ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ, ПРОЧНОСТИ КОРПУСА И НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ МОРСКОГО СУДНА

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть I. Остойчивость

Мореходные и эксплуатационные качества судна.....3
Теоретический чертеж 4
Определения 7
Главные размерения и коэффициенты полноты 10
Посадка судна. Марки углубления 12
Плавучесть судна 13
Водоизмещение, дедвейт и чистая грузоподъемность судна 15
Определение количества принятого груза по осадке.....16
Кривые плавучести 20
Масштаб Бонжана 20
Строевая по шпангоутам и ватерлиниям 21
Кривая водоизмещения и грузовая шкала 23
Запас плавучести и грузовая марка 27
Предельная линия погружения 30
Поперечная остойчивость 30
Теорема Эйлера. Поперечный метацентр и метацентрический радиус...31
Метацентрическая формула поперечной остойчивости 34
Метацентрическая высота как критерий остойчивости..... 36
Определение метацентрической высоты судна методом кренования и по периоду бортовой качки 39
Изменение остойчивости судна 42
1. Прием или снятие груза 42
2. Перемещение груза по вертикали 43
3. Перемещение груза в поперечно-горизонтальном направлении 43
4. Влияние на остойчивость подвешенных грузов..... 45
5. Затопление судовых отсеков жидким грузом 46
6. Влияние свободной поверхности жидких грузов..... 50
7. Посадка на грунт.....52
8. Переход в воду другой солености.....53
Остойчивость на больших углах крена.....53
Диаграмма статической остойчивости 56
Характерные типы диаграмм статической остойчивости 59
Интерполяционные кривые 63
Пантокарены 63
Универсальные диаграммы 65
Динамическая остойчивость 67
Задачи, решаемые с помощью диаграмм статической и динамической остойчивости 72
1. Определение угла крена судна от действия шквала, при отсутствии начального крена.....73
2. Определение угла хрена судна при шквале с наветра..... 74
3. Определение угла крена судна при шквале с подветра..... 76
4. Определение наибольшего динамического момента, который судно может выдержать, не опрокидываясь из прямого положения.....77
5. Определение наибольшего динамического момента и вызванного им угла крена судна, который оно может выдержать, не опрокидываясь при шквале с наветра 78

6. Определение наибольшего динамического момента и вызванного им угла крена судна, который оно может выдержать, не опрокидываясь при шквале с подветра ... 80
Получение необходимого обнажения борта судна с помощью диаграммы статической остойчивости ... 82
Сохранение остойчивости при перевозке некоторых видов грузов ... 84
Перевозка леса ... 84
Перевозка зерна ... 86
Перевозка незерновых навалочных грузов ... 88
Влияние на остойчивость попутного волнения ... 92
Российский Морской Регистр судоходства и его функции ... 94
Информация об остойчивости судна для капитана ... 96
Нормирование остойчивости ... 97
Расчет критерия погоды ... 97
Дополнительные требованиях остойчивости ... 103
Пассажирские суда ... 104
Лесовозы ... 104
Контейнеровозы ... 105
Определение центра парусности судна ... 105
Таблица обозначений величин, принятых Регистром ... 108
Часть II. Пример самостоятельного расчета остойчивости ... 110
Часть III. Прочность корпуса судна ... 138
Требования предъявляемые к конструкции судна ... 138
Расчетные предпосылки при общем продольном изгибе ... 139
Определение расчетных величин изгибающих моментов и перерезывающих сил ... 140
Определение статической составляющей изгибающих моментов и перерезывающих сил ... 141
Кривая сил поддержания ... 143
Кривая нагрузок ... 143
Построение кривой перерезывающих сил и изгибающих моментов ... 145
Часть IV. Непотопляемость ... 150
Основные понятия непотопляемости ... 150
Кривые предельных длин отсеков ... 150
Часть IV. Расчет непотопляемости ... 156
Оценка ситуации ... 156
Два метода расчета непотопляемости ... 157
Расчет аварийной посадки судна с использованием судовой документации ... 163
Практический пример расчета аварийной посадки судна ... 167
Расчет аварийной остойчивости ... 170
Судовые документы для оперативной оценки состояния поврежденного судна ... 172
Часть V. Остойчивость поврежденного судна ... 183
Требования к элементам остойчивости поврежденного судна ... 183
Требования к остойчивости поврежденного пассажирского судна ... 184
Список литературы ... 186

ЧАСТЬ I
ОСТОЙЧИВОСТЬ

Теория судна – это наука о равновесии и движении плавающего судна.

Новые методы математического анализа в исследовании мореходных качеств судна первыми применили французский ученый П. Бугер и член Петербургской Академии Л. Эйлер.

Многочисленные случаи гибели уже металлических судов в результате получения пробоин в обшивке поставили перед судостроителями задачу научной разработки принципов обеспечения непотопляемости судна.

Основоположниками теории непотопляемости судов являются:

С. О. Макаров (1848–1904 г.г.), А. Н. Крылов и В. Г. Власов (1896–1959 г.г.).

МОРЕХОДНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА

Каждое судно обладает мореходными и эксплуатационными качествами.

Мореходные качества

ПЛАВУЧЕСТЬ – способность судна плавать в требуемом положении относительно поверхности воды, при заданной загрузке;

ОСТОЙЧИВОСТЬ – способность судна, отклоненного действием внешних сил из положения равновесия, возвращаться в исходное положение равновесия после прекращения действия этих сил;

НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ – способность судна сохранять достаточную плавучесть и остойчивость после затопления одного или нескольких отсеков;

МОРЕХОДНОСТЬ – способность судна противостоять воздействию морского волнения с колебаниями возможно большей частоты и амплитуды;

ХОДКОСТЬ – способность судна перемещаться с заданной скоростью;

УПРАВЛЯЕМОСТЬ – способность судна удерживать заданное направление движения или изменять его по желанию судоводителя.

Эксплуатационные качества

ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ – масса перевозимого груза, который может быть принят при условии сохранения проектной осадки судна;

ГРУЗОВМЕСТИМОСТЬ – объем помещений судна, предназначенных для перевозки грузов. Разделяют валовую и чистую вместимость:

а) *валовая вместимость /брутто/* – объем помещений судна, определенный Правилами обмера и включает полный объем корпуса и надстроек, за исключением двойного дна, не используемого для размещения топлива, объема помещений не полностью защищенных от попадания какого-то количества забортной воды, и некоторых других, особо оговоренных помещений;

б) *чистая вместимость (нетто)* – условный объем помещений судна, предназначенный для перевозки грузов или пассажиров, т.е. коммерчески эксплуатируемых помещений.

Единицей измерения валовой и чистой вместимости судна служит регистровая тонна = 100 куб. футам или = 2,85 метрам кубическим;

ПАССАЖИРОВМЕСТИМОСТЬ – количество пассажирских мест различных категорий на судне;

СКОРОСТЬ – обеспечение экономической эффективности;

МАНЕВРЕННОСТЬ – способность судна выполнять заданные маневры;

ДАЛЬНОСТЬ ПЛАВАНИЯ – пройденное расстояние без пополнения запасов;

АВТОНОМНОСТЬ – время работы судна без пополнения запаса топлива, смазок, воды, провизии;

ЖИВУЧЕСТЬ – способность судна при получении повреждений сохранить свои эксплуатационные и мореходные качества;

ОБИТАЕМОСТЬ – качество судна, характеризующее удобства размещения пассажиров и экипажа с учетом оборудования бытовых помещений. К эксплуатационным качествам судна также относятся: прочность, жесткость и стойкость конструкций судна.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ

Судно представляет собой геометрическое тело сложных криволинейных образований, поверхность которого не поддается точному аналитическому выражению, которое может быть задано только графически с помощью ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА.

Теоретический чертеж представляет собой графическое изображение теоретической поверхности корпуса судна, в качестве которой принимается внутренняя поверхность наружной обшивки судна.

Теоретический чертеж образуется путем проектирования различных сечений корпуса судна на три главные взаимно перпендикулярные плоскости:

ДИАМЕТРАЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ (ДП) – продольно-вертикальная плоскость, разделяющая судно вдоль корпуса на две симметричные части (левая, правая);

ОСНОВНАЯ ПЛОСКОСТЬ (ОП) – горизонтальная плоскость проходящая через самую нижнюю точку корпуса судна и перпендикулярная ДП;

ПЛОСКОСТЬ МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА – вертикально-поперечная плоскость, проходящая через середину проектной длины судна и перпендикулярная к ДП и ОП. Эта плоскость делит судно на две части – носовую и кормовую. Следует всегда обращать внимание на знаки (+), (–) теоретического чертежа.

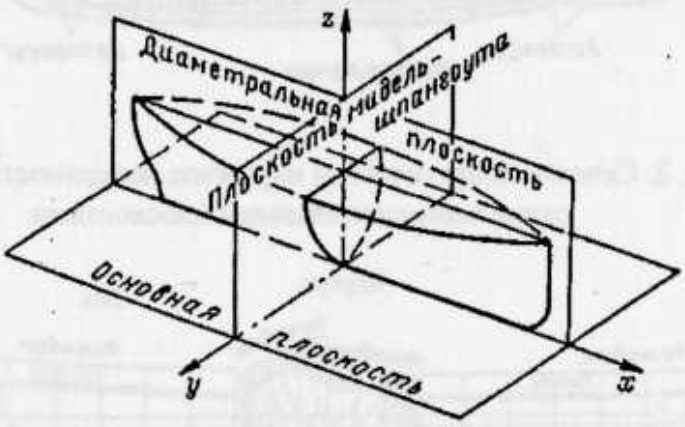


Рис.1. Сечение поверхности корпуса судна тремя главными взаимно перпендикулярными плоскостями

Для более полного изображения формы обводов на теоретическом чертеже поверхность судна рассекают системой вспомогательных плоскостей, параллельных трем главным плоскостям проекции.

При пересечении поверхности корпуса судна плоскостями, параллельными плоскости мидель-шпангоута, получают кривые линии – ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ШПАНГОУТЫ.

Изображение проекции всех теоретических линий на плоскости мидель–шпангоута называют КОРПУСОМ. На этой проекции без искажения изображены теоретические шпангоуты.

При пересечении поверхности корпуса судна плоскостями, параллельными диаметральной плоскости, образуются кривые линии – БАТОКСЫ.

Изображение проекций всех теоретических линий на диаметральную плоскость называют БОКОМ. На этой проекции без искажений изображены батоксы.

При пересечении поверхности корпуса судна плоскостями, параллельными основной плоскости, получают кривые линии – ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВАТЕРЛИНИИ.

Изображение проекций всех теоретических линий на основную плоскость образуют третью проекцию теоретического чертежа, которая называется ПОЛУШИРОТОЙ. На этой проекции без искажений изображаются теоретические ватерлинии.



Рис. 2. Сечение теоретической наружное поверхности корпуса судна вспомогательными плоскостями

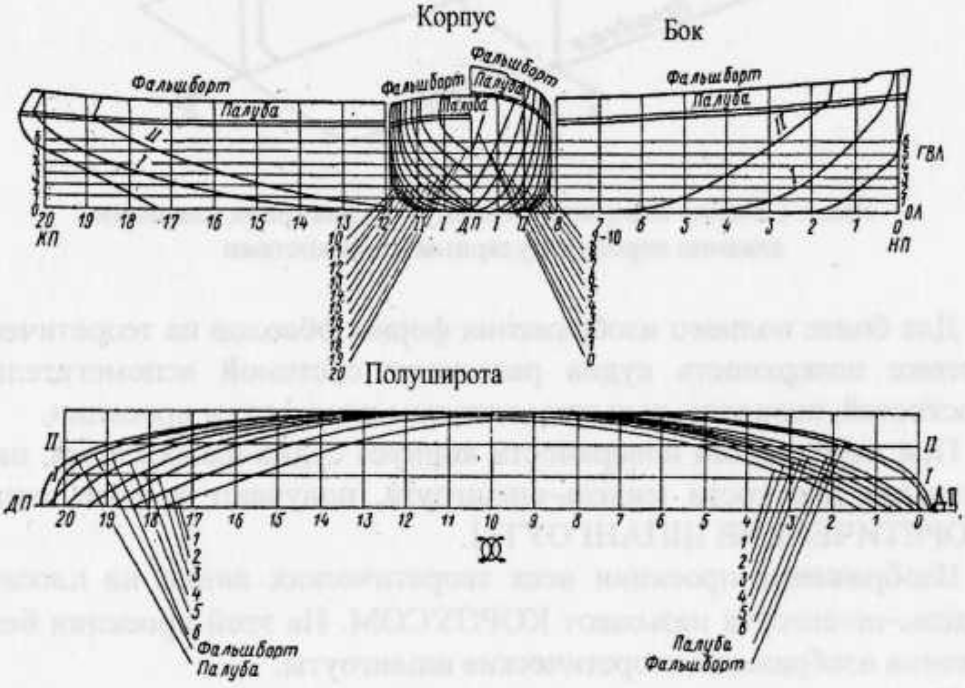


Рис. 3. Теоретический чертеж рейдового буксира

Нумерация шпангоутов на теоретическом чертеже ведется от носа в корму (от носового перпендикуляра НП до кормового КП),

Расстояние между носовым и кормовым перпендикулярами, равное расчётной длине судна L, делят на 20 равных частей и проводят 21 равноотстоящий шпангоут с промежутками $\Delta L = L/20$.

Расстояние ΔL между теоретическими шпангоутами называется ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ШПАЦИЕЙ.

Это расстояние не следует смешивать с КОНСТРУКТИВНОЙ ШПАЦИЕЙ (конструктивные шпангоуты).

Чтобы получить более ясное представление о форме корпуса и повысить точность расчетов, теоретические шпангоуты располагают более часто. На половине или на четверти расстояния между теоретическими шпангоутами проводят дополнительные шпангоуты, которые нумеруются соответствующим образом: $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$ *или* $19\frac{1}{2}$, $19\frac{3}{4}$ и т.д.

Расстояние между (ГВЛ) грузовой ватерлинией и ОП разбивают на 4-10 частей и проводят 5-11 теоретических ватерлиний. Ватерлинии на полушироте нумеруются сверху вниз, начиная с нулевой ватерлинии. Выше ГВЛ проводят несколько ватерлиний для обводов надводной части.

Расстояние между диаметральной плоскостью и бортом делят на 3-4 части и проводят линии БАТОКСОВ. Нумерацию батоксов всегда ведут от диаметральной плоскости.

Судовой корпус симметричен относительно ДП, поэтому на проекции "полуширота" вычерчивают только половины ватерлиний (для левого бока), а на проекции "корпус" вычерчивают только половины теоретических шпангоутов (носовые шпангоуты слева, а кормовые справа от ДП).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ ПОРОЖНЕМ $\Delta_{пор}$ – водоизмещение судна в метрических тоннах без груза, топлива, смазочных масел, балластной, пресной и котельной воды в цистернах, без судовых запасов, экипажа, пассажиров и их вещей (можно найти в информации об остойчивости судна),

ДЕДВЕЙТ DW – разность между массовым водоизмещением судна в полном грузу и порожнем в воде с плотностью 1,025 т/м^3.

ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ – масса всех перевозимых на судне грузов.

ЧИСТАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ – масса груза и пассажиров с багажом, так называемый оплачиваемый груз.

ДЛИНА СУДНА НАИБОЛЬШАЯ L_{max} – длина судна между крайними точками наружного очертания корпуса судна.

ДЛИНА СУДНА L – 96% полной длины по ватерлинии, проходящей на высоте, равной 85% наименьшей теоретической высоты борта, или длина от передней кромки форштевня до оси баллера руля по этой же ватерлинии, если эта длина больше.

ДЛИНА СУДНА МЕЖДУ ПЕРПЕНДИКУЛЯРАМИ $L_{\perp\perp}$ – длина судна, измеренная между крайними точками летней грузовой ватерлинии.

ШИРИНА СУДНА B – наибольшая ширина конструктивной ватерлинии между наружными кромками шпангоутов.

ВЫСОТА БОРТА D – расстояние от основной плоскости ОП до линии пересечения внутренних кромок наружной обшивки борта и палубного настила верхней палубы переборок на миделе судна.

МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТ ⊠ – теоретический шпангоут, расположенный посередине длины судна, измеренной между перпендикулярами.

НОСОВОЙ (НП) и КОРМОВОЙ (КП) ПЕРПЕНДИКУЛЯРЫ – перпендикуляры к ватерлинии в носовом и кормовом концах длины судна L, измеренной по ватерлинии проходящей на высоте равной 85% наименьшей теоретической высоты борта.

ОСАДКА $d_{\text{м}}$ – вертикальное расстояние в плоскости мидель-шпангоута от основной плоскости до действующей ватерлинии.

ОСАДКА НАИБОЛЬШАЯ d_{max} – измеряется от плоскости грузовой ватерлинии до низшей точки внешней кромки наружной обшивки.

ОСАДКА НОСОМ $d_{н}$ – расстояние от основной плоскости ОП до уровня воды на носовом перпендикуляре.

ОСАДКА КОРМОЙ $d_{к}$ – расстояние от основной плоскости ОП до уровня воды на кормовом перпендикуляре.

ОСАДКА СРЕДНЯЯ $d_{ср.}$ – расстояние от основной плоскости до уровня воды на мидель-шпангоуте.

УГЛУБЛЕНИЕ – расстояние между действующей ватерлинией и ОП.

ДЕЙСТВУЮЩАЯ ВАТЕРЛИНИЯ (ВЛ) – пересечение поверхности наружной обшивки корпуса судна с плоскостью уровня забортной воды, при данной осадке судна, можно назвать ГРУЗОВОЙ ВАТЕРЛИНИЕЙ (ГВЛ).

ЛЕТНЯЯ ГРУЗОВАЯ ВАТЕРЛИНИЯ (ЛГВ) – ватерлиния, проходящая на уровне марки углубления по летнюю грузовую марку, при положении судна без крена и дифферента.

НАДВОДНЫЙ БОРТ – борт судна, находящийся выше уровня воды.

ВЫСОТА НАДВОДНОГО БОРТА – разность между высотой борта и осадкой судна.

ЛИНИЯ БОРТА – линия пересечения внутренней поверхности наружной обшивки судна и настилом верхней палубы.

ПАЛУБА НАДВОДНОГО БОРТА – палуба, до которой измеряется надводный борт, согласно Правилам о грузовой марке,

КРЕН θ – поперечное наклонение судна вокруг продольной оси на правый или левый борт, измеряется в градусах или радианах. Величину угла крена можно определить по разности осадок правого и левого бортов, измеренных на миделе судна.

ДИФФЕРЕНТ D_f – разность осадок судна носом и кормой.

$$D_f = d_н - d_к$$

Связь между дифферентом и углом дифферента выражается зависимостью

$$d_н - d_к = L\ tg\ \psi$$

Если $d_н > d_к$, судно имеет дифферент на нос и считается со знаком (+). Если $d_н < d_к$, судно имеет дифферент на корму и считается со знаком (–) .

УГОЛ ДИФФЕРЕНТА ψ – угол между горизонтальной плоскостью уровня воды и горизонтальным килем, либо основной плоскостью судна.

ПОСАДКА СУДНА – положение судна относительно воды, определяется средней осадкой и углами наклонения судна в продольной и поперечных плоскостях. Для определения посадки судна существует три параметра: осадка, крен и дифферент.

ПЕРЕГИБ – изгиб корпуса судна, при котором оконечности судна опускаются, а средняя часть (мидель) поднимается, (изгиб спинкой вверх).

ПРОГИБ – изгиб корпуса судна, при котором оконечности судна поднимаются, а средняя часть (мидель) опускается, (изгиб спинкой вниз).

КРЕНОВАНИЕ – создание крена судна с помощью определенного крен–балласта с определением угла крена и дальнейшим расчетом МЦВ и ЦТ.

