psi$. Поскольку для малых углов $\operatorname{tg} \psi = \psi$ рад, то $d = L\psi$.

Подставив значение ψ из выражения (33), получим

$$d = \frac{M_{\text{диф}} L}{D H_0}. \quad (41)$$

На практике часто пользуются значением момента, создающего дифферент в 1 см, который можно получить из выражения (41), приняв в нем $d = 1$ см = 0,01 м и заменив $M_{\text{диф}}$ на m_d . Тогда

$$0,01 = \frac{m_d L}{D H_0},$$

откуда момент, дифферентующий судно на 1 см, будет

$$m_d = \frac{D H_0}{100 L} \text{ тм/см}. \quad (42)$$

Если известны значение дифферентующего момента и величина m_d , то дифферент легко определить по выражению

$$d = \frac{M_{\text{диф}}}{m_d} \text{ см}.$$

Следует помнить, что выражения (39) и (40) для определения новых осадок носом и кормой справедливы только для случаев возникновения дифферента от внешнего дифферентующего момента или от переноса груза на судне. Если же груз принимается на судно или снимается с него, то новые осадки носом и кормой определяются формулами

$$T'_n = T_n + \Delta T_n; \quad (43)$$

$$T'_k = T_k + \Delta T_k - \Delta T_k, \quad (44)$$

где ΔT — изменение средней осадки судна от приема или снятия груза, определяемое по формуле (21а).

Дифференцирующий момент при переносе груза определяется по формуле

$$M_{\text{диф}} = p l_x = p (x_2 - x_1), \quad (45)$$

а при приеме и расходовании груза по формуле

$$M_{\text{диф}} = p x. \quad (46)$$

Пример 1.

На судне с элементами $L; B; T; \delta; \alpha$ и H_0 , равными соответственно 80; 12; 4; 0,6; 0,8; 120, груз весом $p = 60 \text{ т}$ перенесен на расстояние $l_x = -30 \text{ м}$ в корму. Определить новые осадки носом и кормой.

Новые осадки носом и кормой по формулам (39) и (40) будут

$$T'_n = T_n + \Delta T_n \text{ и } T'_k = T_k - \Delta T_k.$$

Изменения осадок

$$\Delta T_n = \Delta T_k = \frac{d}{2}.$$

Дифферент определяем по формуле (41)

$$d = \frac{M_{\text{диф}} L}{D H_0}.$$

Дифференцирующий момент определяем по формуле (45)

$$M_{\text{диф}} = p l_x = 60 (-30) = -1800 \text{ т.м.}$$

Водоизмещение судна

$$D = \gamma \delta L B T = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т.}$$

$$\text{Тогда } d = \frac{-1800 \times 80}{2300 \times 120} = -0,52 \text{ м.}$$

Знак минус (—) указывает на то, что дифферент получается на корму.

Далее:

$$\Delta T_n = \Delta T_k = -\frac{0,52}{2} = -0,26 \text{ м};$$

$$T'_n = 4 + (-0,26) = 3,74 \text{ м};$$

$$T'_k = 4 - (-0,26) = 4,26 \text{ м.}$$

Ответ: $T'_n = 3,74 \text{ м}; T'_k = 4,26 \text{ м.}$

Пример 2.

Судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha$ и H_0 , равными соответственно 100; 14; 5,8; 5,4; 0,7; 0,85; 130, необходимо поставить на ровный киль. Можно снять груз с абсциссой $x = 45 \text{ м}$. Определить количество снимаемого груза.

Для этого воспользуемся формулой (46)

$$p = \frac{M_{\text{диф}}}{x}.$$

Величину дифференцирующего момента найдем по формуле (41):

$$M_{\text{диф}} = \frac{(-d) D' H_0}{L},$$

где величина d взята с минусом потому, что для выравнивания судна нужно создать такой же по величине дифферент, как и имеющийся, но с противоположным знаком. Новое водоизмещение будет $D' = D + p$.

Начальное водоизмещение

$$D = \gamma \delta L B T_{\text{ср}},$$

$$\text{где } T_{\text{ср}} = \frac{T_n + T_k}{2} = \frac{5,8 + 5,4}{2} = 5,6 \text{ м.}$$

$$D = 1 \times 0,7 \times 100 \times 14 \times 5,6 = 5490 \text{ т.}$$

$D' = 5490 + p$ (так как p пока неизвестно, то приходится выражать D' через p).

Дифферент определяем по формуле (38)

$$d = T_n - T_k = 5,8 - 5,4 = 0,4 \text{ м.}$$

Теперь определяем $M_{\text{диф}}$:

$$M_{\text{диф}} = \frac{(-0,4) (5490 + p) 130}{100} = -(2850 + 0,52p) \text{ т.м.}$$

Подставив значение $M_{\text{диф}}$ в выражение для p , получим

$$p = -\frac{2850 + 0,52p}{45}.$$

Решаем уравнение с одним неизвестным:

$$45p + 0,52p = -2850;$$

$$45,52p = -2850;$$

$$p = -63 \text{ т.}$$

Ответ: $p = -63 \text{ т.}$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Сколько груза нужно перенести в корму на расстояние $l_x = -24 \text{ м}$, чтобы посадить на ровный киль судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha$ и H_0 , равными соответственно 110; 14; 5,1; 4,9; 0,65; 0,8; 140?

Ответ: $p = 53 \text{ т.}$

Задача 2. На судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha$ и H_0 , равными соответственно 80; 12; 4,1; 3,9; 0,6; 0,8; 120, принят груз $p = 80 \text{ т}$ в точку A ($x = -25; y = 0; z = 4$). Определите новые осадки носом и кормой.

Ответ: $T'_n = 3,78 \text{ м}; T'_k = 4,22 \text{ м.}$

Задача 3. На судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha$ и H_0 , равными соответственно 90; 13; 5,2; 5,4; 0,7; 0,85; 100 принят груз $p_1 = 40 \text{ т}$ в точку A ($x_1 = 10; y_1 = 0; z_1 = 5$). Определить, куда нужно принять груз $p_2 = 50 \text{ т}$ (определить x_2), чтобы straightify судно. Определить среднюю осадку судна после приема грузов.

Ответ: $x_2 = 11,8 \text{ м}; T'_{\text{ср}} = 5,39 \text{ м.}$

Задача 4. По окончании погрузки судно имеет элементы $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha$ и H_0 , равные соответственно 140; 20; 8,3; 8,2; 0,65; 0,85; 160. Куда нужно принять груз весом $p = 200 \text{ т}$ (определить x), чтобы судно приобрело дифферент на корму $d' = 0,05 \text{ м}$?

Ответ: $x = -13,05 \text{ м.}$

§ 61. Изменение

остойчивости

и посадки при

перемещении грузов

• • •

Всякое перемещение груза на судне из точки $A(x_1, y_1, z_1)$ в точку $B(x_2, y_2, z_2)$ можно рассматривать, как последовательно выполняемые переносы груза параллельно основным координатным осям: Oz, Oy, Ox . Рассмотрим, как изменяется остойчивость и посадка судна при этих перемещениях.

Вертикальный перенос груза (рис. 164, а). Пусть груз весом $p \text{ т}$, находящийся на высоте z_1 от килля, перенесли вверх и те-

Выполнения переносов практически безразлична, однако для расчетов удобнее сначала определить изменение остойчивости, т. е. произвест вертикальный перенос, а уже затем определять крен и дифферент, возникшие от горизонтальных переносов поперек и вдоль судна.