ОКОНЕЧНОСТИ – части длины судна по $0{,}05L$ от носового и кормового перпендикуляров.

МАРКИ УГЛУБЛЕНИЯ – деления, нанесенные на форштевне и ахтерштевне, в районе носового и кормового перпендикуляров, служащие для определения осадки судна носом и кормой.

ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛНОТЫ ФОРМЫ КОРПУСА СУДНА

Различают конструктивные, расчетные, наибольшие и габаритные размерения корпуса судна.

К конструктивным (главным) размерениям судна относятся:

- длина судна *L* - это расстояние по конструктивной ватерлинии КВЛ между крайними точками пересечения ее с диаметральной плоскостью;
- ширина судна *B* - это наибольшая ширина по конструктивной ватерлинии;
- высота борта *D* - это расстояние, измеряемое в плоскости мидель-шпангоута, от основной плоскости до линии палубы у борта;
- осадка *d* — это расстояние между плоскостями конструктивной ватерлинии и основной плоскостью ОП, измеряемое в сечении, где пересекаются плоскости мидель-шпангоута и диаметральная плоскость.

Форма корпуса определяется соотношениями главных размерений и коэффициентов полноты. Наиболее важными соотношениями являются:

- *L/B,* в значительной степени определяется ходкость судна. Чем больше скорость, тем больше должно быть соотношение;
- *B/d,* характеризующее остойчивость и ходкость судна;
- *D/d* определяющее остойчивость и непотопляемость судна;
- *L/D* от которого зависит прочность корпуса судна.

Для характеристики формы обводов корпуса судна служат КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛНОТЫ, которые позволяют численно оценить главные особенности.

Основными безразмерными КОЭФФИЦИЕНТАМИ ПОЛНОТЫ судна являются:

Сд коэффициент общей полноты (полноты водоизмещения) - это отношение погруженного в воду объема корпуса, называемого объемным водоизмещением V к объему параллелепипеда со сторонами *L,B* и *d;*



$$C_n = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d}$$

Рис. 4

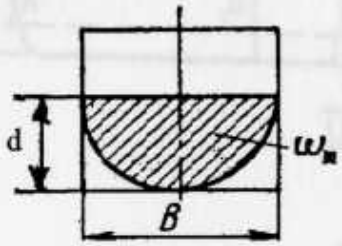
α, коэффициент полноты площади ватерлинии, это отношение площади ватерлинии S к площади прямоугольника со сторонами L и B;



$$\alpha = \frac{S}{B \cdot L}$$

Рис.5

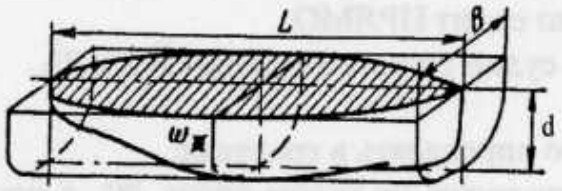
β, коэффициент полноты площади мидель-шпангоута – это отношение погруженной площади мидель-шпангоута $\omega_{\text{⊗}}$ к площади прямоуго льника со сторонами B и d;



$$\beta = \frac{\omega_{\text{⊗}}}{B \cdot d}$$

Рис. 6

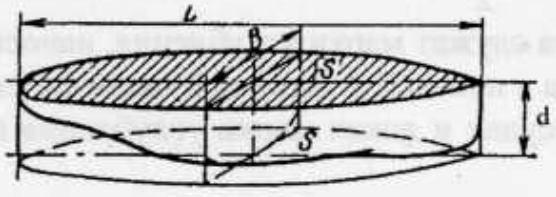
φ, коэффициент продольной полноты – отношение объемного водоизмещения ∇ к объему призмы, основанием которой служит площадь мидель-шпангоута, а длиной L - длина судна;



$$\varphi = \frac{\nabla}{\omega_{\text{⊗}} \cdot L}$$

Рис. 7

χ , коэффициент вертикальной полноты – отношение объемного водоизмещения ∇ к объему призмы, основанием которой служит площадь ватерлинии S , а высотой d – осадка судна.



$$\chi = \frac{\nabla}{S \cdot d} = \frac{C_B}{\alpha}$$

Рис. 8.

Приведенные выше коэффициенты полноты обычно определяются для судов, сидящих по грузовую ватерлинию ГВТ.

ПОСАДКА СУДНА. МАРКИ УГЛУБЛЕНИЯ

Положением судна относительно невозмущенной поверхности воды называется ПОСАДКОЙ. В общем случае посадка судна определяется параметрами, фиксирующими положение судна относительно поверхности воды.

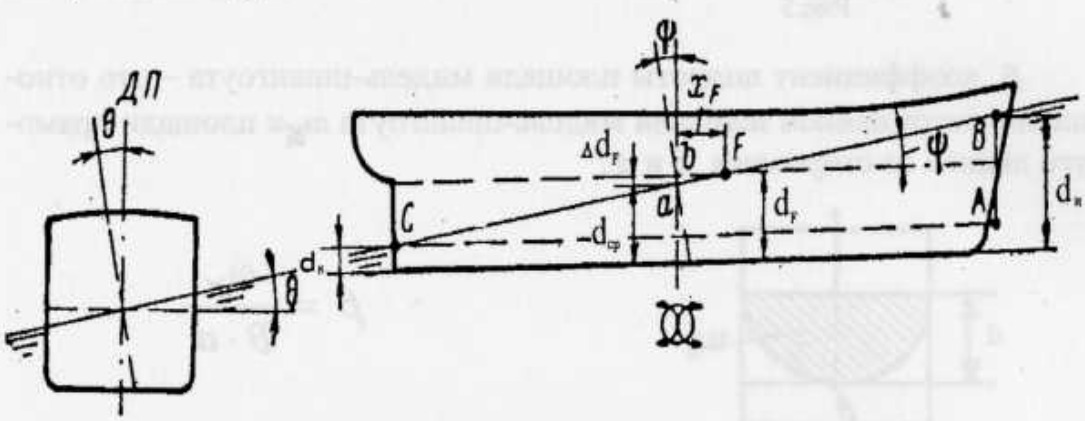


Рис. 9. Посадка судна

Для определения посадки судна существуют три параметра:

d – осадка;

θ – угол крена;

ψ – угол дифферента.

Положительными считаются дифферент на нос и крен на правый борт.

При отсутствии крена – судно сидит ПРЯМО.

При отсутствии дифферента судно сидит на РОВНЫЙ КИЛЬ.

При этом:

θ – угол крена судна принято определять в градусах;

D_f – дифферент судна, определяется не углом крена Ψ^o, а разностью осадок носом и кормой

$$D_f = d_н - d_к,$$

$$d_{ср} = \frac{d_н + d_к}{2}.$$

Для измерения осадки судна служат марки углубления, наносимые цифрами на обоих бортах судна в носовой и кормовой оконечностях.

На сравнительно больших судах и доках марки углубления наносятся и в средней части судна.

Осадка судна измеряется от нижней кромки горизонтального киля.

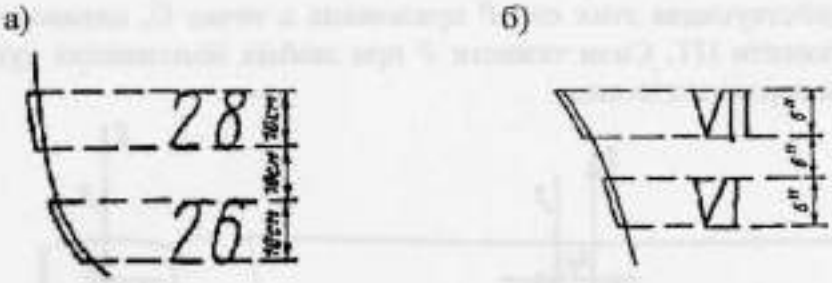


Рис. 10. Марки осадок

Цифры марок углубления (метрические) изготавливаются такой величины (высоты) и наносятся на корпус таким образом, чтобы их вертикальная проекция и проекция расстояния между цифрами была равна десяти (10) см.

Цифры марок углубления неметрической системы мер изготавливаются и наносятся таким же образом, как и при метрической системе мер, только вертикальные проекции цифр и расстояний между ними берутся равными шести (6) дюймам.

На некоторых судах можно встретить другую разбивку марок осадок (углубления): на каждом борту наносятся марки углубления в различных системах мер. В этом случае марки в метрической системе мер изображаются арабскими цифрами, а марки в неметрической системе – римскими.

Визуальный способ определения осадки судна по маркам углубления нельзя считать совершенным, поэтому на современных судах устанавливают специальные приборы, которые позволяют измерять осадку судна носом и кормой дистанционно из ходовой рубки, являясь стационарными, либо переносные электронно-контактные осадкомеры, тип одного из которых был разработан Черноморским ЦПКБ. Прибор позволяет измерять осадку с борта судна с точностью до ± 0,5см. при высоте волны до 0,5м.

ПЛАВУЧЕСТЬ СУДНА

УСЛОВИЯ ПЛАВУЧЕСТИ И РАВНОВЕСИЯ СУДНА

Плавучестью называется способность судна плавать по определенную ватерлинию (с заданным погружением), неся на себе всю нагрузку.

При плавании судна на спокойной воде на его корпус действуют силы тяжести судна и находящихся на нем грузов.

Равнодействующая этих сил P приложена в точке G, называемой центром тяжести ЦТ. Сила тяжести P при любых положениях судна направлена вертикально вниз.

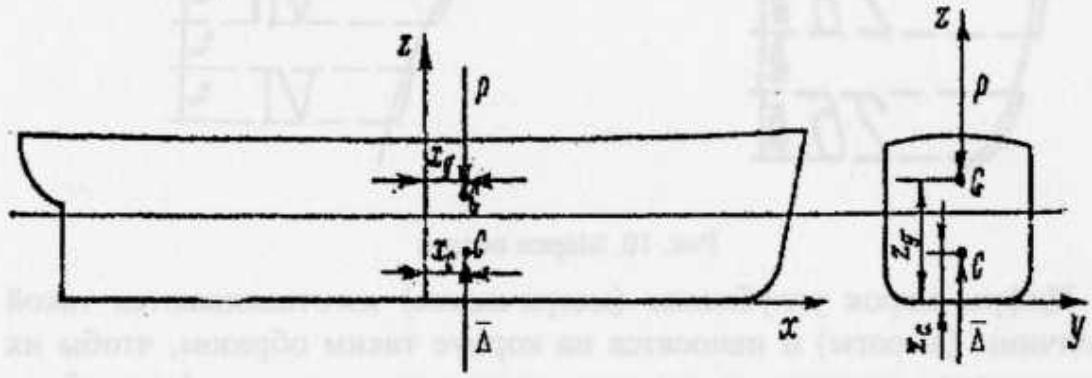


Рис. 11. Силы, действующие на судно

Сила тяжести уравновешивается силами поддержания, возникающими от давления воды на каждый элемент смоченной поверхности корпуса судна.

Равнодействующая сил поддержания (плавучести) $\bar{\Delta}$ приложена в точке C, называемой центром величины ЦВ и расположенной в центре тяжести подводного объема судна. Сила поддержания направлена вертикально вверх.

Сила плавучести, по Архимеду, равна массе вытесненной воды в объеме равном погруженной в жидкость части тела (корпуса судна). При этом применяются следующие обозначения:

∇, объем воды вытесненный погруженной частью корпуса судна – называется объёмным водоизмещением;

Δ, масса вытесненной воды – массовое водоизмещение;

γ, удельный вес вытесненной жидкости – кг/м^3;

ρ, плотность вытесненной воды т/м^3.

Отсюда $P = \gamma \cdot \nabla$ или $\Delta = \rho \cdot g \cdot \nabla$

Из теории механики известно, что для равновесия тела, на которое действуют две системы сил, необходимо чтобы равнодействующие этих сил были равны по величине и направлены по одной прямой в разные стороны:

– первое условие равновесия - масса судна должна быть равна массе вытесненной воды;

– второе условие равновесия ЦТ и ЦВ судна должны располагаться на одной прямой.

Обозначив координаты ЦТ (G) через X_g, Y_g, Z_g, а координаты ЦВ (C) через X_c, Y_c, Z_c, мы можем написать уравнение равновесия судна в воде:

$$\gamma \cdot \nabla = P\,; \qquad X_c = X_g; \qquad Y_c = Y_g; \qquad Z_g \neq Z_c.$$

ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ СУДНА ПОРОЖНЕМ И В ПОЛНОМ ГРУЗУ. ДЕДВЕЙТ И ЧИСТАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ СУДНА

Для определения водоизмещения судна, являющегося исходной величиной при расчетах плавучести, составляют таблицу нагрузочных масс судна. Можно выделить следующие основные статьи нагрузок:

$P_к$ – масса корпуса в которую входят сам корпус, оборудование судовых помещений, судовые устройства и системы, электрооборудование, средства связи и управления, инвентарь и снабжение;

$P_м$ – масса механизмов, включая главные двигатели, валопроводы и винты, вспомогательные механизмы и трубопроводы машинно-котельного отделения, запасные части и машинный инвентарь;

$P_г$ – масса груза и пассажиров с багажом и запасов для пассажиров (провизия, питьевая и мытьевая вода);

$P_т$ – масса запасов топлива и смазочных масел;

$P_э$ – масса экипажа с багажом и запасами для экипажа (провизия, питьевая и мытьевая вода).

В зависимости от суммы статей нагрузок различают:

– ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ ПОРОЖНЕМ – измеряется в метрических тоннах и состоит из суммы нагрузок $P_к$ и $P_м$. $\Delta_п = P_К + P_М$;

– ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ В ПОЛНОМ ГРУЗУ – измеряется в метрических тоннах и состоит из сумм нагрузок $P_к, P_м, P_г, P_т, P_э$.

$$\Delta = P_к + P_м + P_г + P_т + P_э\,;$$

– ДЕДВЕЙТ – определяет массу перевозимого полезного груза и состоит из суммы нагрузок $P_г$, $P_т$, $P_э$.

$$DW = P_г + P_т + P_э\,.$$

Таким образом, дедвейт определяется массой транспортируемых грузов и пассажиров с багажом, а также запасами топлива, масел, питьевой и мытьевой воды, экипажа судна с его багажом и запасами. Дедвейт определяет предельную грузоподъемность судна и равен разности водоизмещения судна в полном грузу и водоизмещения судна порожнем

$$DW = \Delta - \Delta_п$$

– ЧИСТАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ – определяет массу перевозимого груза и пассажиров с багажом, что составляет, так называемый, оплачиваемый груз и показывает какое количество груза можно принять на судно при данной грузоподъемности в зависимости от количества принимаемых на рейс запасов.

Если обозначить чистую грузоподъемность через $P_{чг}$, а массу запасов через $P_{зп}$, то чистая грузоподъемность может быть представлена в виде разности

$$P_{чг} = DW - P_{зп}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПРИНЯТОГО ГРУЗА ПО ОСАДКЕ

При перевозках, когда груз принимается судном без взвешивания, а в документах указывается, что груз принят по заявлению отправителя, либо когда груз принимается судном по осадке, во избежание разночтений администрация судна обязана контролировать количество принятого груза по осадке судна.

Для этих целей разработана специальная методика, состоящая из следующих этапов:

1. Приведение осадок, снятых по маркам углубления, к осадкам на носовом и кормовом перпендикулярах.
2. Определение водоизмещения судна с учетом прогиба или перегиба судна.
3. Определение поправки на разность в плотности воды.
4. Определение поправки на дифферент судна.

Для производства расчетов принимаем следующие обозначения:

$d_н$, $d_к$ – осадка носом и кормом по маркам углубления;

$d_н\perp$, $d_к\perp$ – осадка носом и кормой на носовом и кормовом перпендикулярах;

$L\perp\perp$ – длина судна между перпендикулярами;

$X_н$, $X_к$ – расстояния от носового или кормового перпендикуляра до марки углубления по линии осадки судна;

f K – стрелка прогиба или перегиба судна.

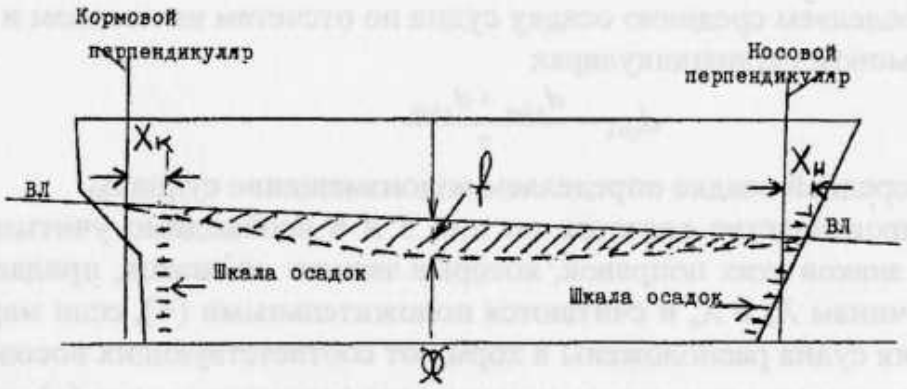


Рис.12. Количество груза по осадке

Производим мероприятия, предусмотренные **первым этапом –** приведение осадки снятой на штевнях к осадке на носовом и кормовом перпендикуляре:

1. Снимаем осадку носом с левого борта $d_{н\,л/б}$
   Снимаем осадку носом с правого борта $d_{н\,п/б}$
   Определяем среднее осадку носом $d_{н.ср}=\frac{d_{н\,лл/}+d_{н\,пр/б}}{2}$
2. Снимаем осадку кормой с л/борта $d_{к\,л/б}$
   Снимаем осадку кормой с п/борта $d_{к\,п/б}$
   Определяем среднюю осадку кормой $d_{к.ср}=\frac{d_{к\,лл/}+d_{к\,пр/б}}{2}$
3. Определяем среднюю осадку судна $d_{ср}=\frac{d_{н\,ср}+d_{н\,ср}}{2}$
4. Снимаем осадку на миделе л/борт $d_{\text{⊗}\,л/б}$
   Снимаем осадку на миделе п/борт $d_{\text{⊗}\,п/б}$
   Определяем среднюю осадку на миделе $d_{\text{⊗}\,ср}=\frac{d_{\text{⊗}\,л/б}+d_{\text{⊗}\,пр/б}}{2}$
5. Определяем поправку для приведения осадки на носовом перпендикуляре

$$\delta d_н=\frac{(d_{н\,ср}-d_{к\,ср})X_н}{L_{\perp\perp}}$$

Определяем среднюю осадку судна на носовом перпендикуляре

$$d_{н\perp ср}=d_{н.ср}\pm\delta d_н$$

6. Определяем поправку для приведения осадки на кормовом перпендикуляре

$$\delta d_к=\frac{(d_{н\,ср}-d_{к\,ср})X_к}{L_{\perp\perp}}$$

Определяем среднюю осадку судна на кормовом перпендикуляре

$$d_{к\perp ср}=d_{к.ср}\pm\delta d_к$$

7. Определяем среднюю осадку судна по отсчетам на носовом и кормовом перпендикулярах

$$d_{ср\perp} = \frac{d_{н\perp ср} + d_{к\perp ср}}{2}$$

8. По средней осадке определяем водоизмещение судна Δ_0

При производстве расчетов по п.п. 5 и 6 необходимо учитывать значение знаков этих поправок, которые зависят от знаков, придаваемых величинам $X_н$ и $X_к$ и считаются положительными (+), если марки углубления судна расположены в корму от соответствующих носового и кормового перпендикуляров, и считаются отрицательными (–), если марки углубления располагаются в нос от соответствующих перпендикуляров.

2-й этап расчета – определение водоизмещения при прогибе.

Если обнаруживается разница между средней осадкой, рассчитанной по маркам углубления и осадкой, снятой на миделе, т.е. $d_{ср\perp} \neq d_{ср}$, то в этом случае судно имеет прогиб или перегиб и мы должны уточнить значение водоизмещения судна. Поскольку осадка судна на миделе представляет собой больший процент погруженной в воду части судна, то прогиб или перегиб будут в большей степени влиять на ошибку в определении водоизмещения судна. В этом случае водоизмещение определяем следующим образом:

1. Определяем стрелку прогиба или перегиба судна $f = d_{ср\perp} - d_{ср\text{⊗}}$

2. Уточняем среднюю осадку судна $d_{ср.ут} = \frac{d_{ср\perp} + d_{ср\text{⊗}}}{2}$

3. По уточненной средней осадке судна определяем водоизмещение $\Delta_{уточ.}$

Эту же задачу можно решить и вторым способом, за счет определения поправки к водоизмещению с учетом прогиба либо перегиба:

1. Определяем стрелку прогиба или перегиба $f = d_{ср\perp} - d_{ср\text{⊗}}$
2. Определяем поправку к водоизмещению судна $\delta\Delta f = 0{,}74\, q\, f$, где q – число тонн на 1 см осадки.
3. Уточняем водоизмещение судна $\Delta_{уточ.}$

Необходимо помнить только о том, что в первом случае мы не задумываемся над значением поправки, то во втором случае нам необходимо знать знаки поправок к водоизмещению, которые принимаются:

– со знаком плюс (+) – при прогибе корпуса судна ∪ ;

– со знаком минус (–) – при перегибе корпуса ∩ .

3-й этап расчета – определение водоизмещения при разности в плотности воды.

Если плотность воды отличается от стандартной 1,025т/м^3, то в этом случае необходимо рассчитывать поправку к водоизмещению, за разность в плотности воды по формуле

$$\delta\Delta_{\rho}=\frac{\rho_{н}-\rho}{\rho}\cdot\Delta\text{, где}$$

$\rho_{н}$ – удельная плотность воды в момент измерения;

ρ – удельная плотность воды стандартная (1,025т/м^3),

Δ – водоизмещение судна.

4-й этап расчета – определение поправки на дифферент судна.

При дифференте судна, а практически при нахождении судна в эксплуатации, оно всегда имеет разницу в осадках носом и кормой. В этих условиях, при определении водоизмещения судна, необходимо определять поправку к водоизмещению на дифферент. Таких поправок две.

Первая поправка вводится, если дифферент менее 1 % от длины судна между перпендикулярами и определяется из формулы

$$\delta\Delta_{диф1}=100\cdot\frac{d_{н}-d_{к}}{L_{\perp\perp}}\cdot q\cdot X_{f}=100\cdot q\cdot X_{f}\cdot\frac{D_{f}}{L_{\perp\perp}}$$

$L_{\perp\perp}$ – длина судна между перпендикулярами;

q – число тонн на 1 см. осадки (с кривых);

X_{f} – абсцисса центра тяжести площади действующей ватерлинии в метрах;

$D_{f},(d_{н}-d_{к})$ – дифферент в метрах.

Необходимо учитывать, что значение абсциссы X_{f} принимается со своим знаком и имеет:

– знак плюс (+), если ЦТ площади действующей ватерлинии расположен в нос от миделя;

– знак минус (–), если ЦТ действующей ватерлинии расположен в корму от миделя.

Вторая поправка к водоизмещению вводится, если дифферент судна больше 1% от длины судна между перпендикулярами и определяется

$$\delta\Delta_{диф2}=50\cdot\frac{(d_{н}-d_{к})^{2}}{L_{\perp\perp}}\cdot\frac{\Delta m_{1см}}{Df},$$

где $\frac{\Delta m_{1см}}{Df}$ – изменение дифферентующего момента на 1 см на единицу изменения средней осадки в тм/см. м.

Для вычисления этой величины производим следующие действия:

– с кривых элементов теоретического чертежа снимаем значение дифферентующего момента на 1 см ($\delta m_{1см}$) для средней осадки, увеличенной на 0,5м и рассчитываем значение величины δm_1;

– с кривых элементов теоретического чертежа снимаем значение дифферентующего момента на 1 см осадки $\delta m_{1см}$ для средней осадки уменьшенной на 0,5м и рассчитываем значение величины δm_2;

– определяем изменение дифферентующего момента на 1 см на 1 м изменения средней осадки по формуле:

$$\frac{\Delta m_{1см}}{Df} = \Delta m_1 \cdot (d_{ср\perp} + 0.5м) - \Delta m_2 \cdot (d_{ср\perp} - 0.5м)$$

Знак второй поправки к дифференту всегда положительный. Физический смысл поправки заключается в том, что она учитывает форму обводов.

Окончательное водоизмещение находим из суммы величин – водоизмещения с учетом изгиба, поправки на изменение плотности воды и двух поправок на дифферент

$$\Delta = \Delta_0 + \delta\Delta_{\rho} + \delta\Delta_1 + \delta\Delta_2$$

Зная водоизмещение и рассчитав значение величины, состоящей из массы судна порожнем и имеемых запасов, находим (определяем) количество принятого груза.

КРИВЫЕ ПЛАВУЧЕСТИ. МАСШТАБ БОНЖАНА

В эксплуатации судно может иметь значительный дифферент, а в этих условиях определение объемного водоизмещения и абсциссы X_c, по значению средней осадки, приводит к существенной погрешности. Поэтому, когда требуется большая точность вычислений водоизмещения и абсциссы X_c, их следует определять с помощью диаграммы- называемой масштабом БОНЖАНА, или КРИВЫМИ ПЛОЩАДЕЙ ШПАНГОУТОВ (рис. 13).

Масштабом Бонжана пользуются следующим образом. Допустим, что судно имеет дифферент на корму $d_н \neq d_к$. На кормовом и носовом перпендикулярах откладываем значения $d_н$ и $d_к$, и соединяем их прямой линией АВ, которая изображает действующую ватерлинию.

Чтобы определить площадь шпангоута (допустим, шпангоута № 8), из точки пересечения действующей ватерлинии со следом шпангоута (а) проводим горизонтальную прямую (аб) до пересечения с соответствующей кривой площади шпангоута. Измерив отрезок (аб) в

масштабе площадей шпангоутов, находим площадь погруженной части шпангоута №8. Если измерить площади погруженных частей всех шпангоутов, в точках пересечения действующей ватерлинии со всеми шпангоутами, то мы можем определить водоизмещение судна и положение абсциссы центра величины в соответствии с правилами приближенных вычислений и расчетными формулами.

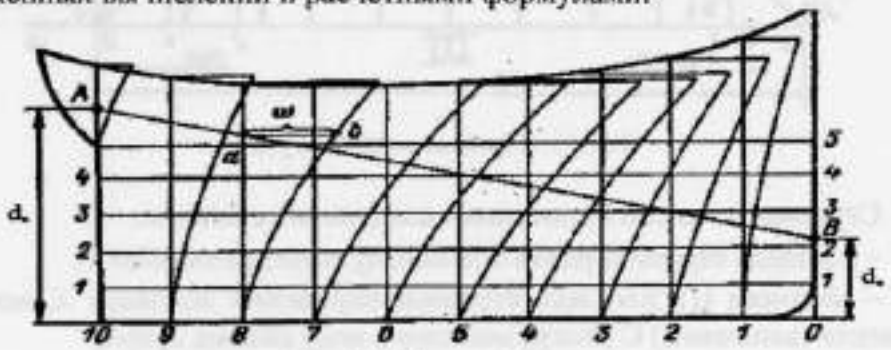


Рис. 13. Масштаб Бонжана

Иногда, для удобства пользования, кривые на масштабе Бонжана заменяют цифровыми шкалами, соответствующими значениям площадей шпангоутов (рис.14).

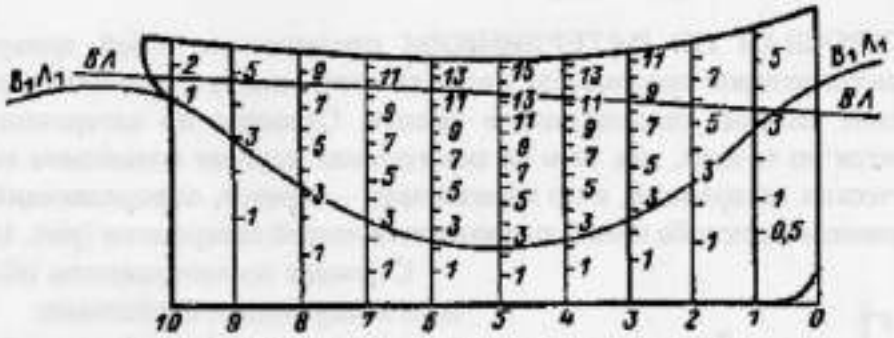


Рис. 14. Масштаб Бонжана в виде шкалы площадей шпангоутов

СТРОЕВАЯ ПО ШПАНГОУТАМ И ВАТЕРЛИНИЯМ

Строевая по шпангоутам представляет собой кривую, ординаты которой равны погруженным в воду площадям шпангоутов, по определенную (обычно грузовую) ватерлинию, а абсциссы определяют положение шпангоутов по длине судна (рис. 15).

Строевую по шпангоутам вычерчивают по точкам, для чего вычисленные значения площади каждого теоретического шпангоута откладывают в соответствующем масштабе на ординатах. Основанием этих ординат служит положение данного шпангоута по длине судна.

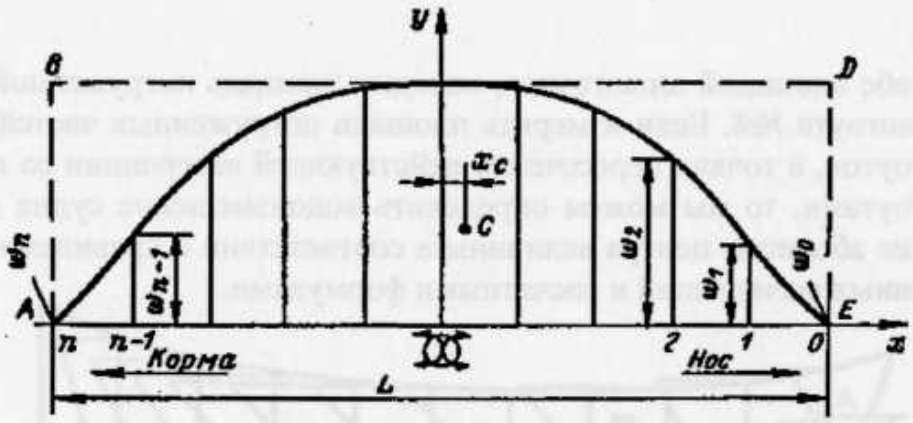


Рис.15. Строевая по шпангоутам

Строевая по шпангоутам имеет следующие свойства:

– площадь строевой равна объемному водоизмещению ∇;

– абсцисса ЦТ площади строевой определяет абсциссу X_c центра тяжести (величины) С , погруженного в воду объема судна;

– коэффициент полноты площади строевой равен коэффициенту продольной полноты объемного водоизмещения:

$$\frac{S_{стр}}{S_{абде}} = \frac{\nabla}{\omega_{)0(} \cdot L} = \frac{C_B LBd}{\beta BdL} = \frac{C_B}{\beta} = \varphi$$

СТРОЕВАЯ ПО ВАТЕРЛИНИЯМ представляет собой кривую, абсциссы которой показывают площади ватерлиний, а ординаты – положение каждой ватерлинии по высоте. Строевая по ватерлиниям строится по точкам, для чего на оси ординат наносят положение теоретических ватерлиний, а по горизонтали – отрезок, определяющий в выбранном масштабе площадь соответствующей ватерлинии (рис. 16),

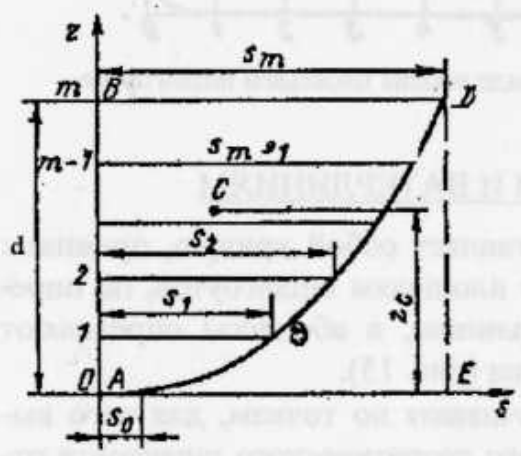


Рис. 16. Строевая по ватерлиниям

Строевая по ватерлиниям обладает следующими свойствами:

– площадь строевой по любую ватерлинию равна объемному водоизмещению по эту ватерлинию;

– ордината ЦТ площади строевой по ту же ватерлинию, определяет аппликату ЦТ (Z_c), погруженного в воду объема судна;

– коэффициент полноты строевой по конструктивную ватерлинию равен коэффициенту вертикальной полноты судна

$$\frac{S_{стр}}{S_{обвод}} = \frac{\nabla}{S \cdot d} = \frac{C_B LBd}{\alpha BdL} = \frac{C_B}{\alpha} = \chi$$

Строевая по шпангоутам и ватерлиниям являются характеристиками формы теоретического корпуса и используются при проектировании обводов корпуса судов.

КРИВАЯ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ И ГРУЗОВАЯ ШКАЛА

Для определения водоизмещения судна, при любой действующей осадке (ватерлинии), строят кривую, выражающую зависимость водоизмещения от осадки судна. При этом предполагается, что судно сидит на ровный киль.

Пользуясь вычисленными значениями объемов, можно построить кривую изменения объемного водоизмещения в зависимости от осадки судна (рис. 17).

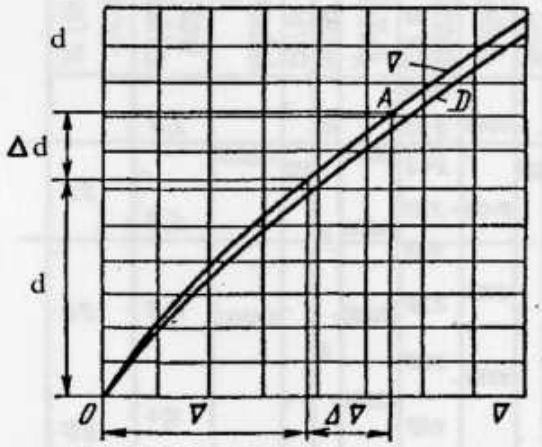


Рис.17. Кривые водоизмещения

∇ – начальное объёмное водоизмещение;

d – осадка начального водоизмещения;

$\delta\nabla$ – прирост водоизмещения от приема груза $\delta\nabla = P \cdot \rho$;

δd – прирост осадки.

Пользоваться кривой объемного водоизмещения, или грузовым размером, необходимо следующим образом:

– на оси абсцисс откладываем в масштабе величину объемного водоизмещения судна ∇;

– на оси ординат откладываем осадку d, соответствующую этому водоизмещению;

– на оси абсцисс откладываем приращение объемного водоизме-

щения $\delta\nabla$ полученное от принятия какого-то груза P и из полученной точки восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой объемного водоизмещения, точка А;

– из точки А проводим горизонтальную прямую на ось ординат и получаем новую осадку судна d, а значит и приращение осадки δd

Таким образом, кривая объемного водоизмещения и грузовой размер дают возможность определять водоизмещение и грузовой размер при данной его осадке или, наоборот, осадку судна при заданном водоизмещении без выполнения расчетов.

Часто для этой же цели пользуются ГРУЗОВОЙ ШКАЛОЙ, которая состоит из шкалы водоизмещения, шкалы дедвейта, шкалы числа тонн на 1 (один) сантиметр осадки и шкалы момента, дифферентующего на 1 см.

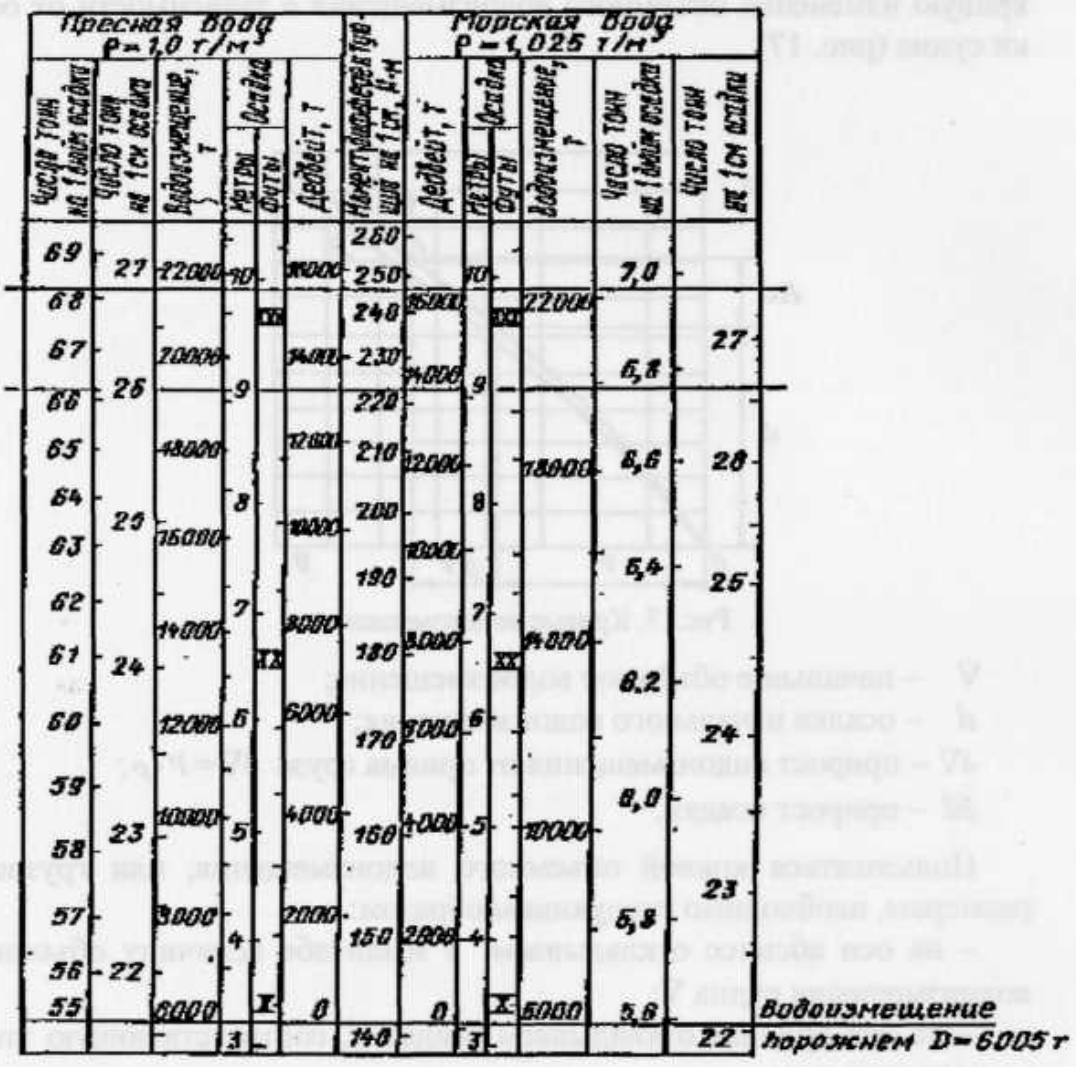


Рис. 18. Грузовая шкала

Данная на рис. 18 грузовая шкала состоит из двух частей:

– левая часть показывает изменение характеристик плавучести при изменении осадки судна в пресной воде;

– правая часть показывает изменение характеристик плавучести при изменении осадки судна в морской воде.