Пример 1.

На судне с элементами $L; B; T; \delta$ и h , равными соответственно 110; 16; 7; 0,6; 0,9, груз весом $p = 250$ т перенесен из точки A ($x_1 = 0; y_1 = -3; z_1 = 6,5$) в точку B ($x_2 = 0; y_2 = 4; z_2 = 2$). Определить угол крена.

Угол крена определяется по формуле (32), но с учетом изменения метацентрической высоты от вертикального переноса груза

$$\theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D h_1}.$$

Новая метацентрическая высота будет $h_1 = h + \Delta h$. Поправка к метацентрической высоте согласно формуле (48) будет

$$\Delta h = - \frac{p(z_2 - z_1)}{D}.$$

Водоизмещение судна

$$D = \gamma \delta L B T = 1 \times 0,6 \times 110 \times 16 \times 7 = 7390 \text{ т.}$$

Кренящий момент при переносе груза

$$M_{кр} = p(y_2 - y_1) = 250(4 + 3) = 1750 \text{ т.м.}$$

Теперь:

$$\Delta h = - \frac{250(2 - 6,5)}{7390} = 0,15 \text{ м;}$$

$$h_1 = 0,9 + 0,15 = 1,05 \text{ м;}$$

$$\theta = 57,3 \frac{1750}{7390 \times 1,05} = 12,9^\circ = 12^\circ 54'.$$

Ответ: $\theta = 12^\circ 54'$.

Пример 2.

На судне с элементами $L; B; T; \delta$ и h , соответственно равными 80; 12; 4; 0,6; 0,3, переместили груз с палубы в трюм на расстояние $l_2 = -3,5$ м; определить, какое количество груза нужно переместить, чтобы увеличить метацентрическую высоту до $h_1 = 0,5$ м.

Количество переносимого груза определим по формуле (48):

$$p = - \frac{\Delta h D}{l_2}.$$

Поправка к метацентрической высоте $\Delta h = h_1 - h = 0,5 - 0,3 = 0,2$ м. Водоизмещение судна

$$D = \gamma \delta L B T = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т.}$$

Теперь:

$$p = - \frac{0,2 \times 2300}{-3,5} = 133 \text{ т.}$$

Ответ: $p = 153$ т.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. На судно с элементами $L; B; T; \delta$ и h , равными соответственно 85; 13; 5; 0,65; 0,82, действовал кренящий момент $M_{кр} = 260$ т.м. Определить метацентрическую высоту судна, если оно накренилось на угол $\theta = 8^\circ$.

Ответ: $h = 0,52$ м.

Задача 2. На парусной яхте с элементами $L; B; T$ и $\delta; \alpha$ и h , равными соответственно 8; 2; 0,6; 0,4; 0,75; 0,25, засло блок грота-фала. Можно ли послать на мачту на высоту $l_2 = 12$ м человека весом 75 кг для освобождения блока?

Ответ: нельзя, так как метацентрическая высота $h_1 = 0,02$ м, очень мала и, яхта может опрокинуться.

Задача 3. На судне с элементами $L; B; T; \delta; \alpha$ и h , равными соответственно 110; 14; 5; 0,65; 0,8; 0,75, с точки A (0; 3; 2,5) снимают для ремонта правую главную мачту весом $p = 39$ т и временно устанавливают ее на палубе в точке B (0; -5; 11). Определить угол крена.

Ответ: $\theta = -5^\circ 16'$.

Задача 4. Определить метацентрическую высоту пассажирского катера с элементами $L; B; T; \delta$ и h , равными соответственно 40; 6; 1,5; 0,5; 0,7, если при скоплении на борту 100 пассажиров (весом по 75 кг) катер получил крен $\theta = 5^\circ$.

Ответ: $h = 1,43$ м.

Задача 5. На судне с элементами $L; B; T; \delta; \alpha$ и h , равными соответственно 62; 8; 2; 0,6; 0,83; 0,65, для ремонта бортового кингстона нужно создать крен, чтобы борт вышел из воды на 0,6 м. Сколько топлива надо перекачать с борта на борт на расстояние $l_y = 6$ м, чтобы получить требуемый крен?

Ответ: $p = 9,6$ т.



§ 62. Изменение остойчивости

и посадки при приеме и снятии малого груза

Малый груз, принятый в произвольную точку, вызывает обычно изменение остойчивости, появление крена и дифферента. Рассмотрим сначала, как изменяется метацентрическая высота судна, если груз принят так, что не возникает ни крена, ни дифферента, т. е. координаты точки, в которую принят груз, будут $x_p = y_p = 0$. Пусть принятый груз имеет аппликату z_p , причем груз принят на палубу (рис. 165). После приема груза осадка судна увеличится на величину ΔT . Центр тяжести переместится вверх из точки G в точку G_1 . Также изменит свое положение и метациентр (так как изменился объемное водоизмещение и аппликата центра величины). Изменится и метацентрическая высота: вместо прежней, равной $\overline{MG}$, она станет равной $\overline{M_1 G_1}$.

Нам известно, что $h = r + z_c - z_g$; очевидно, что новая метацентрическая высота будет

$$h_1 = r' + z_{c1} - z_{g1}.$$

Вычитая почленно первое равенство из второго, получим

$$h_1 - h = (r' - r) + (z_{c1} - z_c) - (z_{g1} - z_g).$$

Все разности, стоящие в скобках и в левой части, представляют собой поправки к соответствующим величинам, т. е. можно написать:

$$\Delta h = \Delta r + \Delta z_c - \Delta z_g. \quad (52)$$

Отсюда следует, что для определения поправки к метацентрической высоте Δh следует знать поправки к метацентрическому радиусу Δr , аппликате центра величины Δz_c и аппликате центра тяжести Δz_g .
Определение поправки к метацентрическому радиусу Δr .

$$\Delta r = r' - r.$$

Поправку к метацентрическому радиусу определяют по приведенной ниже формуле, вывод которой можно найти в учебниках по теории корабля,

$$\Delta r = -\frac{p}{D+p}. \quad (53)$$

Определение поправки к аппликате центра величины Δz_c .

$$\Delta z_c = z_{c1} - z_c.$$

Новую аппликату центра величины z_{c1} можно определить по теореме статических моментов объемов. Статический момент исходного объемного водоизмещения относительно основной линии будет

$$Vz_c = \frac{D}{\gamma} z_c.$$

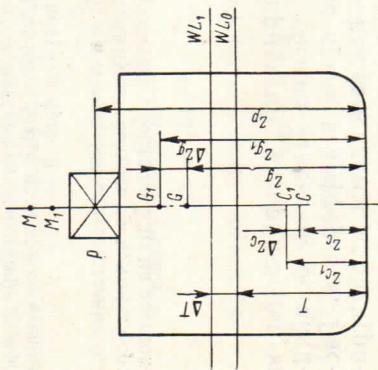


Рис. 165. К изменению остойчивости от приема и снятия малого груза.