ГРУЗОВАЯ ШКАЛА входит в состав основной документации судна. При построении грузовой шкалы принимают, что судно сидит на ровный киль, плавает в воде известной плотности, а корпус не имеет изгиба. Реальные условия плавания судна, как правило, отличны от принятых, а это приводит к погрешностям при определении водоизмещения по грузовой шкале и, в конечном итоге, к ошибкам в определении количества перевозимого груза. В таких случаях вычисляются поправки к водоизмещению:

– поправка к водоизмещению на изменение плотности забортной воды,

$$\delta\Delta = \Delta\frac{\rho - \rho_d}{\rho_1},$$

где Δ – водоизмещение по грузовой шкале;

ρ – плотность воды в данный момент;

ρ_1 – плотность воды, принятая при расчете грузовой шкалы.

– поправка к средней осадке при наличии дифферента δd_f

$$\delta d_f = \frac{d_н - d_к}{L} X_f,$$

где δd_f – поправка к средней осадке;

$d_н$, $d_к$ – осадки судна носом и кормой;

L – длина судна;

F – центр тяжести площади действующей ватерлинии;

X_f – абсцисса центра тяжести действующей ватерлинии,

которая берется со знаком (+) плюс, если F расположена в нос от миделя и со знаком (–) минус, если F расположен в корму от миделя (по кривым теоретического чертежа). Найдя поправку к средней осадке δd, при наличии дифферента, определяем поправку к водоизмещению при наличии дифферента:

$$\delta\Delta = \delta d_f \cdot 100 \cdot q_{1см} = \frac{d_н - d_к}{L} \cdot X_f \cdot 100 \cdot q_{1см},$$

где $q_{1см}$ – количество тонн, изменяющих осадку на 1 см (определяется по грузовой шкале на данную среднюю осадку);

$\delta\Delta$ – поправка к водоизмещению.

К прочим кривым, которые необходимо иметь на судне, относятся:

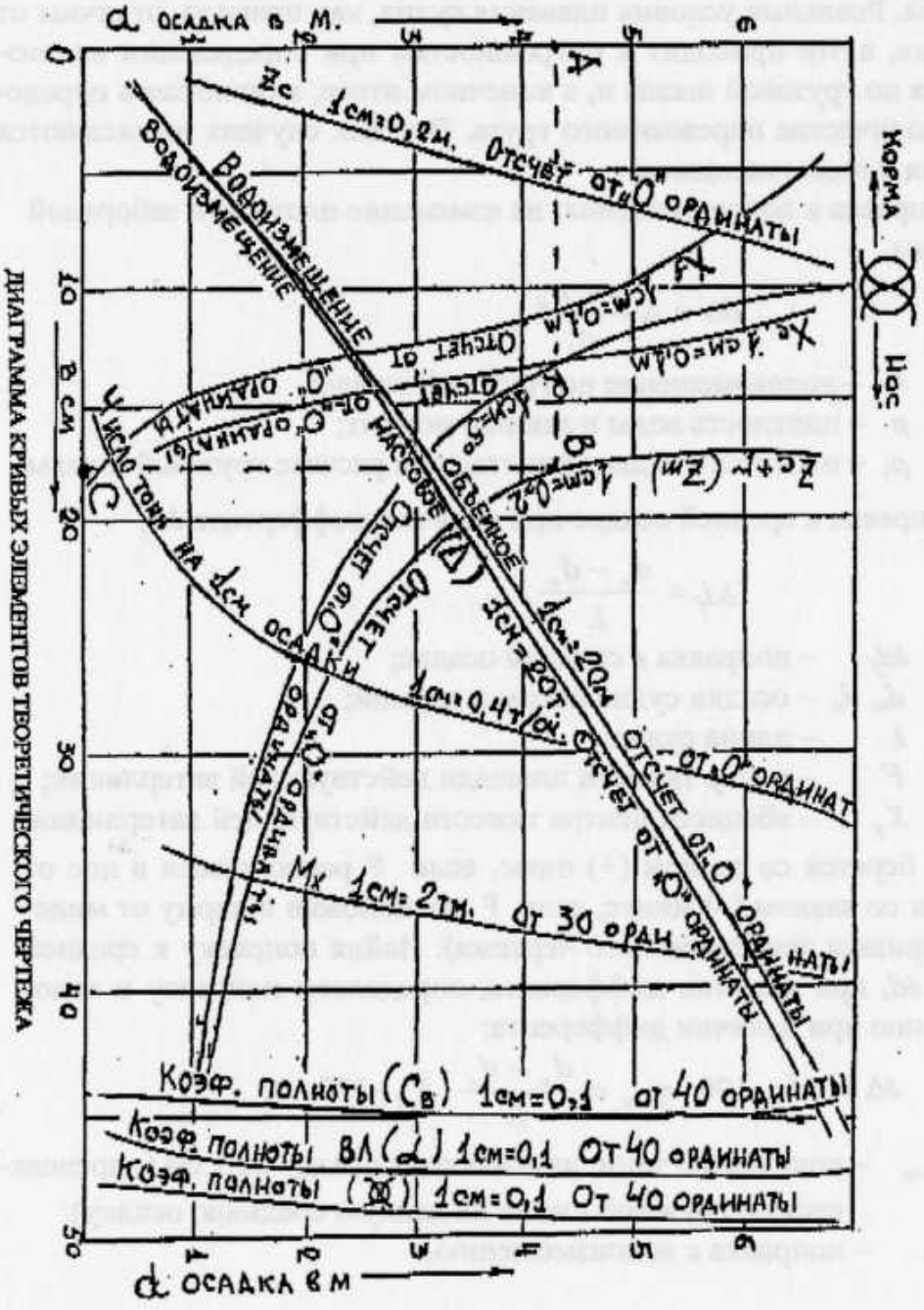
– кривые абсцисс, центра тяжести площади ватерлиний;

– кривые абсцисс центра величины;

– кривые аппликат центра величины;

– кривые коэффициентов полноты.

Все кривые плавучести, кроме масштаба Бонжана и строевой по шпангоутам, наносятся на один чертеж, который называется КРИВЫЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА (рис. 19).



На этом чертеже строят также ряд кривых, характеризующих остойчивость судна.

Этот чертеж является обязательным судовым документом и включает в себя:

– объемное водоизмещение судна;
– массовое водоизмещение судна;
– площадь ватерлинии;
– число тонн на 1 см. осадки;
– абсциссу ЦТ;
– абсциссу ЦВ;
– аппликату ЦВ;
– абсциссу ЦТ площади ГВЛ;
– поперечный метацентрический радиус;
– продольный метацентрический радиус;
– момент инерции площади ГВЛ относительно продольной оси;
– момент инерции площади ГВЛ относительно поперечной оси;
– аппликату метацентра;
– коэффициенты полноты.

Количество кривых на диаграмме может доходить до 20. Для определения значения любой величины по диаграмме КРИВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА необходимо:

– по оси ординат (осадок) откладываем среднюю осадку $d_{ср}$ (т. А);

– из т. A проводим горизонтальную прямую до пересечения с нужной нам кривой (допустим Z_m, в т. В) и опускаем перпендикуляр на ось абсцисс (точка С);

– на кривой Z_m находим масштаб и от какой ординаты отсчет;

– по оси абсцисс снимаем значение ОС и умножив на масштаб, находим нужное нам значение ординаты (у нас $Z_м$=16×0,2 *м* = 3,2 *м*).

По своему содержанию и методикам расчета диаграммы КРИВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА могут отличаться от предложенной выше, поэтому, в каждом конкретном случае перед началом работы необходимо ознакомиться с методикой для данной диаграммы.

ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ И ГРУЗОВАЯ МАРКА

Для обеспечения безопасности плáвания каждое судно должно обладать определенной потенциальной плавучестью – ЗАПАСОМ ПЛАВУЧЕСТИ.

Запас плавучести судна определяется (характеризуется) величиной непроницаемого для воды объема корпуса, расположенного выше действующей ватерлинии. Запас плавучести непосредственно связы-

вают с высотой надводного борта – чем он большие, тем большие запас плавучести.

Запас плавучести обычно выражается в процентах от водоизмещения судна с полным грузом и является относительным запасом плавучести.

По основному уравнению плавучести – ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ равен массе груза, который судно должно принять сверх уже находящегося на борту судна груза, до его полного погружения (ПОЛНОЙ ПОТЕРИ ПЛАВУЧЕСТИ). Запас плавучести выражается отношением:

$$A = \frac{\nabla_н}{\nabla} 100\%,$$

где $\nabla_н$ – надводный объем непроницаемого корпуса судна.

Относительный запас плавучести различен у разных типов судов и составляет:

– для пассажирских судов – около 80 %;
– для грузовых судов – около 25–50 %;
– для наливных судов – около 15–25 %.

На основании требований Международной конвенции о грузовой марке определяется наименьшая высота надводного борта для типов судов, района плавания и времени года. Для контроля на борту судна наносится ГРУЗОВАЯ МАРКА. Различают обычную и специальную международную грузовую марку.

Грузовая марка на судне наносится следующим образом (рис. 20): на каждом борту в средней его части наносится горизонтальная линия длиной 300 мм – ПАЛУБНАЯ ЛИНИЯ. Верхняя кромка этой линии проходит по уровню верхней кромки палубного листа. Знак грузовой марки представляет собой кольцо с наружным диаметром 300 мм, которое пересекается горизонтальной линией длиной 450 мм.

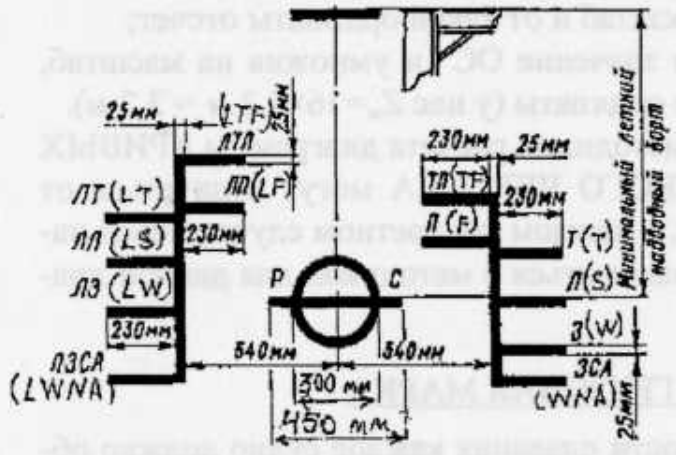


Рис. 20. Грузовая марка

Верхняя кромка этой линии проходит через центр круга. Над горизонтальной линией наносится обозначение организации, назначившей эту марку.

На этом чертеже строят также ряд кривых, характеризующих остойчивость судна.

Этот чертеж является обязательным судовым документом и включает в себя:

– объемное водоизмещение судна;
– массовое водоизмещение судна;
– площадь ватерлинии;
– число тонн на 1 см. осадки;
– абсциссу ЦТ;
– абсциссу ЦВ;
– аппликату ЦВ;
– абсциссу ЦТ площади ГВЛ;
– поперечный метацентрический радиус;
– продольный метацентрический радиус;
– момент инерции площади ГВЛ относительно продольной оси;
– момент инерции площади ГВЛ относительно поперечной оси;
– аппликату метацентра;
– коэффициенты полноты.

Количество кривых на диаграмме может доходить до 20. Для определения значения любой величины по диаграмме КРИВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА необходимо:

– по оси ординат (осадок) откладываем среднюю осадку $d_{ср}$ (т. А);

– из т. *А* проводим горизонтальную прямую до пересечения с нужной нам кривой (допустим Z_m, в т. В) и опускаем перпендикуляр на ось абсцисс (точка С);

– на кривой Z_m находим масштаб и от какой ординаты отсчет;

– по оси абсцисс снимаем значение ОС и умножив на масштаб, находим нужное нам значение ординаты (у нас $Z_м$=16×0,2 *м* = 3,2 *м*).

По своему содержанию и методикам расчета диаграммы КРИВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА могут отличаться от предложенной выше, поэтому, в каждом конкретном случае перед началом работы необходимо ознакомиться с методикой для данной диаграммы.

ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ И ГРУЗОВАЯ МАРКА

Для обеспечения безопасности плавания каждое судно должно обладать определенной потенциальной плавучестью – ЗАПАСОМ ПЛАВУЧЕСТИ.

Запас плавучести судна определяется (характеризуется) величиной непроницаемого для воды объема корпуса, расположенного выше действующей ватерлинии. Запас плавучести непосредственно связы-

вают с высотой надводного борта – чем он большие, тем большие запас плавучести.

Запас плавучести обычно выражается в процентах от водоизмещения судна с полным грузом и является относительным запасом плавучести.

По основному уравнению плавучести – ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ равен массе груза, который судно должно принять сверх уже находящегося на борту судна груза, до его полного погружения (ПОЛНОЙ ПОТЕРИ ПЛАВУЧЕСТИ). Запас плавучести выражается отношением:

$$A = \frac{\nabla_{н}}{\nabla} 100\%,$$

где $\nabla_{н}$ – надводный объем непроницаемого корпуса судна.

Относительный запас плавучести различен у разных типов судов и составляет:

– для пассажирских судов – около 80 %;
– для грузовых судов – около 25–50 %;
– для наливных судов – около 15–25 %.

На основании требований Международной конвенции о грузовой марке определяется наименьшая высота надводного борта для типов судов, района плавания и времени года. Для контроля на борту судна наносится ГРУЗОВАЯ МАРКА. Различают обычную и специальную международную грузовую марку.

Грузовая марка на судне наносится следующим образом (рис. 20): на каждом борту в средней его части наносится горизонтальная линия длиной 300 мм – ПАЛУБНАЯ ЛИНИЯ. Верхняя кромка этой линии проходит по уровню верхней кромки палубного листа. Знак грузовой марки представляет собой кольцо с наружным диаметром 300 мм, которое пересекается горизонтальной линией длиной 450 мм.

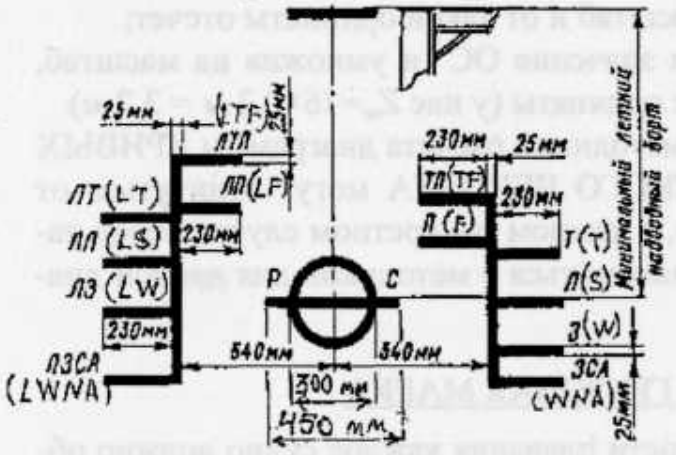


Рис. 20. Грузовая марка

Верхняя кромка этой линии проходит через центр круга. Над горизонтальной линией наносится обозначение организации, назначившей эту марку.

На расстоянии 540 мм от центра круга, в нос судна, проводится вертикальная линия с отходящими от нее горизонтальными линиями длиной 230 мм – ГРУЗОВЫМИ МАРКАМИ. Эти марки отмечают положение предельных грузовых ватерлиний судна. В международную грузовую марку входит следующий ряд марок:

– летняя грузовая марка Л (S) – это расстояние между верхней кромкой ПАЛУБНОЙ ЛИНИИ и верхней кромкой марки Л и определяет летний надводный борт судна летом при плавании в морской воде;

– зимняя марка З (W) соответствует зимнему надводному борту, полученному увеличением летнего надводного борта на 1/48 летней осадки;

– зимняя грузовая марка Северной Атлантики ЗСА (WNA) для судов длиной более 100,5 м равна зимнему надводному борту, а для судов менее 100,5 м равна зимнему надводному борту плюс 50 мм с обозначением WNA;

– тропическая грузовая марка Т (T) равна ЛЕТНЕМУ надводному борту, уменьшенному на 1/48 летней осадки;

– грузовая марка для пресной воды П (F) наносится в корму от вертикальной линии и равна ЛЕТНЕМУ надводному борту, уменьшенному на величину изменения осадки при переходе судна из морской воды в пресную;

– тропическая грузовая марка для пресной воды ТП (TF) равна ТРОПИЧЕСКОМУ надводному борту, уменьшенному на величину изменения осадки при переходе судна из морской воды (ρ=1,025) в пресную (ρ= 1.00).

На судах-лесовозах, при выполнении требований Правил касающихся конструкции судна, размещения, укладки и крепления разрешается уменьшение надводного борта за счет плавучести леса на палубе, а ЛЕСНАЯ грузовая марка наносится слева (в корму) от знака грузовой марки, (рис. 20).

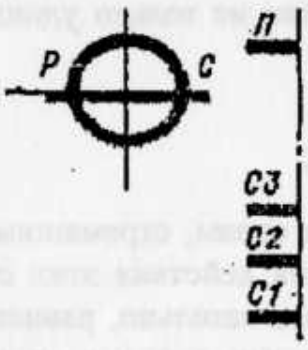


Рис 21. Грузовая марка

На пассажирских судах (рис. 21) наносятся дополнительные грузовые марки деления на отсеки, которые для основного варианта перевозки пассажиров обозначается знаком *С1*, а для остальных вариантов знаками *С2, С3* и т. д. Эта грузовая марка наносится в том случае, если одобренная Регистром ватерлиния деления на отсеки находится ниже марки самого высокого надводного борта судна.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ ПОГРУЖЕНИЯ

При расчетах мореходных качеств судна существует такое определение, как ПРЕДЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ ПОГРУЖЕНИЯ.

Судно считается (условно) непотопляемым, если при затопленном отсеке (отсеках) АВАРИЙНАЯ ВАТЕРЛИНИЯ не пересекает предельную линию погружения.

Предельная линия погружения - это линия, нанесенная параллельно линии борта судна ниже палубной линии на 76 мм (рис.22).



Рис. 22. Предельная линия погружения

ПОПЕРЕЧНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

Остойчивость - одно из важнейших мореходных качеств судна, касающееся безопасности плавания. Утрата остойчивости почти всегда означает гибель судна, а очень часто и экипажа. Уменьшение остойчивости не проявляется видимым образом, за исключением увеличения периода качки, и экипаж судна, как правило, не подозревает о грозящей опасности. Поэтому этот раздел теории корабля необходимо изучать особо внимательно.

Для того чтобы судно плавало в заданном равновесном положении, относительно поверхности воды, оно должно не только удовлетворять условиям равновесия:

$$\gamma \cdot \nabla = P; \qquad Y_c = Y_G$$
$$X_c = X_G \qquad Z_c \neq Z_G,$$

но и быть способным сопротивляться внешним силам, стремящимся вывести его из равновесия, а после прекращения действия этих сил возвращаться в первоначальное положение. Следовательно, равновесие судна должно быть устойчивым или, другими словами, судно должно обладать положительной остойчивостью.

Таким образом, ОСТОЙЧИВОСТЬ – это способность судна, вы-

веденного из состояния равновесия внешними силами, вновь возвращаться к первоначальному положению равновесия после прекращения действия этих сил, т. е. остойчивость проявляется, когда судно на плаву и наклоняется. Остойчивость при поперечных наклонениях судна называется ПОПЕРЕЧНОЙ ОСТОЙЧИВОСТЬЮ и в зависимости от углов наклонения делится на:

– остойчивость на малых углах крена (10-15°) – НАЧАЛЬНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ;

– остойчивость на больших углах крена.

Наклонение судна может происходить под действием пары сил. Момент этой пары сил, вызывающий поворот судна вокруг продольной оси, будет называться КРЕНЯЩИМ МОМЕНТОМ и обозначается $M_{кр}$ (M_φ)

Если кренящий момент, приложенный к судну, нарастает постепенно и не вызывает угловых ускорений, а следовательно, и сил инерции, то остойчивость при таком наклонении называется СТАТИЧЕСКОЙ, например, прием балласта в бортовой танк или выбор шварговного троса.