Статический момент дополнительного объема ΔV , вошедшего в воду (можно принять, что его центр тяжести лежит на половине приращения осадки), будет

$$\Delta V \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) = \frac{p}{\gamma} \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right).$$

Тогда

$$z_{c1} = \frac{\frac{D}{\gamma} z_c + \frac{p}{\gamma} \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)}{\frac{D}{\gamma} + \frac{p}{\gamma}} = \frac{Dz_c + p \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)}{D+p}$$

и

$$\begin{aligned} \Delta z_c &= \frac{Dz_c + p \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)}{D+p} - z_c = \\ &= \frac{Dz_c + p \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) - Dz_c - pz_c}{D+p} = \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - z_c \right). \end{aligned} \quad (54)$$

Определение поправки к аппликате центра тяжести Δz_g

$$\Delta z_g = z_{g1} - z_g.$$

Новую аппликату центра тяжести z_{g1} можно определить по теореме статических моментов весов. Статический момент прежнего весового водоизмещения относительно основной линии будет Dz_g . Статический момент принимаемого груза pz_p .

Тогда

$$z_{g1} = \frac{Dz_g + pz_p}{D+p},$$

$$\Delta z_g = \frac{Dz_g + pz_p}{D+p} - z_g = \frac{Dz_g + pz_p - Dz_g - pz_g}{D+p} = \frac{p}{D+p} (z_p - z_g). \quad (55)$$

Определение поправки к метацентрической высоте Δh .

Подставим полученные нами выражения для Δr , Δz_c и Δz_g в выражение (52):

$$\begin{aligned} \Delta h &= -\frac{p}{D+p} r + \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - z_c \right) - \frac{p}{D+p} (z_p - z_g) = \\ &= \frac{p}{D+p} \left(-r + T + \frac{\Delta T}{2} - z_c - z_p + z_g \right). \end{aligned}$$

Нетрудно заметить, что в скобках алгебраическая сумма будет $-r - z_c + z_g = -h$.

Тогда

$$\Delta h = \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - h - z_p \right). \quad (56)$$

Знак поправки Δh определяется знаком при p (прием или снятие груза) и величиной z_p .

Очевидно, существует такая точка по высоте, прием груза в которую не вызовет изменения остойчивости. Аппликату этой точки легко определить из анализа формулы (56). Поправка будет равна нулю, если

$$z_p = T + \frac{\Delta T}{2} - h. \quad (57)$$

Следовательно, груз, принятый на эту высоту от киля судна, не изменит остойчивости судна. Так как $\Delta T/2$ и h малы по сравнению с осадкой T , то можно считать, что аппликата центра тяжести груза, не изменяющего остойчивости, будет $z_p \approx T$.

Кренящий и дифференцирующий моменты при приеме или снятии груза определяются по выражениям $M_{кр} = py_p$ и $M_{диф} = px_p$, где p — вес груза, m ; x_p — абсцисса груза, m ; y_p — ордината груза, m .

Пример 1.

На судно с элементами L ; B ; T ; δ ; α и h , равными соответственно 80; 12; 4; 0,6;

0,8; 0,9, принят груз $p = 60$ т в точку A (0; -3; 8). Определить угол крена.

Угол крена $\theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D'h_1}$.

Новая метacentрическая высота $h_1 = h + \Delta h$.

Поправка к метacentрической высоте при приеме груза по формуле (56) будет

$$\Delta h = \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - h - z_p \right).$$

Изменение средней осадки $\Delta T = \frac{p}{\gamma S}$.

Площадь ватерлинии $S = \alpha LB = 0,8 \times 80 \times 12 = 767 \text{ м}^2$.

Новое водоизмещение $D' = D + p$.

Первоначальное водоизмещение $D = \gamma \delta LBT = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т}$.

Крепящий момент $M_{кр} = p y_p = 60 (-3) = -180 \text{ тм}$.

Теперь:

$$\Delta T = \frac{60}{1 \times 767} = 0,08 \text{ м};$$

$$\Delta h = \frac{60}{2300+60} \left(4 + \frac{0,08}{2} - 0,9 - 8 \right) = -0,13 \text{ м};$$

$$h_1 = 0,9 + (-0,13) = 0,77 \text{ м}.$$

$$\theta = 57,3 \frac{-180}{2360 \times 0,77} = -5,7^\circ = -5^\circ 42'.$$

Ответ: $\theta = -5^\circ 42'$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. На судно с элементами L ; B ; T ; δ ; α и h , равными соответственно 85; 13,5; 5,6; 0,65; 0,8; 1,2, принят груз $p = 100 \text{ т}$ в точку A (0; -2,5; 3). Определить угол крена.

Ответ: $\theta = 2^\circ 48'$.

Задача 2. На судне с элементами L ; B ; T ; δ ; α и h , равными соответственно 85, 13, 5,2; 0,6; 0,8; 0,9, снят груз $p = -300 \text{ т}$ с точки A (0; -1,5; 3). Определить угол крена.

Ответ: $\theta = 10^\circ 24'$.

Задача 3. По окончании погрузки судно с элементами L ; B ; T ; δ ; α и h , равными соответственно 100; 14; 6; 0,7; 0,85; 0,8, имеет крен $\theta = 2^\circ$. Куда нужно принять груз $p = 40 \text{ т}$ (определить y_p), чтобы спрямить судно? Груз принимается на высоту $z_p = 10 \text{ м}$.

Ответ: $y_p = 4,0 \text{ м}$.

Задача 4. Определить первоначальную метacentрическую высоту судна с элементами L ; B ; T ; δ и α , равными соответственно 120; 18; 7; 0,65; 0,8, если после приема в точку A (0; 8; 14) груза $p = 60 \text{ т}$ оно получит крен $\theta = 3,5^\circ$.

Ответ: $h = 0,84 \text{ м}$.

• • •

§ 63. Влияние

на остойчивость

подвешенных, жидких

и сыпучих грузов

Наличие на судне грузов, которые могут перемещаться, ухудшает его остойчивость. Поэтому понятно непрерывное требование, предъявляемое при погрузке судна, — прочное закрепление всех принимаемых грузов, что достигается плотной укладкой грузов в трюмах и закреплением их с помощью найтовов на палубе.

Рассмотрим влияние на остойчивость таких незакрепленных грузов, как подвешенные, жидкие и сыпучие грузы.

Подвешенные грузы. Пусть судно своей грузовой стрелой принимает с берега груз весом p (рис. 166, а). На рисунке видно, что вес груза приложен к ноку стрелы (точка A с координатами y_p и z_p). Следовательно, груз можно считать принятым в точку A и вести расчет крена и уменьшения остойчивости по схеме приема груза (§ 62), т. е.

$$\theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D' h_1};$$

$$M_{кр} = p y_p;$$

$$D' = D + p;$$

$$h_1 = h + \Delta h;$$

$$\Delta h = \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - h - z_p \right).$$

Из последней формулы видно, что так как z_p значительно больше T и поправка Δh получится довольно большой, причем отрицатель-

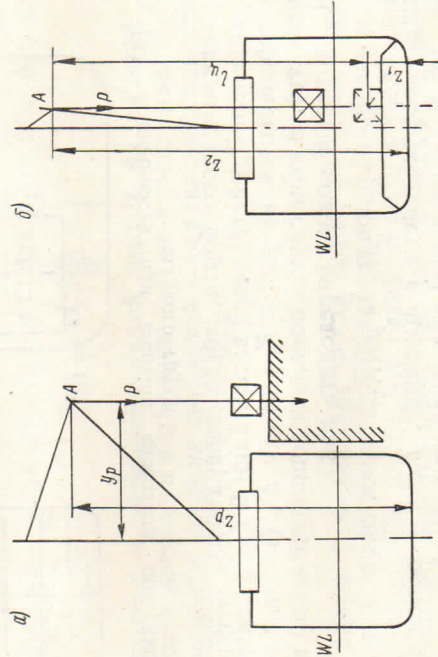


Рис. 166. Остойчивость при наличии подвешенного груза: а — при приеме груза с берега; б — при подъеме из трюма.