Если кренящий момент действует на судно мгновенно и приводит к возникновению углового ускорения и инерционных сил, например, порыв ветра в борт, либо обрыв буксирного троса, то остойчивость, проявляющаяся при таком наклонении судна, называется ДИНАМИЧЕСКОЙ.

Статическая остойчивость характеризуется возникновением восстанавливающего момента.

Динамическая остойчивость характеризуется РАБОТОЙ этого момента от начала и до конца его действия.

ТЕОРЕМА ЭЙЛЕРА. ПОПЕРЕЧНЫЙ МЕТАЦЕНТР И МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИЙ РАДИУС

При изучении начальной остойчивости рассматривают такие наклонения судна, при которых его водоизмещение остается постоянным, а меняется лишь форма погруженной части корпуса, называемая РАВНООБЪЕМНЫМИ.

Ватерлинии, соответствующие равнообъемным наклонениям судна, называются РАВНООБЪЕМНЫМИ ВАТЕРЛИНИЯМИ.

Линия пересечения двух равнообъемных ватерлиний называется осью равнообъемного наклонения.

Ось бесконечно малого равнообъемного наклонения проходит через центр тяжести площади ватерлинии.

Первым, кто доказал указанные выше свойства равнообъемных ватерлиний, был Л. Эйлер.

Для упрощения производства расчетов начальной остойчивости делают ряд допусков:

– при наклонении судна меняется только форма погруженной части корпуса судна, а объемное водоизмещение остается постоянным;

– при наклонении судна центр величины погруженной части судна *C*, как равнодействующая сил поддержания, перемещается в сторону наклонения по дуге окружности с центром в точке *m*, которая называется ПОПЕРЕЧНЫМ МЕТАЦЕНТРОМ;

– поперечный метацентр *m* находится в точке пересечения направления сил поддержания наклоненного судна и диаметральной плоскости судна.

Допустим, что судно под действием внешних сил кренящего момента $M_{кр}$. получило поперечное наклонение на малый угол θ (рис. 23), тогда центр величины *C* переместится в точку C_1 и сила поддержания $\bar{\Delta}$, перпендикулярная новой действующей ватерлинии, будет направлена под углом θ к диаметральной плоскости. Точка пересечения новой силы поддержания $\bar{\Delta}$ с диаметральной плоскостью судна и будет поперечным метацентром *m*.

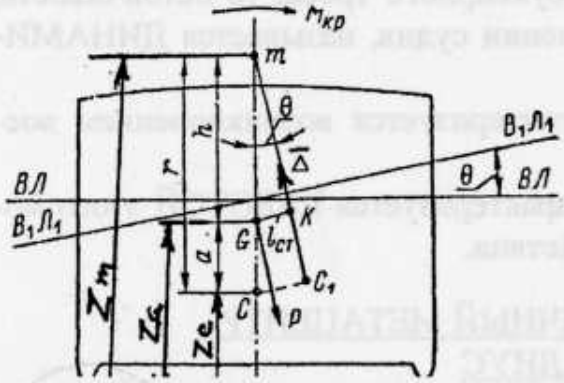


Рис. 23. Элементы начальной поперечной остойчивости

Положение центра тяжести судна *G* в этих условиях остается неизменным, а сила тяжести *P* будет направлена перпендикулярно новой ватерлинии.

Таким образом сила тяжести *P* и сила поддержания $\bar{\Delta} = \gamma V$ будут параллельны друг другу, направлены в противоположные стороны и не лежат на одной вертикальной прямой, а, следовательно, образуют пару сил с плечом *GK* – обозначаемым символом *l*. Эта пара сил стремится вернуть судно в первоначальное положение. Величина плеча *l* зависит от расстояния между метацентром *m* и центром тяжести *G*, *mG*.

Эта величина называется НАЧАЛЬНОЙ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТОЙ – *h*.

Расстояние от метацентра до центра величины *mC* называется ПОПЕРЕЧНЫМ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИМ РАДИУСОМ и обозначается – *r*.

С учетом принятых ранее допущений о постоянстве положения поперечного метацентра m, можно сказать, что значение поперечного метацентрического радиуса в пределах малых углов крена остается неизменным и может быть вычислено по формуле:

$$r = \frac{J_x}{\nabla}$$

где J_x – момент инерции площади ватерлинии относительно продольной оси.

Отстояние поперечного метацентра m и центра величины C от основной плоскости обозначаются соответственно Z_m *и* Z_c и могут быть получены (сняты) с КРИВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕКОГО ЧЕРТЕЖА. Там же можно получить (снять) значение метацентрического радиуса r.

Возвышение (отстояние) центра тяжести судна G от основной плоскости обозначается через Z_G и всегда должно только рассчитываться на судне.

Вопрос об остойчивости накрененного судна решается направлением действия восстанавливающего момента.

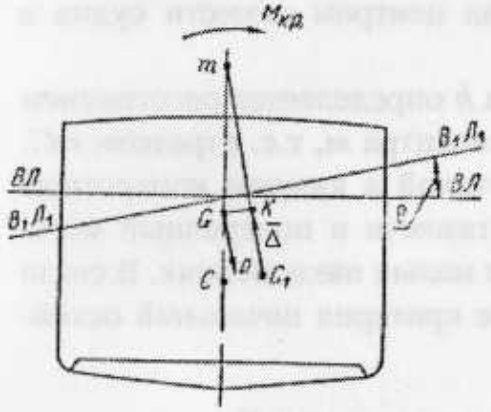


Рис. 24. Судно остойчиво

Если восстанавливающий момент стремится вернуть судно в первоначальное положение равновесия, то восстанавливающий момент $M_в$, в этом случае, считается положительным, остойчивость судна также положительна – судно остойчиво.

На рис. 24 показано расположение сил, действующих на судно, которое соответствует положительному восстанавливающему моменту. Такой момент наступает, если центр тяжести судна лежит ниже метацентра.

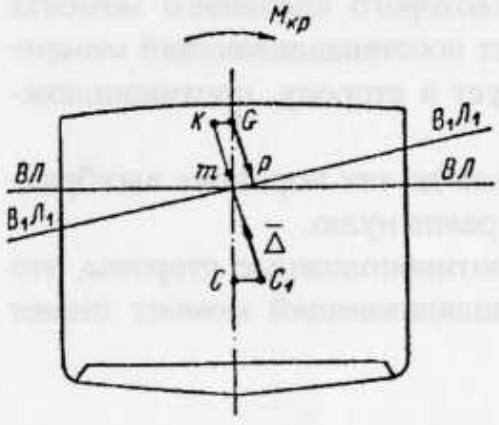
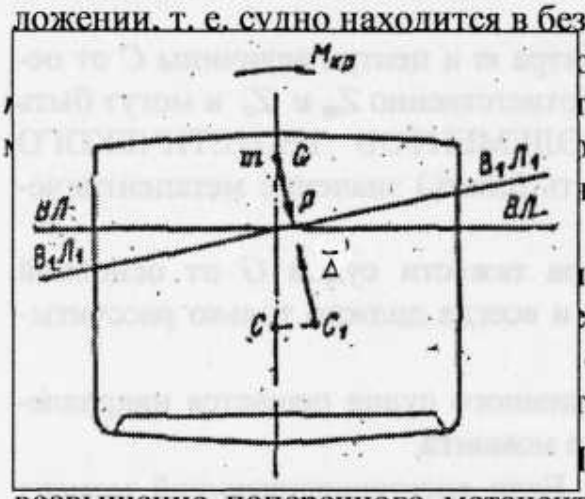


Рис. 25. Судно неостойчиво

В случае, когда центр тяжести судна G лежит выше метацентра m (рис.25), то возникающий восстанавливающий момент $M_в$, стремится еще больше отклонить судно из положения равновесия и является отрицательным, так как стремится еще больше отклонить судно из положения равновесия по той причине, что направление его действия совпадает

с направлением действия кренящего момента $M_{кр}$ – судно неостойчиво.

Теоретически можно допустить, что восстанавливающий момент $M_в$, при наклонении судна, будет равен нулю, т.е. сила веса судна и сила поддержания располагаются на одной вертикали. Отсутствие восстанавливающего момента приводит к тому, что после прекращения действия кренящего момента, судно останется в наклоненном положении, т. е. судно находится в безразличном равновесии (рис. 26).



оложению поперечного метацентра
ть о знаке восстанавливающего мо-
ости судна:
аходится выше центра тяжести то

и поперечный метацентр распо-
н ниже центра тяжести или совпа-
с ним то судно неостойчиво.
гацентрической высоте.

ЧЁСКОЙ ВЫСОТОЙ называется возвышение поперечного метацентра над центром тяжести судна в начальном положении равновесия.

Поперечная метацентрическая высота h определяется расстоянием от центра тяжести G до поперечного метацентра m, т.е. отрезком mG. Этот отрезок является постоянной величиной в каждом конкретном случае загрузки судна, так как и центр тяжести и поперечный метацентр не изменяют своего положения при малых наклонениях. В связи с этим, его удобно принимать в качестве критерия начальной остойчивости судна.

МЕТАЦЕНТРИЧЁСКАЯ ФОРМУЛА ПОПЕРЕЧНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

В результате действия на судно некоторого кренящего момента $M_{кр}$ вместе с появлением крена возникает восстанавливающий момент $M_в$. В нашем случае момент $M_в$ действует в сторону, противоположную действию кренящего момента $M_{кр}$.

Наклонение судна будет продолжаться до тех пор, пока алгебраическая сумма обоих моментов не станет равна нулю.

А так как моменты действуют в противоположные стороны, это условие будет выполнено, если восстанавливающий момент станет равным кренящему $M_в = M_{кр}$

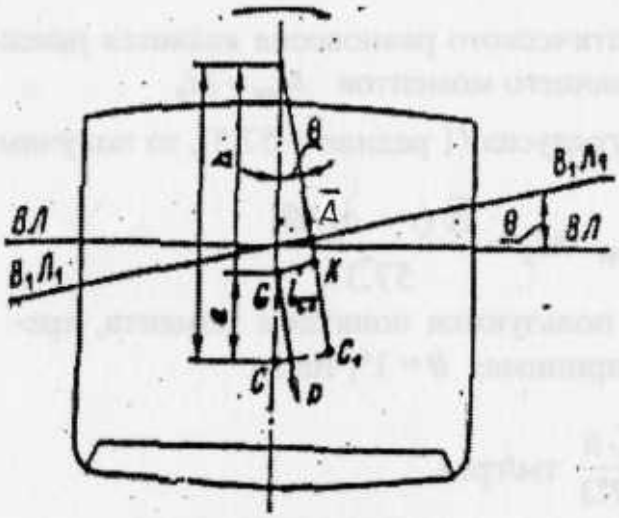


Рис. 27. Элементы начальной поперечной остойчивости

Восстанавливающий момент определяется произведение силы на плечо

$$M_в = \overline{\Delta} \cdot \overline{GK}$$

Плечо $\overline{GK}$ называют плечом восстанавливающего момента или ПЛЕЧОМ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ и обозначают буквой $l_{ст.}$, а так как отрезок mG является поперечной метацентрической высотой h, то из прямоугольного треугольника mGK следует:

$$\overline{GK} = \overline{mG} \cdot \sin\theta = h \cdot \sin\theta \quad \text{или} \quad M_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot \sin\theta$$

При малых углах крена вместо $sin\,\theta$ можно подставлять величину угла θ в радианах, тогда это выражение принимает вид $M_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot \theta$

Формулы: $M_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot Sin\theta$ и $M_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot \theta$ являются метацентрическими формулами поперечной остойчивости.

По аналогии получаем метацентрическую формулу продольной остойчивости:

$$M_в^0 = \overline{\Delta} \cdot H_0 \cdot \sin\Psi = \overline{\Delta} \cdot H_0 \cdot \Psi .$$

Произведение $\overline{\Delta} \cdot h$ принято называть коэффициентом остойчивости. Увеличение или уменьшение коэффициента остойчивости свидетельствует о соответствующем пропорциональном изменении остойчивости.

Поскольку поперечная метацентрическая высота $h = r - a$, то формула величины восстанавливающего момента представится в виде

$$M_в = \overline{\Delta}(r-a) \cdot \sin\theta = \overline{\Delta} \cdot r \cdot \sin\theta - \overline{\Delta} \cdot a \cdot \sin\theta \text{, где } a = Z_G - Z_c$$

Метацентрические формулы остойчивости обычно используются для определения углов крена или дифферента, начальной метацентрической высоты:

$$\theta = \frac{M_в}{\overline{\Delta} \cdot h} \cdot рад ; \quad \theta^\circ = 57^\circ.3 \frac{M_в}{\overline{\Delta} \cdot h} ; \quad \Psi = \frac{M_в}{\overline{\Delta} \cdot H_0} рад ; \quad \Psi^0 = 57^\circ.3 \frac{M_в}{\overline{\Delta} \cdot H_0} .$$

Мы знаем, что условием статического равновесия является равенство кренящего и восстанавливающего моментов $M_{кр} = M_в$

Если выразить угол крена в градусах (1 радиан = 57,3), то получим

$$M_в = \frac{\overline{\Delta} \cdot h \cdot \theta}{57^\circ.3} \quad \text{или} \quad M_в = \frac{\overline{\Delta} \cdot (r - a) \cdot \theta}{57^\circ.3}$$

В практике расчетов часто пользуются понятием момента, кренящего судно на 1 градус M_{1°, принимая $\theta = 1^\circ$, тогда

$$M_{1^\circ} = \frac{\overline{\Delta} \cdot h}{57^\circ.3} \text{ тм/град}$$

Отсюда, зная кренящий момент, рассчитывают крен судна

$$\theta^0 = \frac{M_{кр}}{M_{1^\circ}}$$

Дифферентующий момент рассчитывается аналогичным образом:

$$m_{1^\circ} = \frac{\overline{\Delta} \cdot H_0}{100\ L}; \qquad \Psi = \frac{1}{100\ L}; \qquad \text{дифферент } Df = \frac{M_{диф}}{m_{1^\circ}}$$

Возможно производство расчетов в таком варианте:

$$M_в = \frac{\overline{\Delta} \cdot h \cdot \theta}{57^\circ.3}; \qquad \theta = 57^\circ.3 \frac{M_в}{\overline{\Delta} \cdot h}; \qquad 1^0 = 57^\circ.3 \frac{M_в}{\overline{\Delta} \cdot h};$$

$$h = 57^\circ.3 \frac{M_{кр}}{\overline{\Delta} \cdot \theta}; \qquad M_{кр} = p \cdot l; \qquad h = 57^\circ.3 \frac{P \cdot l}{\overline{\Delta} \cdot \theta}.$$

МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА КАК КРИТЕРИЙ НАЧАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Метацентрическая формула поперечной остойчивости позволяет оценить значение восстанавливающего момента. Но этот момент нельзя признать удобной мерой остойчивости, так как он зависит от угла наклонения судна. Мерой остойчивости считается отношение восстанавливающего момента к углу наклонения:

$$\overline{\Delta}\ h = \frac{M_в}{\theta}$$

Этот коэффициент является абсолютным измерителем степени сопротивляемости судна внешним кренящим моментам.

Однако и этот показатель не подходит для сравнительной оценки

начальной остойчивости судов различных размеров, так как зависит от размеров судна.

Поэтому более удобной мерой в оценке начальной остойчивости является значение его поперечной метацентрической высоты.

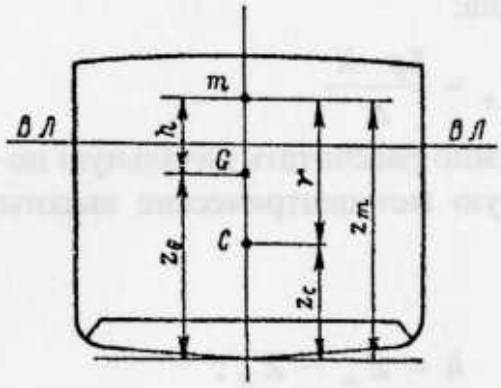


Рис. 28. Вычисление поперечной метацентрической высоты

Для установления данных, необходимых при получении значения поперечной метацентрической высоты, рассмотрим рис. 28 на котором показано относительное расположение центра величины C, центра тяжести G и поперечного метацентра m, судна имеющего положительную начальную поперечную остойчивость.

Из рисунка видно, что поперечная метацентрическая высота h может быть определена по одной из следующих формул:

$$h = r\text{-}\alpha\,; \quad h = Z_c + r - Z_G\,; \quad h = Z_m - Z_G\,.$$

Поперечная метацентрическая высота h определяется с помощью последних двух равенств. Аппликаты поперечного метацентра Z_m и центра величины Z_c могут быть найдены по метацентрической диаграмме. Основные трудности при вычислении поперечной метацентрической высоты судна возникают при определении аппликаты центра тяжести Z_g.

Для определения аппликаты центра тяжести судна Z_g на судах обычно используют табличный метод расчета.

№ п/п	Статьи нагрузки	Масса, P (тн)	Плечи (м)		Моменты (тм)	
			X_g	Z_g	M_x	M_z
--------	----------	-------	-----	----------	-----	-----
	Σ	DW				

В такую таблицу заносят все массовые нагрузки и отстояние их центров тяжести от основной плоскости и от миделя, либо от основной плоскости и кормового перпендикуляра КП.

Масса судна при заданной нагрузке состоит из:

– массы самого судна порожнем;

– массы экипажа и запасов;

– массы перевозимого груза, пассажиров и т.д.

После этого вычисляются статические моменты относительно координатных плоскостей. Координаты центра тяжести судна Z_G определяются, как частное от деления соответствующих статических моментов на массовое водоизмещение судна:

$$Z_g = \frac{\Sigma p \cdot Z}{\Delta}; \qquad X_g = \frac{\Sigma p \cdot X}{\Delta}.$$

Зная все необходимые величины можно рассчитать начальную поперечную, а по аналогии и продольную метацентрические высоты судна:

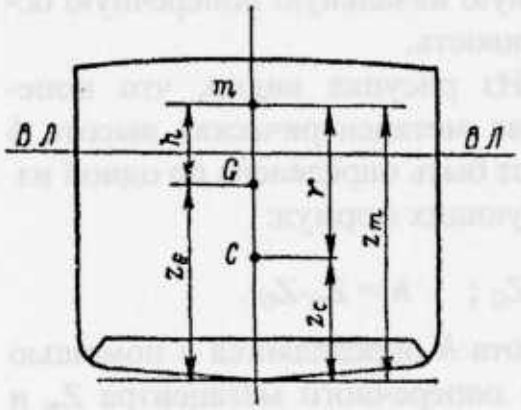


Рис. 29. Вычисление поперечной метацентрической высоты

$$h = Z_m - Z_G;$$
$$h = (Z_C + r) - Z_G;$$
$$h = r - \alpha.$$

$$H_0 = Z_m - Z_G;$$
$$H_0 = Z_C + R - Z_G;$$
$$H_0 = R - \alpha.$$

При определении центра тяжести судна и груза на практике могут встретиться несколько характерных случаев приема грузов:

– много партий различного сухого груза принимается в пустой трюм;
– много партий груза принимается поверх уже погруженного груза;
– жидкий груз принимается в танк, заполняя его полностью, либо частично, образуя свободную поверхность.

В этом случае в таблицу вносится каждая партия груза со своими значениями P, X, Z. Значения X и Z берутся из таблиц, а при их отсутствии их значения можно снять с чертежа бокового вида судна, выполненного в масштабе, с помощью обычной линейки (рис. 30) груз партии В.

Отстояние центра тяжести нескольких грузов от киля вычисляется по формуле:

$$Z_p = \frac{p_1 \cdot Z_1 + p_2 \cdot Z_2 + ... + p_n \cdot Z_n}{p_1 + p_2 + ... + p_n},$$

где $p_1;p_2;...p_n$ – масса грузов; $Z_1;Z_2;...Z_n$ – отстояние ЦТ груза от киля.

В судовых условиях для определения положения центра тяжести груза в трюмах и танках используют специальные чертежи (схемы) размещения грузов, смотри рис. 30.

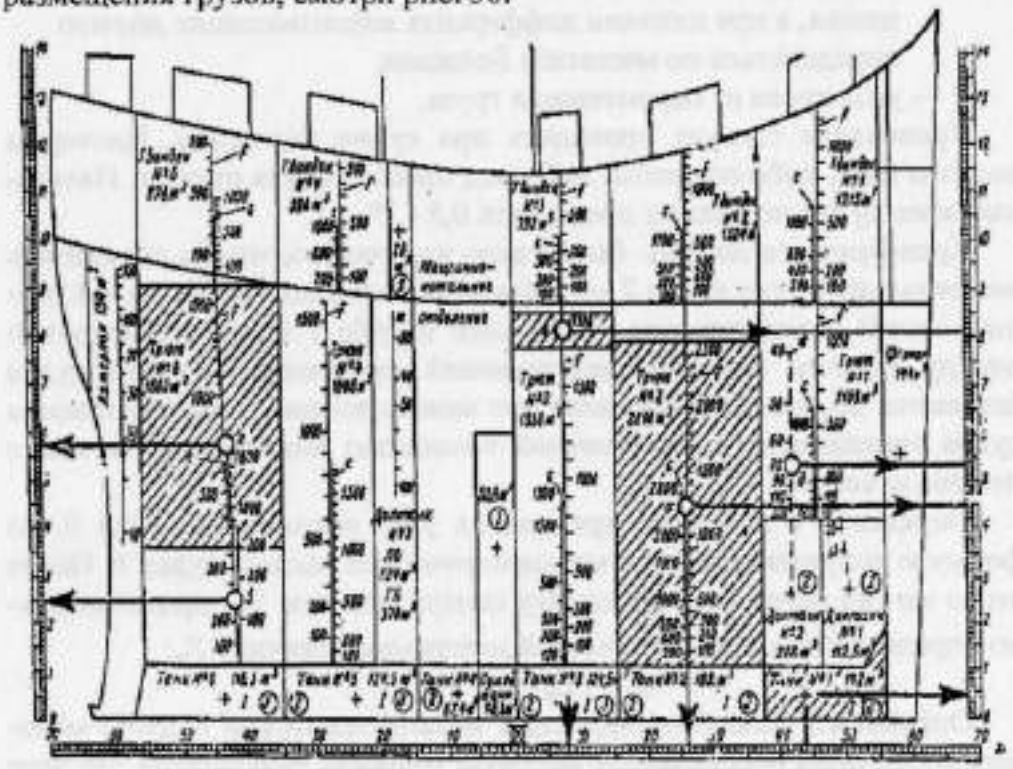


Рис. 30. Чертеж размещения груза на судне

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ СУДНА МЕТОДОМ КРЕНОВАНИЯ И ПО ПЕРИОДУ БОРТОВОЙ КАЧКИ

Кроме аналитического метода расчета начальной метацентрической высоты судна существуют и другие методы. Так как при постройке судов могут происходить некоторые перераспределения масс, а от этого и расхождения между расчетными и действительными значениями аппликат центра тяжести судна и метацентрической высоты. Регистр предписал уточнять проектные данные о положении центра тяжести судна путем проведения так называемого опыта кренования.

Опыт кренования основан на использовании формулы:

$$h = \frac{P \cdot l}{\Delta \cdot tg\,\theta} = \frac{M_{кр}}{\Delta \cdot tg\,\theta},$$

где P – масса груза, который перемещается в поперечно-горизонтальном направлении;

L – плечо, на которое перемещен данный груз;

Δ – водоизмещение, которое определяется по кривым водоизмещения, а при наличии дифферента водоизмещение должно определяться по масштабу Бонжана;

θ – угол крена от перемещения груза.

Кренование следует проводить при судне порожнем. Цистерны должны быть либо осушены, либо под пресс, а льяла сухими. Начальный крен судна не должен превышать 0,5 - 1°.

Крен-балласта должно быть такое количество, чтобы обеспечить максимальный угол крена 2 - 4°. Крен-балласт разделяется на 4-8 равных частей и размещается на верхней палубе у борта симметрично центру тяжести площади действующей ватерлинии. Осадка судна снимается до начала кренования как можно точнее. Угол наклонения судна определяется с достаточной точностью инклинографом или с помощью весков.

Определив с помощью кренования угол наклонения судна θ, по формуле получаем значение метацентрической высоты судна h. После этого можно вычислить аппликату центра тяжести Z_G, предварительно определив по метацентрической диаграмме величину Z_m:

$$Z_G = Z_m - h$$

Описанный способ определения метацентрической высоты методом кренования обеспечивает высокую точность результатов. Но этот способ трудоемок, продолжителен и требует специальной подготовки.

Поэтому, в условиях эксплуатации ограничиваются определением остойчивости судна упрощенным способом – путем проведения опыта раскачивания судна, т.е. по периоду бортовой качки.

Метацентрическая высота, в этом случае, определяется по периоду собственных колебаний судна на тихой воде. При этом нужно сделать, чтобы колебания были свободными и ни чем не ограничивались. Если судно стоит у причала то швартовы должны быть потравлены. Раскачивание судна производят путем поднятия или опускания груза (строп леса). Период колебания определяется с помощью секундомера. Напомним, что периодом полного колебания называются колебания между двумя последовательными одноименными накренениями судна (например, максимальный крен на левый борт, затем на правый и вновь до максимального крена на левый борт).

Определение среднего периода колебаний нужно производить не менее чем по трем раскачиваниям судна, в каждом из которых должно совершаться 4-5 колебаний.

Определяя h, по периоду качки, надо помнить о влиянии мелководья. Близость грунта начинает сказываться при отношении глубины моря к осадке в пределах 4-5, а при отношении в 1,5 – период качки увеличивается более чем на 20%. После определения периода бортовой качки судна метацентрическая высота может быть определена по формулам:

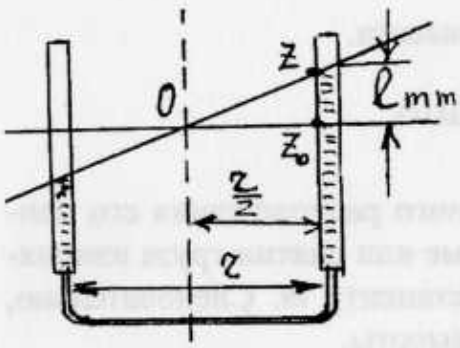


Рис. 31

$$h = 4c^2 \cdot \frac{B^2}{\tau_0^2}; \qquad h = \left(\frac{C \cdot B}{\tau_0}\right)^2,$$

где τ_0 – период бортовой качки судна;

B – ширина судна;

C – эмпирический коэффициент, который выбирается в зависимости от типа судна (грузовое судне порожнем – 0,81, в грузу – 0,78), либо из формулы

$$C = 0{,}7487 + 0{,}0456\, B/d_{cp} - 0{,}000864\, L,$$

При перевозке лесных грузов, учитывая, что метод определения метацентрической высоты по периоду бортовой качки недостаточно точен, рекомендуется с окончанием погрузки определить h способом кренования с помощью крен-балласта, имеющего определенную массу, по формуле

$$h = 57.3^0 \cdot \frac{P \cdot l}{\Delta \cdot \theta},$$

где P – масса крен-балласта в тоннах;

l – расстояние ЦТ крен-балласта от диаметральной плоскости;

Δ – водоизмещение судна в тоннах;

θ – угол крена в градусах.

При погрузке леса на палубу, когда высота каравана достигает примерно 3/4 от расчетной, рекомендуется проверять остойчивость по выше приведенной формуле, а вместо крен-балласта можно использовать строп леса, масса которого известна.

Приведенная формула дает довольно точный результат, если для определения угла крена используется жидкостный кренометр, где угол крена снимается не в градусах, а в линейных единицах и затем переводится в градусы.

Из прямоугольного треугольника *OZZo* получаем:

$$tg\,\theta = \frac{2 \cdot l}{r} = \frac{2 \cdot (Z - Z_0)}{r}$$

Учитывая, что при перевозке лесного груза всегда известно зна-

чение допустимой метацентрической высоты $h_{доп}$, которая устанавливается в ИНФОРМАЦИИ либо ИНСТРУКЦИЕЙ, можно заранее рассчитать угол крена, при котором следует прекратить погрузку

$$\theta^0 = 57^\circ.3 \cdot \frac{P \cdot l}{\Delta \cdot h_{доп}},$$

где $h_{доп}$ – допустимая метацентрическая высота.

ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА

1. ПРИЕМ ИЛИ СНЯТИЕ ГРУЗА

Остойчивость судна зависит от взаимного расположения его центра тяжести и центра величины. При приеме или снятии груза изменяет свое положение G,C и поперечный метацентр m. Следовательно, изменяется и значение метацентрической высоты.

Изменение метацентрической высоты h, при приеме или снятии малого количества груза (в пределах 10–15% от массового водоизмещения), определяется по формуле:

$$\delta h = \frac{P}{\Delta + P} \cdot \left(d + \frac{P}{200 \cdot q} - Z_p - h \right);$$

$$\delta h = \frac{P}{\Delta + P} \cdot \left(d + \frac{\delta d}{2} - Z_p - h \right),$$

где Δ – водоизмещение судна до грузовых операций;

P – масса груза (при погрузке со знаком плюс, а при выгрузке со знаком минус);

d – средняя осадка в метрах до начала грузовых операций;

δd – изменение средней осадки в результате грузовых операций;

q – число тонн на один сантиметр осадки;

Z_p – расстояние от ЦТ груза до основной плоскости;

h – метацентрическая высота до начала грузовых операций.

Новое значение метацентрической высоты h' получаем прибавлением поправки с тем знаком, который получаем при решении

$$h' = h + \delta h$$

Если центр тяжести принимаемого груза не совпадает с диаметральной плоскостью судна, его прием приведет к посадке судна с креном

$$\theta^0 = 57.3^0 \cdot \frac{P \cdot Y}{(\Delta + P) \cdot (h + \delta h)},$$

где Y – расстояние между ЦТ груза и диаметральной плоскостью.

2. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРУЗА ПО ВЕРТИКАЛИ

Допустим, что на судне сидящем, на ровный киль и находящемся в равновесии переместили груз на расстояние l_z снизу вверх, (рис. 32).

Так как в данном случае водоизмещение судна не изменяется, то первое условие равновесия судна будет соблюдено

$$\gamma \nabla = P .$$

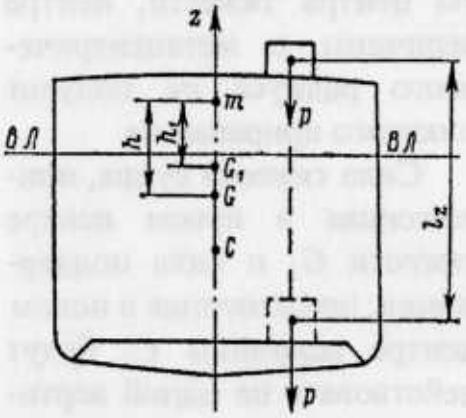


Рис. 32. Перемещение груза по вертикали

Но от перемещения груза центр тяжести G переместится в точку G_1, находящуюся на одной вертикали с прежним положением центра тяжести G, а сама вертикаль пройдет, как и прежде, через центр величины C.

Тем самым будет соблюдено второе условие равновесия

$$X_c = X_G .$$

Следовательно, при вертикальном перемещении груза, судно не изменит своего положения равновесия, а положение центра величины C и метацентра m останутся неизменными.

В данном случае переместится только центр тяжести судна из точки G в точку G_1 и в нашем случае, метацентрическая высота $h = m \cdot G$ изменится на величину $\delta h = GG_1$, имея определенный знак (в данном случае на уменьшение).

Следовательно, новое значение поперечной метацентрической высоты будет равно:

$$h_1 = h \pm \frac{P \cdot l_Z}{\Delta}$$

где знаки: (–) – перемещение груза вверх.
(+) – перемещение груза вниз;

Из этого выражения следует, что изменение остойчивости пропорционально произведению массы груза на величину его перемещения по высоте.

3. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРУЗА В ПОПЕРЕЧНО-ГОРИЗОНТАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Перемещение груза в поперечно-горизонтальном направлении вызовет крен судна и смещение ЦТ судна в направлении параллельном

линии перемещения груза. Допустим, мы переместили груз слева направо (рис. 33).

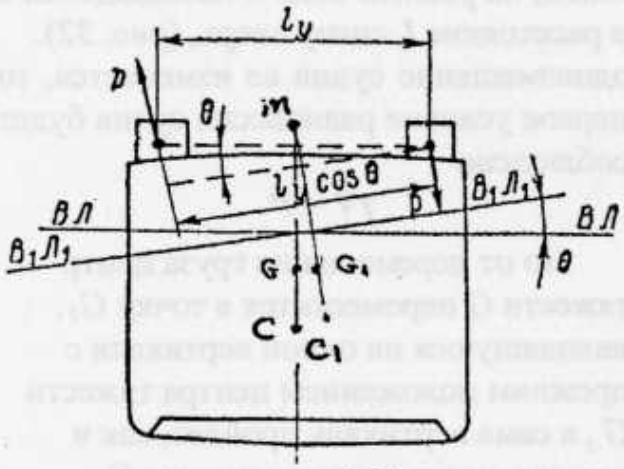


Рис. 33

Начальная поперечная остойчивость при этом не изменится, так как аппликаты центра тяжести, центра величины и метацентрического радиуса не получат никакого приращения

Сила тяжести судна, приложенная в новом центре тяжести G_1 и сила поддержания, приложенная в новом центре величины C_1 будут действовать по одной вертикали, перпендикулярной новой ватерлинии В1Л1.

Судно принимает новое положение равновесия, накренившись на угол θ. Момент силы, который появляется в результате перемещения груза поперек судна, можно определить из следующего выражения

$$M_{кр} = P \cdot l_y \cdot \cos\theta$$

Восстанавливающий момент можно определить по метацентрической формуле остойчивости:

$$M_в = \overline{\Delta}\, h \cdot \sin\theta$$

Судно, накренившись от перемещения груза на угол θ, будет находиться в равновесном положении под действием этой измененной системы сил, поэтому кренящий и восстанавливающий моменты также будут равны

$$M_{кр} = M_в, \quad \text{либо} \quad P \cdot l_y \cdot \cos\theta = \overline{\Delta} \cdot h \cdot \sin\theta$$

Решая это уравнение относительно угла θ, получим формулу для определения угла крена при поперечном перемещении груза

$$tg\,\theta = \frac{P \cdot l_y}{\overline{\Delta} \cdot h}$$

Поскольку угол крена θ мал, последнее выражение можно записать в виде

$$\theta = \frac{P \cdot l_y}{\overline{\Delta} \cdot h}$$

Приведенной формулой пользуются при углах крена не более 0 – 15°.

4. ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА ПОДВЕШЕННЫХ ГРУЗОВ

При рассмотрении этого вопроса принимаем допущение, что на судне в точке 0 , на расстоянии l_y от диаметральной плоскости, подвешен груз P (рис. 34).

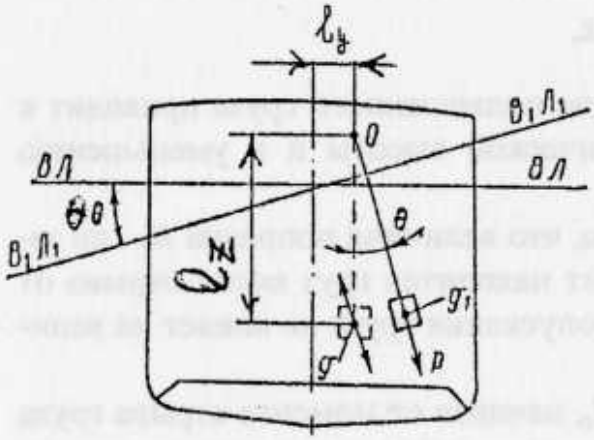


Рис. 34. Влияние на остойчивость подвешенного груза

Если этот груз закрепить неподвижно в точке g, то под действием этого груза возникает кренящий момент, определяемый по формуле $M_{кр} = P \cdot l$, при этом сам груз остается неподвижно на месте и начальная остойчивость судна не изменяется.

Если же груз не закрепить, то при крене судна на угол θ, этот груз переместится в сторону крена из точки g в точку g_1 и линия подвеса Og_1 примет положение, перпендикулярное новой ватерлинии В1Л1, а угол gOg_1 будет равен углу крена судна θ.

Перемещение груза P на подвеске, создает дополнительный кренящий момент

$$\delta M_{кр} = P \cdot l_Z \cdot \sin\theta ,$$

где l_Z – возвышение точки подвеса О над центром тяжести груза g .

И так как этот кренящий момент действует в сторону крена судна, то восстанавливающий момент уменьшается на величину $\delta M_{кр}$.

Имея значение восстанавливающего момента, которое находится по формуле:

$$M_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot \sin\theta$$

и, зная значение дополнительного кренящего момента, мы можем найти новое значение восстанавливающего момента:

$$M'_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot \sin\theta - P \cdot l_Z \cdot \sin\theta = \overline{\Delta} \cdot \left(h - \frac{P \cdot l_Z}{\overline{\Delta}} \right) \cdot \sin\theta$$

Выражение, записанное в данной формуле в СКОБКАХ, представляет новое значение метацентрической высоты судна при наличии подвешенного груза, т.е.

$$h_1 = h - \frac{P \cdot l_z}{\Delta}$$

Если выразить массу подвешенного груза и водоизмещение судна в тоннах, то поправка к метацентрической высоте на влияние подвешенного груза будет иметь вид:

$$\delta h = \frac{P \cdot l_z}{\Delta}$$

Таким образом, наличие на судне подвешенного груза приводит к уменьшению исходной метацентрической высоты и к уменьшению восстанавливающего момента.

Из приведенной формулы видно, что величина поправки δh . не зависит от того, где в данный момент находится груз после отрыва от палубы. Сам процесс подъема или опускания груза не влияет на величину δh .

Величина δh зависит от длины l_z, начиная от момента отрыва груза от палубы, т.е. аналогично перемещению груза в точку подвески по вертикали.

Такое положение необходимо учитывать на судне при подъеме тяжелого груза собственными средствами и при перевозке подвешенных грузов.

5. ЗАТОПЛЕНИЕ СУДОВЫХ ОТСЕКОВ ЖИДКИМ ГРУЗОМ

В практической деятельности может встретиться 3 вида затопления судовых отсеков:

1-й вид. Объем отсека затоплен полностью, свободной поверхности нет, отверстие, через которое произошло затопление, заделано. Такое затопление будет аналогично приему на судно твердого груза и его влияние на остойчивость судна рассчитывается по формуле:

$$\delta h = \frac{P}{\Delta + P} \cdot \left(d + \frac{P}{200 \cdot q} - Z_p - h \right)$$

2-й вид. Объем отсека заполнен частично, отверстие, через которое произошло затопление, заделано, имеется свободная поверхность жидкости.