ной, что приведет к значительному уменьшению метacentрической высоты и большому углу крена. Если же груз находится на судне в трюме (аппликата его центра тяжести z_1 , на рис. 166, б), то при подъеме его стрелой при выгрузке происходит как бы мгновенный перенос груза в точку z_2 и расчетная схема будет иметь вид

$$h_1 = h + \Delta h;$$

$$\Delta h = - \frac{p(z_2 - z_1)}{D}.$$

Поскольку z_2 значительно больше z_1 , то поправка Δh тоже будет довольно большой и отрицательной, что также приведет к значительному уменьшению метacentрической высоты.

для второй

$$i_{x_2} = 2 \frac{l \left(\frac{b}{2} \right)^3}{12} = \frac{2lb^3}{12 \cdot 8} = \frac{lb^3}{48}.$$

Видно, что момент инерции площади свободной поверхности во втором случае в четыре раза меньше, чем в первом, следовательно, и поправка к метацентрической высоте будет в четыре раза меньше, т. е. остойчивость судна будет лучше. Постановка двух переборок уменьшит значение i_x в девять раз, трех — в 16 раз и т. д. Именно это обстоятельство и заставляет делить грузовые отсеки танкера одной-двумя продольными переборками на отдельные танки.

Сыпучие грузы. При перевозке сыпучих грузов в основном наблюдается та же картина, что и при наличии жидких грузов, хотя и с некоторыми характерными особенностями.

При наклонении судна, имеющего в трюме свободную поверхность сыпучего груза, в начале наклонения груз не перемещается. Только когда угол крена превышает угол естественного откоса*, начинаются перемещение груза. Таким образом, если углы крена меньше угла естественного откоса груза, то и сыпучий груз не оказывает влияния на остойчивость судна. Но пересыпавшийся на борт груз при выпрямлении судна не вернется в прежнее положение, а оставшись на наклоненном борту, создаст остаточный крен, что при повторяющихся кренящих моментах (например, шквалах) может привести к потере остойчивости и к опрокидыванию судна. Именно по этой причине в 1955 г. погибло грузженное зерном западногерманское учебное судно — барк «Памир», опрокинутое последовательными шквалами из-за сдвистившегося в трюмах зерна.

Второй особенностью сыпучего груза является его способность с течением времени давать усадку. Зерно, насыпанное в трюм доверху, через некоторое время уплотняется, в результате чего появляется свободная поверхность.

Предотвратить пересыпание зерна могут бункеры-питатели, восполняющие убыль зерна в трюме из-за усадки. Чаще же всего прибегают к установке подвесных продольных полупереборок — шифтингов, погруженных в сыпучий груз на 1—1,5 м, что приводит к уменьшению свободной поверхности груза, к уменьшению поправки к метацентрической высоте и к увеличению остойчивости.

На судах, специально предназначенных для перевозки сыпучих грузов (например, углерудовозах), трюмы специально конструируют таким образом, чтобы уменьшить свободную поверхность груза.

* Сыпучее вещество, насыпанное на горизонтальную поверхность, в силу сцепления между частицами вещества образует холм конической формы. Угол между горизонтом и образующей этого конуса называется углом естественного откоса. Этот угол зависит от вещества и степени его влажности (например, у сырого песка угол естественного откоса значительно больше, чем у сухого).

Задача 1.

На судне с элементами L ; B ; T ; δ ; α и h , равными соответственно 80; 12; 4; 0,6; 0,8; 0,9, груз $p = 20$ т находящийся в точке A (0; 1; 2), поднят судовой стрелой и вынесен за борт. Координаты нока стрелы в этом случае B (0; 7,5; 15). Определить угол крена судна.

$$\text{Угол крена } \theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D h_1}.$$

$$\text{Водоизмещение } D = \gamma \delta L B T = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т.}$$

Новая метацентрическая высота (она меняется, так как имеет место вертикальный перенос груза)

$$h_1 = h + \Delta h.$$

Поправка к метацентрической высоте при переносе груза

$$\Delta h = - \frac{p(z_2 - z_1)}{D}.$$

$$\text{Кренящий момент } M_{кр} = p(y_2 - y_1) = 20 \times (7,5 - 1) = 130 \text{ т.м.}$$

Теперь:

$$\Delta h = - \frac{20(15-2)}{2300} = -0,11 \text{ м;}$$

$$h_1 = 0,9 + (-0,11) = 0,79 \text{ м;}$$

$$\theta = 57,3 \frac{130}{2300 \times 0,79} = 4,1^\circ = 4^\circ 06'.$$

Ответ: $\theta = 4^\circ 06'$.

Пример 2.

Судно с элементами L ; B ; T ; δ ; α и h , равными соответственно 100; 15; 6; 0,7; 0,85; 0,8, имеет свободную поверхность топлива ($\gamma_0 = 0,9 \text{ т/м}^3$) в поперечной топливной цистерне размерами $lb = 3 \times 15$. Определить угол крена, если на судно подействовал кренящий момент $M_{кр} = 700 \text{ т.м.}$

$$\text{Угол крена } \theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D h_1}.$$

Здесь водоизмещение остается прежним, а метацентрическая высота изменится вследствие влияния свободной поверхности жидкости.

Новая метацентрическая высота $h_1 = h + \Delta h$.

Поправка к метацентрической высоте

$$\Delta h = - \frac{i_x \gamma_0}{D}.$$

Момент инерции свободной поверхности жидкости

$$i_x = \frac{lb^3}{12} = \frac{4 \times 15^3}{12} = 1125 \text{ м}^4.$$

$$\text{Водоизмещение судна } D = \gamma \delta L B T = 1 \times 0,7 \times 100 \times 15 \times 6 = 6300 \text{ т.}$$

Теперь:

$$\Delta h = - \frac{1125 \times 0,9}{6300} = -0,16 \text{ м;}$$

$$h_1 = 0,8 + (-0,16) = 0,64 \text{ м;}$$

$$\theta = 57,3 \frac{700}{6300 \times 0,64} = 9,95^\circ = 9^\circ 57'.$$

Ответ: $\theta = 9^\circ 57'$.

Задачи для самостоятельного решения

★ Задача 1. Решить предыдущую задачу, если в цистерне стоит диаметральной переборка.

Ответ: $\theta = 8^\circ 24'$.

✓ Задача 2. На судне, имеющем $D = 2000$ м и $h = 0,9$ м перепустили дизельное топливо весом $p = 44$ т ($\gamma_0 = 0,94$ т/м³) из двух бортовых цистерн ($z_1 = 3,3$ м) в две динишеские ($z_2 = 0,5$ м; $l_2 = 7,5 \times 4$ каждая). Динишеские цистерны заполнены частично. Определить угол крена, если на судно действовал момент $M_{кр} = 250$ тм.