В этом случае изменение остойчивости зависит от наличия свободной поверхности жидкого груза и ее влияние на остойчивость рассчитывается по формуле:

$$\delta h = \frac{P}{\Delta + P} \cdot \left(d + \frac{\delta d}{2} - Z_p - h - \frac{\rho \cdot k \cdot l \cdot b^3}{12 \cdot \Delta} \right),$$

где P – масса влившейся жидкости;
Δ – водоизмещение судна в т;
d – осадка судна до приема жидкого груза;
q – число тонн на 1 см осадки;
h – метацентрическая высота до приема жидкого груза;
Z_p – отстояние ЦТ принятого жидкого груза от киля в м;
δd – изменение осадки судна;
ρ – плотность жидкости, т/м^3;
k – коэффициент табличный.

При производстве расчетов применяются табличные данные:

Таблица 1

ПЛОТНОСТЬ МОРСКОЙ ВОДЫ

Море	$\rho_{т/м^3}$	
	лето	зима
Азовское	1,003	1,008
Балтийское	1,010	1,012
Баренцево	1,027	1,028
Белое	1.018	1,020
Берингово	1.023	-------
Каспийское	1,005	1,010
Охотское	1.025	-------
Черное	1,010	1,013
Японское	1,021	1,028
Тихий океан	1,026	
Атлантический океан	1,024	

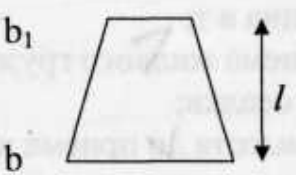
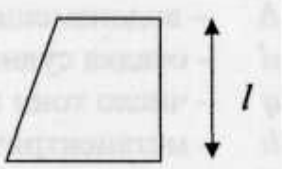
Таблица 2

ПЛОТНОСТЬ ДРУГИХ ЖИДКИХ ГРУЗОВ

Наименование	Плотность, т/м3
Бензин	0,71 - 0,76
Дизельное топливо	0,86 - 0,88
Керосин	0,78 - 0,88
Мазут	0.89 - 0,92
Моторное топливо	0,86 - 0,90

$к$ – табличный коэффициент выбирается по табл. 3.

Таблица 3

$\beta = \frac{b_1}{b}$	Форма отсека (вид сверху)	
		
	k	k
1.0	0,0833	0.0833
0,9	0,0716	0,0780
0.8	0,0615	0.0716
0,7	0,0527	0,0678
0,6	0,0453	0,0652
0,5	0,0390	0,0636
0,4	0,0338	0,0623
0,3	0,0295	0,0605
0.2	0,0260	0,0559
0.1	0,0232	0,0465
0,0	0,0208	0,0278

l – длина затопленного отсека.

b_1, b – ширина затопленного отсека.

При этом нужно учитывать, что в затопленном отсеке может быть груз или оборудование. В этом случае необходимо учитывать коэффициент проницаемости:

$$\mu = \frac{V_П - V_{гр}}{V_П}$$

$V_П$ – объем помещения, $м^3$;

$V_{гр}$ – объем груза, $м^3$.

Можно воспользоваться следующим значением коэффициентов проницаемости μ:

Помещения, занятые механизмами, электростанциями	0,85
Жилые помещения и кладовые запасов	0,95
Пустые цистерны, не рефрижераторные трюма	0,98
Порожние рефрижераторные трюма	0,93
Автомобили без упаковки	0,95

Апатиты	0,18
Бокситы	0,26
Бочки	0,37-0.52
Бумага в рулонах	0,23
Джут	0,45-0,69
Катанка в бухтах	0,85
Каучук в кипах	0,09
Консервы в ящиках	0,30
Лес	0,35
Марганцевая руда	0,16
Масло в ящиках	0,20
Мука в мешках	0,29
Пробка в кипах	0,24
Рис в мешках..	0,43
Сельскохозяйственные орудия	0,82-0,91
Сталь листовая.	0,68-0,74
Сталь прутковая	0,56
Стальные трубы	0,96-0,99
Хлопок	0,15-0,18
Цветной металл в чушках	0,42-0,60
Целлюлоза в кипах	0,37
Цемент в мешках	0,41
Чай в ящиках	0,81
Чугун в чушках	0,71

3-й вид. Объем отсека заполнен частично, имеется свободная поверхность и отсек сообщается с забортной водой.

При таких условиях для относительно небольших отсеков изменение метацентрической высоты определяется по формуле:

$$\delta h = \delta Z_c + \delta r = \frac{P}{\Delta}\left\{ d + \frac{\delta d}{2} - Z_p - \frac{\rho\left[i_x + Y_s^2 \cdot \left(1 + \frac{s}{S-s}\right)\right]^2}{P} \right\},$$

где i_x – момент инерции затопленного отсека /M^4/ который определяется по формуле: $i_x = k \cdot l \cdot b^3$

k – безразмерный коэффициент из таб. 3;

l и b – размеры поврежденного отсека;

Y_s – расстояние между центром площади поврежденного отсека и диаметральной плоскостью судна, *м.*;

S – площадь затопленного отсека, $м^2$;

S – площадь действующей ватерлинии $м^2$, определенная по формуле: $S = \alpha \cdot L \cdot B$

α – коэффициент полноты площади ватерлинии: $\alpha = \dfrac{S}{L \cdot B}$

6. ВЛИЯНИЕ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКИХ ГРУЗОВ

На судах всегда имеется жидкий груз. Если отсек судна заполнен жидким грузом полностью, то при накренении судна он будет вести себя как твердый груз.

Если же в отсеке судна имеется свободная поверхность (отсек заполнен жидким грузом не полностью), то при накренении судна эта жидкость перельется в сторону пониженного борта, а поверхность жидкости всегда будет параллельна ватерлинии.

Центр тяжести этой жидкости переместится из точки K в точку K' (рис. 35).

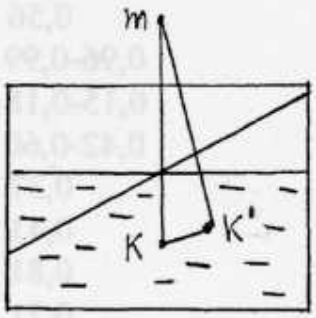


Рис. 35

В результате этого перемещения появится дополнительный кренящий момент:

$$M_{кр.доп} = P \cdot \overline{KK'},$$

где $\overline{KK'} = \overline{mK} \cdot Sin\,\theta$

Величина mK, по аналогии с метацентрическим радиусом, определяется по формуле:

$$\overline{mK} = \frac{i_x}{V}$$

P – масса жидкого груза в тоннах;

V – объем жидкости;

i_x – момент инерции свободной поверхности жидкого груза относительно продольной оси в (M^4);

ρ – плотность жидкости.

Величина $\overline{KK'}$ находится из

$$\overline{KK'} = \frac{i_x}{V} \cdot Sin\theta$$

Возникающий дополнительный кренящий момент определяется по формуле:

$$M_{кр.доп} = V \cdot \rho \cdot \frac{i_x}{V} \cdot Sin\,\theta = \rho \cdot i_x \cdot Sin\,\theta$$

Из этого следует, что восстанавливающий момент с учетом действия момента свободной поверхности $M_в'$ находим по формулам:

$$M_в' = M_в + M_{в.доп}$$

$M_в$ – восстанавливающий момент без учета свободной поверхности

$M_в = \Delta \cdot h \cdot Sin\,\theta$.

$$M_в' = \Delta \cdot h' \cdot Sin\theta$$

h' – метацентрическая высота с учетом свободной поверхности

$h' = h + \delta h$.

$$\delta h = -\frac{i_x \cdot \rho}{\Delta}, \qquad \text{т.е. } h' = h + \frac{i_x \cdot \rho}{\Delta};$$

$$M_{в.доп} = \Delta \cdot h' \cdot Sin\theta; \qquad M_в' = \Delta \cdot h \cdot Sin\theta + i_x \cdot \rho \cdot Sin\theta$$

Поправка метацентрической высоты от влияния свободной поверхности имеет всегда ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ знак.

Момент инерции свободной поверхности i_x зависит от формы помещений и определяется:

– для прямоугольных отсеков $i_x = \frac{l \cdot b^3}{12}$;

– для непрямоугольных отсеков и любых пиков $i_x = \frac{l \cdot b^3}{36}$;

Из этого значение поправка метацентрической высоты будет:

– для прямоугольных отсеков $\delta h = -\frac{\rho \cdot l \cdot b^3}{12 \cdot \Delta}$;

– для пиков $\delta h = -\frac{\rho \cdot l \cdot b^3}{36 \cdot \Delta}$

Из приведенных формул видно, что величина поправки метацентрической высоты δh не зависит от количества жидкого груза в отсеках, а зависит от размерения отсеков и особенно его ширины, поэтому в обычных условиях необходимо обращать внимание на наличие воды в льялах и под плитами машинно-котельного отделения.

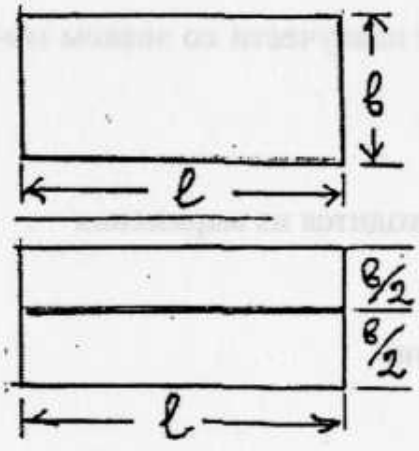


Рис. 36

Если отсек заполнить на 97-100%, то влияние свободной поверхности будет отсутствовать.

А если отсек по ширине разделить пополам (рис. 36), то влияние свободной поверхности сразу уменьшиться в 4 раза.

Если величина момента инерции i_x отсека до деления определяется

$$i_x = \frac{l \cdot b^3}{12},$$

то после деления отсека по ширине пополам i_x будет определяться по формуле:

$$i_x = 2 \cdot \frac{l \cdot (b/2)^3}{12} = \frac{2l \cdot b^3/8}{12} = \frac{l \cdot b^3}{48}.$$

Существует ряд рекомендации при наличии жидкого груза:
– заполнять отсеки рекомендуется на 95% и более;
– расход жидких запасов начинать из верхних емкостей;
– при балластировке не принимать воду сразу в несколько танков;
– избегать балластировки судна в рейсе.

7. ПОСАДКА НА ГРУНТ

При посадке на грунт изменение остойчивости судна обусловлено изменением осадки, реакцией мели (сила с которой медь будет давить на корпус судна) и координатами места этой реакции. Реакция мели на судно равносильна снятию груза в точке касания грунта (район днища), а снятие груза с днища вызывает резкое смещение вверх центра тяжести судна, т.е. уменьшение остойчивости.

После посадки судна на отмель происходит изменение:
– осадки судна на величину δd;
– водоизмещения на величину P.

$$\delta d = \frac{d_н + d_к}{2} - \frac{d'_н + d'_к}{2}; \qquad P = \gamma \cdot \delta\nabla .$$

Реакция грунта на корпус R равна силе плавучести со знаком минус (–) и выражается через формулу:

$$R = \gamma \cdot \delta\nabla = \gamma \cdot S \cdot \delta d$$

где S – площадь ватерлинии, которая находится из выражения

$$S = \alpha \cdot L \cdot B \text{, где:}$$

α – коэффициент полноты ватерлинии;
L, B – длина и ширина судна.

При расчетах нам также необходимо знать координаты точки

реакции мели K, т.е. X_R; Y_R; Z_R.

Учитывая, что центр тяжести условно снятого груза расположен на днище, значение, Z_R принимаем равное нулю $Z_R = 0$.

Изменение остойчивости при посадке на грунт рассчитывается по формуле:

$$\delta h = \frac{P}{\Delta + P}\left(d - \frac{\delta d}{2} - h - Z_R\right)$$

в которой вместо P подставляют значение $(-R)$, т.е.

$$\delta h = \frac{-R}{\Delta + R}\left(d + \frac{\delta d}{2} - h - Z_R\right).$$

8. ПРИ ПЕРЕХОДЕ В ВОДУ ДРУГОЙ СОЛЕНОСТИ

Переход судна в воду другой солености (другой плотности) приведет к изменению его осадки, а следовательно к изменению положения центра величины C и следовательно, к изменению Z_m.

В этих условиях изменение метацентрической высоты рассчитывается

$$\delta h = \frac{\delta\rho}{\rho}(Z_m - d),$$

где $\delta\rho$ – разность объемных масс воды большей и меньшей солености в т/м^3;

d, Z_m – осадка и возвышение метацентра при первом положении судна.

$$\delta\rho = \rho - \rho'$$

ρ – объемная масса воды большей плотности в т/м^3.

ОСТОЙЧИВОСТЬ НА БОЛЬШИХ УГЛАХ КРЕНА

При рассмотрении остойчивости на малых углах крена (до 15°) – начальной остойчивости, в основу были положены три допущения:

– при накренении судна центр величины C перемещается по дуге окружности с центром в точке m – метацентр;

– равнообъемные ватерлинии пересекаются по прямой, проходящей через центр тяжести площади ватерлинии, расположенной в диаметральной плоскости судна;

– значение поперечного метацентрического радиуса r остается не-

изменным.

Однако в процессе эксплуатации судна его наклонения часто превышают углы крена в 15°. В этих условиях применение трех выше приведенных допущений будет приводить к неверным результатам.

По этой причине была разработана теория остойчивости судов на больших углах крена.

При больших углах крена принимается, что:

– судно нельзя считать прямостенным;

– симметрия переменных ватерлиний нарушается;

– оси пересечения двух равнообъемных ватерлиний смещаются;

– перемещение центра величины C происходит по кривой переменной кривизны;

– поперечный метацентр m не остается в постоянной точке на диаметральной плоскости судна, а смещается в новую точку m_o;

– положение центра тяжести площади действующей ватерлинии определяется только путем вычисления фактического положения равнообъемных ватерлиний.

Таким образом, при крене судна форма площади действующей ватерлинии изменяется, ее продольная центральная ось наклонения смещается относительно диаметральной плоскости, что приводит к переменности величины метацентрического радиуса, а значение момента инерции J_x будет различным (своим) для каждой действующей ватерлинии.

Из этого вытекает, что на больших углах крена метацентрическая высота h уже не может служить критерием поперечной остойчивости судна, а значит формулой

$$M_в = \overline{\Delta} \cdot h \cdot Sin\theta$$

куда входит величина h, пользоваться нельзя.

Мерой остойчивости судна на больших углах крена будет являться восстанавливающий момент, который будет определяться по формуле:

$$M_в = \overline{\Delta} l_{cm}$$

Поэтому основная задача расчета остойчивости при больших углах крена сводится к определению величины плеча статической остойчивости l_{cm} восстанавливающего момента, в зависимости от угла крена θ.

Рассмотрим поперечное равнообъемное наклонение судна на угол θ, на величину которого не накладываются какие-либо ограничения (рис. 37).

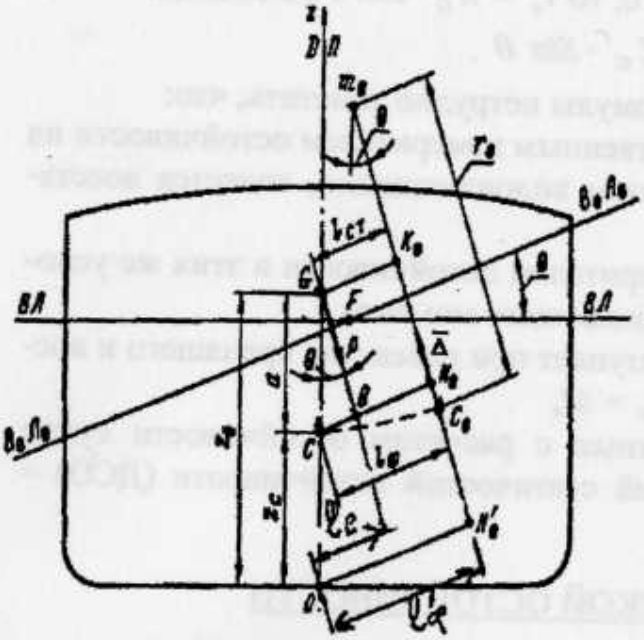


Рис. 37. Определение плеча остойчивости

Центр тяжести судна G при этом не изменит своего положения, а центр величины C переместится в сторону наклонения и займет положение в точке C_θ.

Метацентр m, также, займет новое положение в точке m_θ.

Действующая на судно сила тяжести P и плавучести $\overline{\Delta}$, приложенные в точках G и C_θ, направлены по нормалям к ватерлинии $B_\theta Л_\theta$ и образуют пару сил с плечом $\overline{GK_\theta}$, значение которого уже нельзя выразить через поперечную метацентрическую высоту.

Из данного положения следует, что восстанавливающий момент можно представить как разность моментов силы плавучести $\overline{\Delta}$ и силы тяжести P относительно первоначального положения центра величины C, т.е.

$$M_в = \overline{\Delta} \cdot \overline{GK_\theta} = \overline{\Delta} \cdot \overline{CN_\theta} - \overline{\Delta} \cdot \overline{CB} .$$

Учитывая, что $\overline{CB} = \alpha \cdot Sin\,\theta = (Z_G - Z_C) \cdot Sin\,\theta$ и обозначив плечо $\overline{GK_\theta}$ через l_{cm}, а плечо $\overline{CN_\theta}$ через l_ϕ получим, что

$$M_в = \overline{\Delta} \cdot l_{cm} = \overline{\Delta} \cdot l_\phi - \overline{\Delta}(Z_G - Z_C) \cdot Sin\,\theta = \overline{\Delta}\left[l_\phi - (Z_G - Z_C) \cdot Sin\,\theta\right],$$

откуда получим:

$$l_{cm} = l_\phi - (Z_G - Z_C) \cdot Sin\,\theta .$$

Приняв обозначения:

l_ϕ – плечо остойчивости формы;

$l_в = (Z_G - Z_C) \cdot Sin\,\theta$ – плечо остойчивости веса;

$\overline{\Delta} \cdot l_\phi$ – момент остойчивости формы;

$\overline{\Delta}(Z_G - Z_C) \cdot Sin\,\theta$ – момент остойчивости веса.

В практической деятельности иногда за величину плеча формы l_ϕ принимают длину перпендикуляра $\overline{ON'_\theta}$, опущенного из начала координат "О".

А так как в этом случае $Z_c = 0$, то $l_в = Z_G \cdot Sin\,\theta$, а отсюда:

$$l_{ст} = l_ф - Z_G \cdot Sin\,\theta\ .$$

Анализируя полученные формулы нетрудно заметить, что:

– АБСОЛЮТНЫМ количественным измерителем остойчивости на больших углах крена, при данном водоизмещении, является восстанавливающий момент;

– ОТНОСИТЕЛЬНЫМ измерителем остойчивости в этих же условиях является плечо восстанавливающего момента.

Статическое равновесие наступает при равенстве кренящего и восстанавливающего моментов $M_{кр} = M_в$

Для решения задач связанных с расчетом остойчивости судна обычно пользуются диаграммой статической остойчивости (ДСО) – диаграмма Рида.

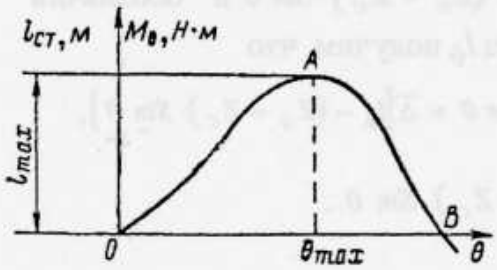
ДИАГРАММА СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Диаграммой статической остойчивости ДСО называют кривую зависимости восстанавливающего момента от угла крена судна.

Диаграмма статической остойчивости имеет вид кривой с ярко выраженным максимумом и построенная в прямоугольных координатах.

При построении ДСО по оси абсцисс откладывают углы крена θ (вправо положительные, влево отрицательные), а по оси ординат откладывают значения восстанавливающего момента ($M_в$), или плеча остойчивости.