Ответ: $\theta = 7^\circ 48'$.

Задача 3. Танкер с элементами $L; B; T; \delta; \alpha$ и h , равными соответственно 140; 20; 8; 0,7; 0,85; 1,35, имеет 21 отсек; 7 отсеков имеют метрическую высоту танкера а 14 отсеков $l_2 b_2 = 15 \times 6$ каждый. Определить метрическую высоту нефти ($\gamma_0 = 0,9$ т/м³) в рейсе, если в каждом танкере имеется свободная поверхность нефти ($\gamma_0 = 0,9$ т/м³).

Ответ: $h_1 = 0,87$ м.

§ 64. Определение кренящего момента от давления ветра

Известно, что ветер давит на судно с наибольшей силой тогда, когда оно расположено к ветру лагом, т. е. бортом. Этот наиболее худший случай мы и рассмотрим.

Площадь проекции надводной поверхности судна на ДП называется парусности (S_n), а центр тяжести этой площади — центром парусности (ЦП) (рис. 168, а). Площадь проекции подводной поверхности судна на ДП называется площадью

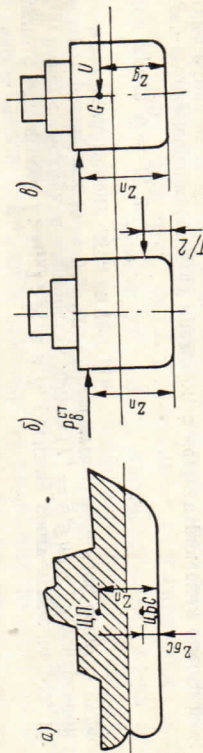


Рис. 168. К определению кренящего момента от давления ветра.

бокового сопротивления ($S_{б.с.}$), а центр тяжести ее — центром бокового сопротивления (ЦБС). Равнодействующая сил давления ветра на площадь парусности приложена в центре парусности и может быть определена по формулам

$$P_v^{ст} = 0,001 p_v^{ст} S_n \text{ тс}, \quad (60)$$

$$P_v^{дин} = 0,001 p_v^{дин} S_n \text{ тс}, \quad (61)$$

где $P_v^{ст}$ — полное давление ветра на судно при статическом его воздействии (при постоянном ветре), тс; $P_v^{дин}$ — полное давление ветра на судно при динамическом его воздействии (при шквале), тс; S_n — площадь парусности, м²; $p_v^{ст}$ и $p_v^{дин}$ — удельное давление ветра соответственно при статическом и динамическом воздействиях, кгс/м² (определяется по шкале Бофорта).

Кренящий момент от давления ветра определяется в зависимости от характера ветра:

а) при постоянном ветре (рис. 168, б) силе $P_v^{ст}$, приложенной в центре парусности с аппликатой z_p , противостоит сила бокового сопротивления воды $K = P_v^{ст}$, которая приложена в центре бокового сопротивления (его аппликату можно приближенно принять равной половине осадки); тогда

$$M_{кр. в}^{ст} = P_v^{ст} \left(z_p - \frac{T}{2} \right); \quad (62)$$

б) при шквале (рис. 168, в) силе $P_v^{дин}$ препятствуют уже силы инерции покоя, равнодействующая которых U приложена в центре тяжести судна G с аппликатой z_g ; тогда

$$M_{кр. в}^{дин} = P_v^{дин} (z_p - z_g). \quad (63)$$

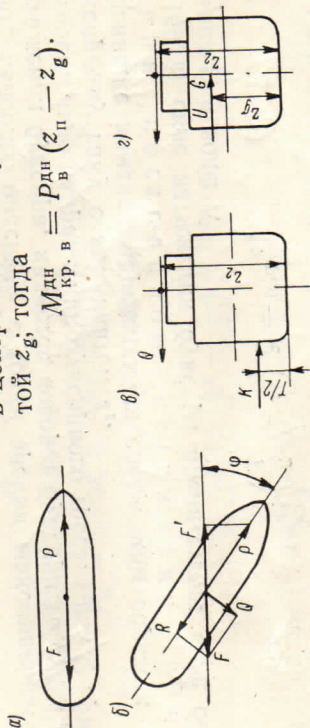


Рис. 169. К определению кренящего момента от натяжения буксира.

Углы крена, возникающие от давления ветра, определяются по формуле (32).

Кренящий момент от натяжения буксира. Если буксирное судно идет прямым курсом (рис. 169, а), то на него действует сила упора движителей P (сила, с которой движитель толкает судно вперед) и сила тяги на гаке F^* (сила, с которой воздействует на него буксирное судно), причем при равномерном и прямолинейном движении судна эти силы будут взаимно уравновешенными, т. е. $P = F$. Если же буксирное судно повернет на угол φ (рис. 169, б), то сила тяги уменьшится и станет

$$F' = F \cos \varphi. \quad (64)$$

Разложим тягу на гаке F на составляющие R (лежащую в ДП) и Q , перпендикулярную ей.

Сила $R = F \cos \varphi$ уменьшает скорость движения судна, а сила

$$Q = F \sin \varphi \quad (65)$$

* Силой сопротивления воды движению самого буксира можно для простоты пренебречь, так как она мала по сравнению с тягой на гаке, особенно при малых скоростях буксировки.

вызывает появление дрейфа (движение судна правым бортом вперед) и крена. Величина этой силы после подстановки ее значения из формулы (64) в формулу (65) будет $Q = P \sin \varphi \cos \varphi$. Так как $\sin \varphi \cos \varphi = \frac{1}{2} \sin 2\varphi$, то

$$Q = \frac{1}{2} P \sin 2\varphi. \quad (66)$$

Определим максимальное значение силы Q . Функция $\sin \varphi$ имеет максимальное значение, равное единице при $\varphi = 90^\circ$, следовательно, максимальное значение силы Q будет

$$Q_{\max} = \frac{1}{2} P \text{ при } \varphi = 45^\circ.$$

Значит, наиболее опасным, с точки зрения максимального крена от натяжения буксира, является поворот буксирного судна на угол 45° относительно направления буксирного троса. Сила Q приложена к буксирному гаку с аппликацией z_r .

Кренящие моменты определяются следующим образом:

а) при постоянном натяжении буксира $M_{кр.6}$ (рис. 169, в) сила натяжения буксира препятствует силе бокового сопротивления воды K

$$M_{кр.6} = Q \left(z_r - \frac{T}{2} \right);$$

б) при рывке буксира, т.е. при динамическом действии силы, ее значение удваивается, а сопротивление ей оказывают уже силы инерции U (рис. 169, з).

Тогда

$$M_{кр.6}^{\text{дин}} = 2Q \left(z_r - z_g \right).$$

Статический и динамический углы крена от натяжения буксира определяются по формуле (32).

Силу P можно приближенно определить по формуле

$$P = 0,01 N_i m,$$

где N_i — индикаторная мощность главных машин буксира, л. с. Из сказанного следует, что наибольшие кренящие моменты возникают при рывке буксира и его направлении под углом 45° к ДП. Значит, максимальный кренящий момент от рывка буксира будет

$$M_{кр.6}^{\text{дин}} = P \left(z_r - z_g \right), \quad (67)$$

а соответствующий ему угол крена

$$\theta_{\max} = 57,3 \frac{M_{кр.6}^{\text{дин}}}{Dh}. \quad (68)$$

Пример 1.

Определить статический и динамический углы крена судна под действием ветра силой 8 баллов ($p^{\text{ст}} = 27 \text{ кг/м}^2$; $p^{\text{дин}} = 81,3 \text{ кг/м}^2$). Элементы судна L ; B ; T ; δ ; α ; h ;

z_n ; z_g ; S_n соответственно равны 80; 12; 4; 0,6; 0,8; 0,9; 8,4; 4,5; 1300. Судно расположено бортом к ветру.

Углы крена

$$\theta_{\text{ст}} = 57,3 \frac{M_{кр.6}^{\text{ст}}}{Dh};$$

$$\theta_{\text{дин}} = 57,3 \frac{M_{кр.6}^{\text{дин}}}{Dh}.$$

Водонизмещение судна $D = \gamma \delta L B T = 1 \times 0,6 \times 80 \times 12 \times 4 = 2300 \text{ т}$. Кренящие моменты по формулам (62) и (63) будут

$$M_{кр.6}^{\text{ст}} = P^{\text{ст}} \left(z_n - \frac{T}{2} \right);$$

$$M_{кр.6}^{\text{дин}} = P^{\text{дин}} (z_n - z_g).$$

Сила давления ветра по формулам

$$P^{\text{ст}} = 0,001 p^{\text{ст}} S_n = 0,001 \times 27 \times 1300 = 35,1 \text{ т};$$

$$P^{\text{дин}} = 0,001 p^{\text{дин}} S_n = 0,001 \times 81,3 \times 1300 = 106 \text{ т}.$$

Теперь:

$$M_{кр.6}^{\text{ст}} = 35,1 \left(8,4 - \frac{4}{2} \right) = 224 \text{ тм};$$

$$M_{кр.6}^{\text{дин}} = 106 (8,4 - 4,5) = 413 \text{ тм};$$

$$\theta_{\text{ст}} = 57,3 \frac{224}{2300 \times 0,9} = 6,2^\circ = 6'12'';$$

$$\theta_{\text{дин}} = 57,3 \frac{413}{2300 \times 0,9} = 11,4^\circ = 11'24''.$$

Ответ: $\theta_{\text{ст}} = 6^\circ 12'$; $\theta_{\text{дин}} = 11^\circ 24'$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить метацентрическую высоту яхты с элементами L ; B ; T ; δ ; α ; z_n и S_n , равными соответственно 9; 2; 0,7; 0,4; 0,7; 8; 40, если при спокойном ветре 7 баллов ($p^{\text{ст}} = 18,8 \text{ кг/м}^2$) она имеет крен $\theta = 6^\circ$.

Ответ: $h = 1,08 \text{ м}$.

Задача 2. Определить, какой силы шквал может выдержать судно с элементами L ; B ; T ; H ; δ ; α ; h ; z_n ; z_g и S_n , равными соответственно 110; 16; 7; 9; 0,7; 0,85; 0,6; 16,5; 7,8; 2000, чтобы палуба не вошла в воду?

Ответ: $p^{\text{дин}} = 72,5 \text{ кг/м}^2$ соответствует шкалу 7—8 баллов.

Задача 3. Определить максимальный угол крена от рывка буксира для судна с элементами L ; B ; T ; δ ; α ; h ; z_r ; z_g и N_i , равными соответственно 40; 7; 3; 0,5; 0,8; 16,5; 0,7; 6,5; 3,3 и 1200.

Ответ: $\theta_{\max}^{\text{дин}} = 9^\circ$.

Задача 4. Определить метацентрическую высоту буксира с элементами L ; B ; T ; δ ; α ; z_r ; z_g и N_i , равными соответственно 30; 6; 2; 0,5; 0,8; 5,6; 2,4; 800, если при рывке буксира получен крен $\theta_{\max}^{\text{дин}} = 10^\circ$.

Ответ: $h = 0,98 \text{ м}$.

* N_i — индикаторная мощность, л. с.

§ 65. Остойчивость при посадке на мель

Вопрос об остойчивости при посадке на мель (или «задача о корабле на камне») сводится к тому, чтобы по известному изменению осадок носом и кормой и углу крена определить величину реакции мели R , т. е. силу, с которой давит мель на судно, и координаты этой реакции x_R и y_R . Легко видеть, что координата $z_R = 0$, так как реакция мели приложена к днищу судна (рис. 170) и, следовательно, реакция посадки судна на мель можно рассматривать как снятие с судна груза, равного реакции мели R . Отсюда следует, что изменение остойчивости можно вычислять по формулам § 62.

Покажем это на числовом примере.

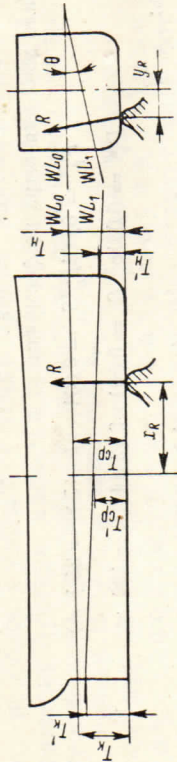


Рис. 170. К задаче о корабле на камне.

Пример 1.

Пусть судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h; H_0$, равными соответственно 80; 12; 3,9; 4,1; 0,6; 0,8; 0,9; 120, с ходу село на камень. Замерены новые осадки $T'_n = 3,5$ м, $T'_k = 4,2$ м и угол крена $\theta = 8^\circ$; $\gamma = 1,025$ т/м³. Определить величину реакции камня R и координаты точки касания x_R и y_R .

Реакцию камня можно определить по формуле (21), заменив в ней вес груза p на реакцию камня R ,

$$R = S \Delta T \gamma,$$

где неизвестны площадь ватерлинии S и изменение средней осадки ΔT .

$$S = \alpha LB = 0,8 \times 80 \times 120 = 767 \text{ м}^2.$$

Изменение средней осадки можно определить как разность средних осадок после аварии T'_{cp} и до нее T_{cp} :

$$T'_{cp} = \frac{T'_n + T'_k}{2} = \frac{3,5 + 4,2}{2} = 3,85 \text{ м};$$

$$T_{cp} = \frac{T_n + T_k}{2} = \frac{3,9 + 4,1}{2} = 4,0 \text{ м};$$

$$\Delta T = T'_{cp} - T_{cp} = 3,85 - 4,0 = -0,15 \text{ м}.$$

Знак минус показывает, что судно в результате аварии вышло из воды.

Реакция камня $R = 767 (-0,15) \times 1,025 = -118$ т.

Координату y_R можно определить из выражения для $M_{кр}$ на стр. 259

$$y_R = -\frac{M_{кр}}{R}.$$

Величина кренящего момента

$$M_{кр} = \frac{\theta D' h_1}{57,3}.$$

Новое водоизмещение судна $D' = D + R$.
Первоначальное водоизмещение судна $D = \delta L B T_{cp} \gamma = 0,6 \times 80 \times 12 \times 4,0 \times 1,025 = 2360$ т.

Тогда $D' = 2360 + (-118) = 2242$ т.

Новая метацентрическая высота

$$h_1 = h + \Delta h,$$

где Δh — поправка к метацентрической высоте от снятия груза по формуле (56).

$$\Delta h = \frac{R}{D + R} \left(T_{cp} + \frac{\Delta T}{2} - h - z_R \right) = \frac{-118}{2360 - 118} \times \times \left(4,0 - \frac{0,15}{2} - 0,9 - 0 \right) = -0,16 \text{ м}.$$

Тогда $h_1 = 0,9 + (-0,16) = 0,74$ м.

Кренящий момент $M_{кр} = \frac{8 \times 2242 \times 0,74}{57,3} = 232$ т.м.

Ордината точки касания

$$y_R = \frac{232}{-118} = -1,97 \text{ м}.$$

Следовательно, точка касания камня лежит на 1,97 м влево от ДП судна.

Абсциссу точки касания можно найти из выражения для дифферентующего момента при снятии груза (стр. 259)

$$M_{диф} = \frac{R}{L} x_R.$$

Величину дифферентующего момента легче всего определить по формуле

$$M_{диф} = \frac{d_R D' H_0}{L},$$

где d_R — изменение дифферента, полученное в результате посадки на камень и определяемое как разность конечного и начального дифферентов;

$$d_R = d' - d;$$

$$d' = T'_n - T'_k = 3,5 - 4,2 = -0,7 \text{ м};$$

$$d = T_n - T_k = 3,9 - 4,1 = -0,2 \text{ м}.$$

$$d_R = -0,7 - (-0,2) = -0,5 \text{ м}.$$

Тогда $d_R = -0,7 - (-0,2) = -0,5$ м.

Дифферентующий момент

$$M_{диф} = \frac{(-0,5) \times 2242 \times 120}{80} = -1690 \text{ т.м}.$$

Абсцисса точки касания

$$x_R = \frac{-1690}{-118} = +14,3 \text{ м},$$

т. е. точка касания камня расположена на 14,3 м в нос от мидель-шпангоута.

Ответ: $R = -118$ т; $x_R = 14,3$ м; $y_R = -1,97$ м.

Следует отметить, что подобная задача имеет и чисто практическое значение. Так, например, нахождение координат точки сопри-

косновения судна с камнем необходимо для определения места, с которого надо выгружать грузы из трюма и для осмотра днища судна (чтобы установить степень повреждения и возможность заделки полученной пробоины). Следует учесть также, что аналогично изменяется остойчивость судна и при постановке его в док. При всплытии плавучего дока или откачке воды от сухого дока остойчивость судна резко уменьшается, так как давление кильблоков на днище судна можно рассматривать как снятие с судна груза, аппликата которого равна нулю, что, как известно, приводит к резкому уменьшению остойчивости.

Задачи для самостоятельного решения

✓ Задача 1. Судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h$ и H_0 , равными соответственно 140; 20; 7,8; 8,2; 0,7; 0,85; 0,8; 200, при отгиле оказалось на камне. Новые осадки $T'_n = 8,0$ м и $T'_k = 7,6$ м; угол крена $\theta = -6^\circ$. Определить реакцию камня и координаты точки касания.

Ответ: $R = -476$ т; $x_R = -36,6$ м; $y_R = 1,94$ м.

Задача 2. Судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h; H_0$ и θ , равными соответственно 110; 16; 5,4; 5,6; 0,7; 0,8; 0,5; 140; $(-0,5^\circ)$, с ходу село на камень, причем $T'_n = 5$ м; $T'_k = 5,8$ м; $\theta' = 7,5^\circ$. Определить реакцию камня и координаты точки касания.

Ответ: $R = -141$ т; $x_R = 36$ м; $y_R = -0,16$ м.

★ Задача 3. Определить метacentрические высоты судна с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta$ и α , равными соответственно 100; 13; 6,4; 6,6; 0,75; 0,85, если после посадки на камень $T'_n = 6,2$ м; $T'_k = 6,5$ м; $\theta = -8^\circ$, а координаты точки касания $x_R = 20$ м и $y_T = 2,6$ м.

Ответ: $h = 0,65$ м; $H_0 = 162$ м.

Комплексные задачи на определение посадки судна

Пример 1.

На судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h$ и H_0 , равными соответственно 100; 13; 5,4; 5,8; 0,6; 0,8; 0,75; 140, принят груз $p = 60$ т в точке A (18; $-0,8$; 8). Определить посадку судна.

Решение этой задачи состоит в последовательном определении сначала крена, затем новых осадок носом и кормой.

Угол крена $\theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D' h_1}$.

Новое водоизмещение $D' = D + p$.

Первоначальное водоизмещение $D = \gamma \delta L B T_{cp}$.

Средняя осадка $T_{cp} = \frac{T_n + T_k}{2} = \frac{5,4 + 5,8}{2} = 5,6$ м.

Теперь: $D = 1 \times 0,6 \times 100 \times 13 \times 5,6 = 4370$ т;

$D' = 4370 + 60 = 4430$ т.

Новая метacentрическая высота $h_1 = h + \Delta h$.

Поправка к метacentрической высоте

$$\Delta h = \frac{p}{D+p} \left(T_{cp} + \frac{\Delta T}{2} - h - z_p \right).$$

Изменение средней осадки $\Delta T = \frac{p}{\gamma S}$.

Площадь ватерлинии $S = \alpha L B = 0,80 \times 100 \times 13 = 1040$ м².
Теперь:

$$\Delta T = \frac{60}{1 \times 1040} = 0,06 \text{ м};$$

$$\Delta h = \frac{60}{4370+60} \left(5,6 + \frac{0,6}{2} - 0,75 - 8 \right) = -0,04 \text{ м};$$

$$h_1 = 0,75 + (-0,04) = 0,71 \text{ м}.$$

Кренящий момент $M_{кр} = p y_p = 60 (-0,8) = -48$ т.м.
Угол крена

$$\theta = 57,3 \frac{-48}{4430 \times 0,71} = -0,875^\circ = -0^\circ 52'.$$

Новые осадки носом и кормой:

$$T'_n = T_n + \Delta T + \Delta T_n;$$

$$T'_k = T_k + \Delta T - \Delta T_k^*$$

Изменение осадок $\Delta T = \Delta T_k = \frac{d}{2}$.

Дифферент, полученный после приема груза, $d = \frac{M_{диф} L}{D' H_0}$.
Дифференцирующий момент $M_{диф} = p x_p = 60 \times 18 = 1080$ т.м.

Теперь:

$$d = \frac{1080 \times 100}{4430 \times 140} = 0,18 \text{ м};$$

$$\Delta T_n = \Delta T_k = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ м};$$

$$T'_n = 5,4 + 0,06 + 0,09 = 5,55 \text{ м};$$

$$T'_k = 5,6 + 0,06 - 0,09 = 5,57 \text{ м}.$$

Ответ: $\theta = -0^\circ 52'$; $T'_n = 5,55$ м; $T'_k = 5,57$ м.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. С судна с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h; H_0$ и θ , равными соответственно 90; 12; 4,8; 4,5; 0,65; 0,85; 0,7; 110; $-1,5^\circ$, можно снять 40 т груза с палубы, $z_p = 7$ м. Определить координаты снимаемого груза, чтобы судно село прямо и на ровный киль.

Ответ: $x_p = 29,6$ м; $y_p = -1,56$ м.

★ Задача 2. Лесовоз по окончании погрузки имеет элементы $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h; H_0$ и θ , равные соответственно 84; 12,6; 5,1; 5,0; 0,65; 0,85; 0,4; 110; 2° . Можно принять груз на кормовую палубу $x_p = -25$ м; $z_p = 9,5$ м. Определить груз и ординату y_p , чтобы судно село прямо и имело дифферент на корму $d' = -0,2$ м.

Ответ: $p = 56$ т; $y_p = -0,69$ м.

Задача 3. На судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h$ и H_0 , равными соответственно 100; 15; 4,5; 5; 0,6; 0,75; 0,9; 150, приняты грузы: $p_1 = 50$ т в точке A (30; 7; 8); $p_2 = 80$ т в точке B (-10 ; -3 ; 5); $p_3 = 120$ т в точке C (-2 ; -5 ; 2) и снят груз $p_4 = -50$ т в точке D (-40 ; 2; 1). Определить посадку судна.

Ответ: $\theta = -8^\circ 54'$; $T'_n = 4,87$ м; $T'_k = 5,0$ м.

Задача 4. На какое расстояние и куда нужно переместить груз $p = 200$ т, чтобы спрямить судно с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h$ и $H_0; \theta$, равными соответственно 80; 12,8; 4,7; 5,1; 0,63; 0,79; 0,53; 110; 7°.

Ответ: $l_y = -1,03$ м; $l_x = 8,7$ м.

Задача 5. На судне с элементами $L; B; T_n; T_k; \delta; \alpha; h$ и H_0 , равными соответственно 100; 16; 5,7; 5,9; 0,65; 0,8; 0,53; 140, перепустили дизельное топливо ($\gamma_0 = 0,9$ т/м³) из заперессованной бортовой цистерны $\bar{v} = 200$ м³ с центром тяжести в точке А (—30; 7; 5) в динцевую цистерну с центром тяжести в точке В (—10; 4; 0,5), причем образовалась свободная поверхность $lb = 20 \times 8$ м. Определить посадку судна.

Ответ: $\theta = -9^\circ 42'$; $T'_n = 5,93$ м; $T'_k = 5,7$ м.

Задача 6. Буксир с элементами $L; B; T; \delta; \alpha; h; z_g; z_n$ и S_n , равными соответственно 52; 9; 3,5; 0,65; 0,7; 4; 6; 300, приняв в пресноводном порту топливо $p = 50$ т в точку А (0; 0; 1) вышел с баржей в море ($\gamma_2 = 1,025$ т/м³). При смене курса внезапно налетел шквал силой 8 баллов ($p_{\text{ш}}^{\text{дн}} = 81,3$ кэс/м²). Определить угол крена при одновременном действии на судно шквала и рывка буксира. Учесть наличие свободной поверхности топлива ($\gamma_0 = 0,9$ т/м³) в цистерне $lb = 2 \times 4,5$. Мощность буксира $N_i = 1600$ л. с.

Ответ: $\theta = 5^\circ 36'$.

§ 66. Опытное кренование

Опытное кренование проводится после постройки судна для точного определения величин z_g . Его проводят также и после ремонта или переоборудования судна, связанного с изменением его весовой нагрузки, например после замены листов наружной обшивки, сменой двигателей, перемещения механизмов и пр.

При опытном креновании необходимо, чтобы нагрузка судна была возможно более близкой к водоизмещению судна порожнем. Все избыточные и недостающие грузы заносят в специальные ведомости, где указывается вес этих грузов и их положение на судне. Судно должно быть поставлено в таком месте, чтобы оно было защищено от ветра, волнения и течения. Для обеспечения свободных наклонов судна с борта на борт трапы и сходни убирают и судно ставят только на концы, поданные прямо с носа и кормы, причем концы должны располагаться вдоль ДП судна. Чтобы исключить влияние жидкости поверхностей, все цистерны заперессовывают (заполняют доверху) или осушают. Допускается только наличие свободной поверхности воды в котлах и топливах в расходной цистерне.

На судно доставляют кренбаласт, состоящий обычно из маркированных чугуновых болванок определенного веса каждая. Общий вес кренбаласта составляет 0,5—1,5% от водоизмещения судна. Болванки кренбаласта располагают четырьмя группами на палубе судна таким образом, чтобы обеспечить удобный перенос их группами с борта на борт (рис. 171, а). Во время опыта на судне находятся только члены команды и люди, производящие опыт.

В трюмах судна (рис. 171, б) оборудуют 2—4 веска (отвеса) возможно большей длины. Весок 1 представляет собой тонкую стальную проволоку с грузом и крылаткой 2 на конце. Крылатка опускается в ванну с маслом 3 или с водой для быстрого гашения колебаний веска при наклонениях судна. На ванну перпендикулярно

ДП судна кладут гладкую деревянную рейку 4, на которую накладывают полосу миллиметровки, на ней во время опыта отмечают отклонения веска при наклонениях судна (рис. 171, в).

У каждого веска располагается наблюдатель, который записывает на миллиметровке наименование судна, номер и длину веска, дату проведения опыта и свою фамилию. Эти полоски с отметками наклонений являются важным документом опытното кренования. Перед самым опытом измеряют осадки носом, кормой и на миделе с правого и левого бортов. После опыта по этим замерам определяют весовое водоизмещение судна. Люди, находящиеся на судне в момент опыта,

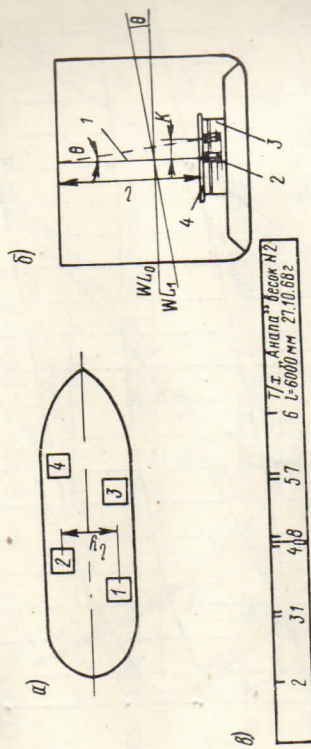


Рис. 171. Установка судна, размещение кренбаласта и весков при опытном креновании судна.

должны быть в определенных местах и не покидать их без разрешения руководителя опыта. Сам опыт производится так.

По команде руководителя наблюдатели делают на рейках против весков отметки и обозначают их цифрой «0». Затем группу балласта № 1 переносят на левый борт и после успокоения колебаний весков наблюдатели делают отметку «1». Далее переносят на левый борт группу балласта № 3 и делают отметку «2». После этого группу балласта № 3 возвращают на правый борт. Отметка «3» теоретически должна совпадать с отметкой «1», но на самом деле возможны некоторые отклонения (из-за ветра и т. д.). Следующий этап — группу болванок № 1 ставят на прежнее место (отметка «4»). Далее группу № 2 переносят на правый борт (отметка «5»), группу № 4 на правый борт (отметка «6»), затем группу № 4 возвращают на прежнее место (отметка «7») и, наконец, группу № 2 возвращают на левый борт (отметка «8») (окончательный вид бумажной полоски см. на рис. 171, в).

На этом опыт кренования заканчивается. Обработку результатов производят согласно Инструкции о производстве опытното кренования Регистра СССР по специальным таблицам. Схематически обработку результатов опытното кренования можно представить так. Известны: весовое водоизмещение судна D (определено по замерам осадок); вес каждой группы балласта p_i ; плечо переноса для