На ДСО можно отметить три точки, характерные для неподвижного судна, обладающего положительной остойчивостью (рис. 38):



– точка *0* – начало координат, которая определяет положение устойчивого равновесия;

– точка *A*, где плечо статической остойчивости и восстанавливающего момента $l_{ст}$, $M_в$; имеют максимальное значение;

– точка *B*, определяющая так называемый угол заката диаграммы.

Ввиду симметрии судна относительно диаметральной плоскости (ДП) обычно ограничиваются построением только одной половины диаграммы для положительных значений углов крена.

Мы знаем, что равновесие накрененного судна наступает при ра-

венстве кренящего и восстанавливающего моментов $M_{кр} = M_в$.

Чтобы воспользоваться ДСО для определения угла крена, возникающего под действием заданного кренящего момента $M_{кр}$, необходимо найти плечо кренящего момента $l_{кр}$:

$$l_{кр} = \frac{M_{кр}}{\Delta}$$

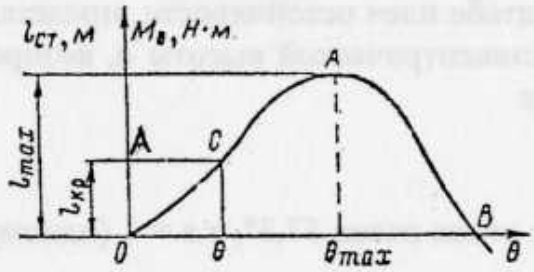


Рис. 39. Диаграмма статической остойчивости

Плечо кренящего момента $l_{кр}$ откладывают в принятом масштабе по оси ординат диаграммы и проводят горизонтальную линию АС до пересечения с кривой диаграммы статической остойчивости (рис. 39).

В точке пересечения этой горизонтальной прямой с кривой ДСО (т. *С*) восстанавливающий момент $M_в$ станет равным кренящему моменту $M_{кр}$ и следовательно судно будет находиться в положении равновесия в накрененном положении. Опустив перпендикуляр из точки *С* на ось абсцисс, определяем угол крена от приложенного кренящего момента.

Диаграмма статической остойчивости ДСО строится для каждого конкретного судна и соответствует определенному водоизмещению и положению его центра тяжести по высоте.

Если у судна изменяется водоизмещение или аппликата центра тяжести, то ДСО приобретает другой вид и это обстоятельство нужно всегда иметь в виду.

Начальный участок кривой ДСО представляет собой прямую наклонную линию, что можно вывести из зависимости:

$$M_в = \Delta \cdot h \cdot \theta, \quad \text{или} \quad M_в = \Delta \cdot l_{ст}, \text{ откуда } l_{ст} = h \cdot \theta.$$

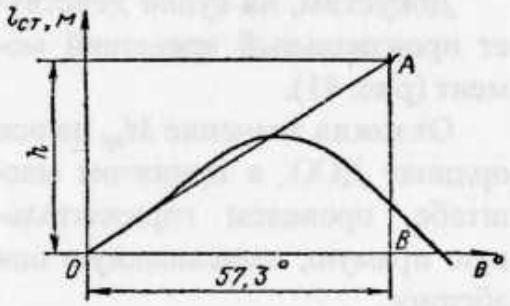


Рис. 40. Определение поперечной метацентрической высоты по диаграмме статической остойчивости

Из этого вытекает, что на малых углах крена метацентрическая высота h – есть величина постоянная и поэтому зависимость между $l_{ст}$ и углом крена θ является линейной и изображается прямой линией.

Исходя из этого, по диаграмме статической остойчивости (рис.40) мы можем определить значение начальной метацентрической высоты, для чего на ДСО по оси абсцисс откладываем отрезок равный одному

радиану (57,3°) и из точки *B* восстанавливаем перпендикуляр к оси абсцисс.

Из начала координат ДСО (точка *0*) проводим прямую в продолжение начального линейного участка значения кривой ДСО до ее пересечения с перпендикуляром, восстановленным из точки *B*. Отрезок перпендикуляра *BA*, взятый в масштабе плеч остойчивости, представляет собой значение начальной метацентрической высоты *h*, которое получаем из треугольника *OAB*, где

$$tg\ \alpha = \frac{AB}{OB}.$$

А так как катет *OB* в масштабе углов равен 57,3°, т.е.= 1 (одному) радиану, то

$$tg\,\alpha = \frac{AB}{1} = AB\ .$$

В пределах начального участка ДСО, где касательная совпадает с кривой ДСО, имеет место зависимость

$$tg\ \alpha = \frac{l_{cm}}{\theta}\ ,$$

подставив $l_{cm} = h \cdot \theta$ найдем, что $tg\ \alpha = h$

Приравняв $tg\ \alpha = \frac{AB}{1}$ и $tg\,\alpha = \frac{l_{cm}}{\theta}$, т.е $\frac{AB}{1} = h$, получаем, что $AB = h$ и доказывается значение метацентрической высоты *h*.

Однако графическое определение метацентрической высоты по ДСО не рекомендуется, так как проведение касательной к начальному участку кривой ДСО не может быть выполнено с необходимой точностью.

При рассмотрении зависимостей кривой ДСО выясняется, что ВОСХОДЯЩАЯ часть кривой ДСО характеризует устойчивое положение равновесия судна, а НИСХОДЯЩАЯ - неустойчивое равновесие судна.

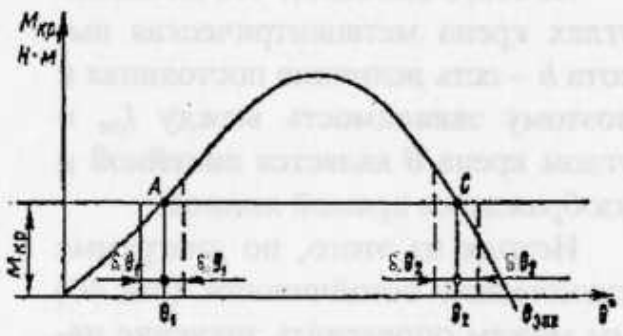


Рис. 41. Свойства диаграммы статической остойчивости

Допустим, на судно действует произвольный кренящий момент (рис. 41).

Отложив значение $M_{кр}$ на оси ординат ДСО, в принятом масштабе, проведем горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс.

Эта прямая пересечет ДСО в двух точках *A* и *C*. Поскольку в этих точках восстанавливающий

момент $M_в$ будет равен кренящему $M_{кр}$ судно в обоих случаях находится в равновесных положениях с углами крена θ_1 и θ_2.

При положении в точке A, определяемом углом крена θ_1, судно находится в положении устойчивого равновесия, т.к. при увеличении крена на $\delta\theta_1$ восстанавливающий момент будет больше кренящего момента $M_в > M_{кр}$ и судно вернется в исходное положение в точку A, а при уменьшении угла крена на $\delta\theta_1$, кренящий момент будет больше восстанавливающего момента $M_{кр} > M_в$, и судно вновь вернется в точку A.

Положение судна в точке C с углом крена θ_2, характеризует неустойчивое положение судна, т.к. при наклонении судна на $\delta\theta_2$ в большую сторону кренящий момент будет больше восстанавливающего $M_{кр} > M_в$ и судно, предоставленное самому себе опрокинется.

При уменьшении угла крена на $\delta\theta_2$ кренящий момент будет меньше восстанавливающего момента $M_{кр} < M_в$ и судно не вернется в точку C, а будет стремиться перейти в положение устойчивого равновесия, точку A.

Практически судно может плавать в накрененном положении, под действием кренящего момента, без опасности опрокинуться, только при углах крена меньших максимальным углам крена θ_{max}, которые соответствуют максимуму диаграммы статической остойчивости.

Предельным углом, до которого судно сохраняет способность возвратиться в исходное равновесное положение, является угол ЗАКАТА диаграммы статической остойчивости $\theta_{зак}$.

При угле крена, равном углу заката, судно находится в неустойчивом положении равновесия. Теоретически судно в этом положении может пребывать довольно долго, пока на него не подействует внешняя сила.

ХАРАКТЕРНЫЕ ТИПЫ ДИАГРАММ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Как было ранее установлено, остойчивость судна тем больше, чем больше ординаты ДСО и чем дальше отстоят от начала координат углы, определяющие максимум и закат диаграммы.

Эти показатели формы диаграммы статической остойчивости определяются, прежде всего шириной судна, высотой водонепроницаемого надводного борта, наличием на верхней палубе водонепроницаемых надстроек и открытых отверстий в корпусе судна.

Влияние ширины судна на форму диаграммы статической остойчивости можно установить, рассмотрев пример с двумя гладкопалубными судами, которые отличаются шириной корпуса при одинаковом

водоизмещении, осадке, высоте надводного борта и аппликате центра тяжести.

Из приведенного на рис. 42 и построенных ДСО видно:

– судно II широкое, имеет наибольшую метацентрическую высоту, что обеспечивается увеличением метацентрического радиуса за счет ширины судна и имеет меньший угол заката за счет того, что увеличение ширины судна приводит к уменьшению угла входа кромки падубы в воду.

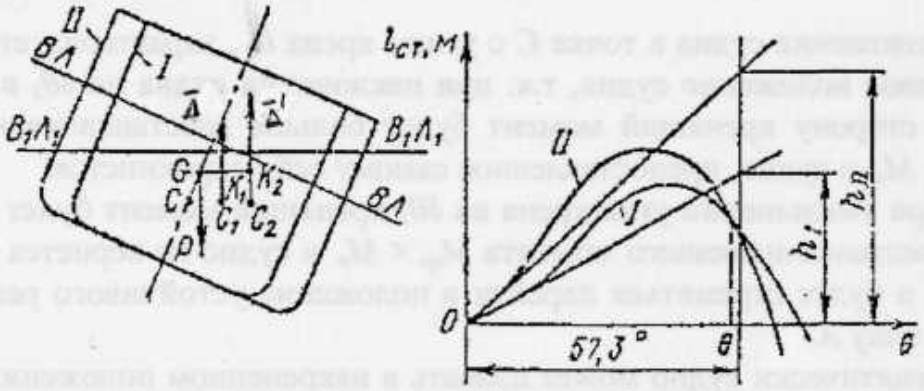


Рис.42. Влияние ширины судна на поперечную остойчивость

Таким образом, увеличение ширины судна влияет на поперечную остойчивость следующим образом:

– начальный участок ДСО становится более крутым - судно приобретает большую начальную остойчивость (большую метацентрическую высоту);

– ординаты диаграммы (плечи статической остойчивости) получаются большими;

– угол наступления максимума ДСО уменьшается;

– угол заката ДСО смещается в сторону уменьшения.

На форму диаграммы статической остойчивости оказывает влияние высота надводного борта.

Влияние ВЫСОТЫ надводного борта на форму ДСО можно установить, рассмотрев пример с двумя гладкопалубными судами, имеющими одинаковое водоизмещение, осадку, ширину, аппликату центра тяжести (рис.43). Разница этих судов только в высоте надводного борта. Поскольку увеличение высоты надводного борта не ведет к изменению размера площади действующей ватерлинии, то момент инерции этой площади J_x также не изменится. Указанное выше равновесие будет сохраняться до тех пор, пока кромка верхней палубы одного из судов не войдет в воду.

У судна II высота надводного борта больше, а значит угол входа верхней кромки палубы в воду также больше.

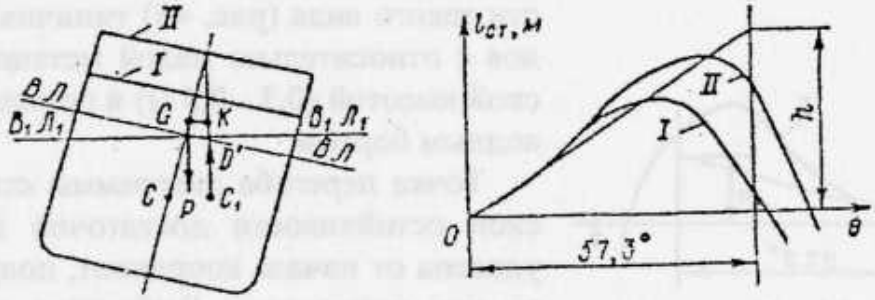


Рис. 43. Влияние высоты надводного борта на поперечную остойчивость

Из этого вытекает, что увеличение высоты надводного борта будет влиять на форму диаграммы статической остойчивости следующим образом:

– начальная поперечная остойчивость остается неизменной;
– ординаты ДСО (плечи статической остойчивости) будут больше;
– угол крена при наступлении максимума ДСО будет больше;
– угол заката ДСО смещается в сторону увеличения.

Характер влияния ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫХ надстроек на остойчивость судна аналогичен влиянию увеличения надводного борта. Ранний закат ДСО у низкобортных судов частично может быть устранен за счет развитых надстроек, расположенных на палубе.

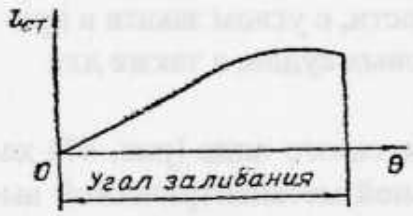


Рис. 44. Влияние отверстий в борту на форму диаграммы статической остойчивости

При наличии отверстий в борту, верхней палубе или надстройке, через которые вода может попасть во внутренние помещения судна, диаграмма статической остойчивости считается действительной до угла заливания (рис. 44).

При накренении судна на угол превышающий угол заливания, судно следует считать полностью утратившим остойчивость.

Диаграммы статической при этих углах крена остойчивости обрываются.

УГОЛ ЗАЛИВАНИЯ – угол крена, при котором происходит заливание водой внутренних помещений судна через отверстия, считающиеся открытыми или отверстия, которые могут быть открытыми в рабочем состоянии судна по условиям эксплуатации.

Наиболее характерные типы диаграмм статической остойчивости современных судов выглядят следующим образом:

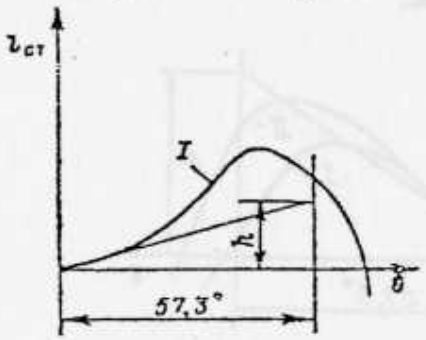


Рис. 45

1. Диаграмма статической остойчивости такого вида (рис. 45) типична для судов с относительно малой метацентрической высотой (0,3 - 0,5 м) и большим надводным бортом.

Точка перегиба диаграммы статической остойчивости достаточно далеко удалена от начала координат, получается так называемая *S*-образная кривая плеч остойчивости.

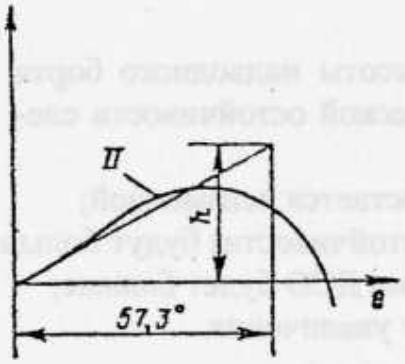


Рис. 46

Такая диаграмма статической остойчивости характеризуется малой остойчивостью на начальных углах крена, а при больших углах крена остойчивость судна достаточно большая за счет протяженности и площади диаграммы.

2. Диаграмма статической остойчивости такого вида (рис. 46) характерна для судов с умеренным значением начальной метавысоты (0,5 – 1,0 м).

При наличии сравнительно большого надводного борта эти суда обладают достаточной остойчивостью на больших углах крена.

Такие диаграммы статической остойчивости, с углом заката в пределах 60°–90°, характерны для многих грузовых судов, а также для крупных пассажирских судов.

3. Диаграмма статической остойчивости такого вида (рис. 47) характеризует судно с очень большой начальной метацентрической высотой при малом соотношении *L/B* и не достаточной высотой надводного борта

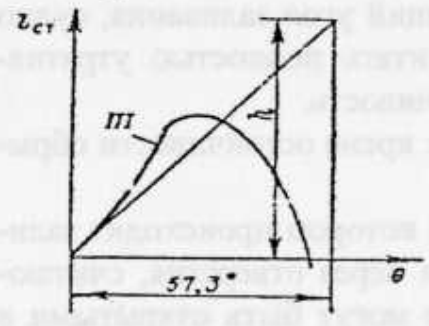


Рис. 47

При малой высоте надводного борта палуба судна начинает входить в воду уже при небольших углах крена, а при этом условии остойчивость судна будет быстро уменьшаться.

Такое судно, с избыточной начальной остойчивостью, будет обладать резкой бортовой качкой при недостаточной ос-

тойчивости на больших углах крена.

4. Диаграмма статической остойчивости такого вида (рис. 48) характеризует судно с отрицательной начальной метацентрической высотой (отрицательной начальной остойчивостью).

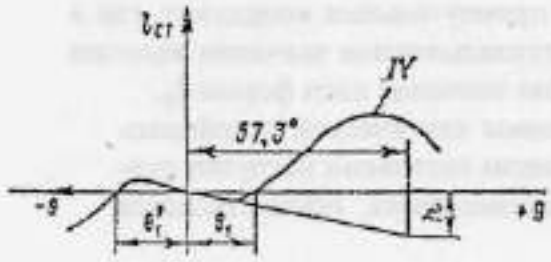


Рис. 48

Начальная часть диаграммы статической остойчивости проходит ниже оси абсцисс, а с увеличением угла наклонения судна кривая ДСО пересекает ось абсцисс и уходит в область положительных значений ординат плеч остойчивости.

5. Диаграмма статический остойчивости такого вида (рис.49) встречается не часто и характерна для судов с сильно развитой надстройкой. Такой тип ДСО принято называть ДСО с двумя максимумами.

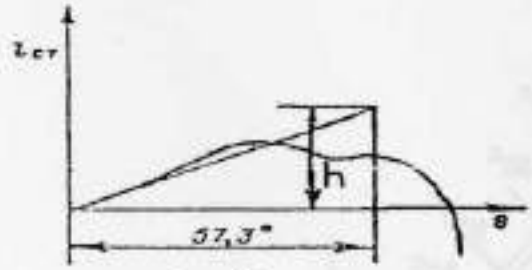


Рис. 49

Второй максимум ДСО возникает после того, как кромка верхней палубы вошла в воду и вода дошла до переборок водонепроницаемой части высокой надстройки.

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ КРИВЫЕ

В судовых условиях постоянно возникает необходимость производства расчета для оценки степени остойчивости судна.

Для производства расчетов и построения диаграммы статической остойчивости суда снабжаются различного рода вспомогательной документацией, интерполяционными таблицами и кривыми.

К числу такой вспомогательной документации относятся:

– пантокарены, или интерполяционные кривые плеч формы;

– универсальные диаграммы статической остойчивости.

Интерполяционные кривые и таблицы составляются еще в процессе проектирования судна на основании систематических расчетов.

ПАНТОКАРЕНЫ

Пантокарены представляют собой семейство кривых, ординаты которых выражают зависимость плеч остойчивости формы l_ϕ от объемного водоизмещения и углов крена.

Пантокарены обычно строятся на одном чертеже для ряда углов крена, которые находятся в пределах от 0° до 90° с интервалом в 10° для водоизмещений лежащих в пределах, представляющих практический интерес, т.е. от водоизмещения судна порожнем до водоизмещения в полном грузу.

Пантокарены строятся в системе прямоугольных координат, где в принятом масштабе по оси абсцисс откладываются значения величин водоизмещения судна, а по оси ординат значения плеч формы $l_ф$.

Практическое построение диаграммы статической остойчивости с помощью пантокарен, при заданном состоянии нагрузки судна, т.е. при заданном значении водоизмещения, осуществляется следующим образом:

– на оси абсцисс (рис. 50) откладываем точку *A*, соответствующую объемному водоизмещению при заданной средней осадке судна;

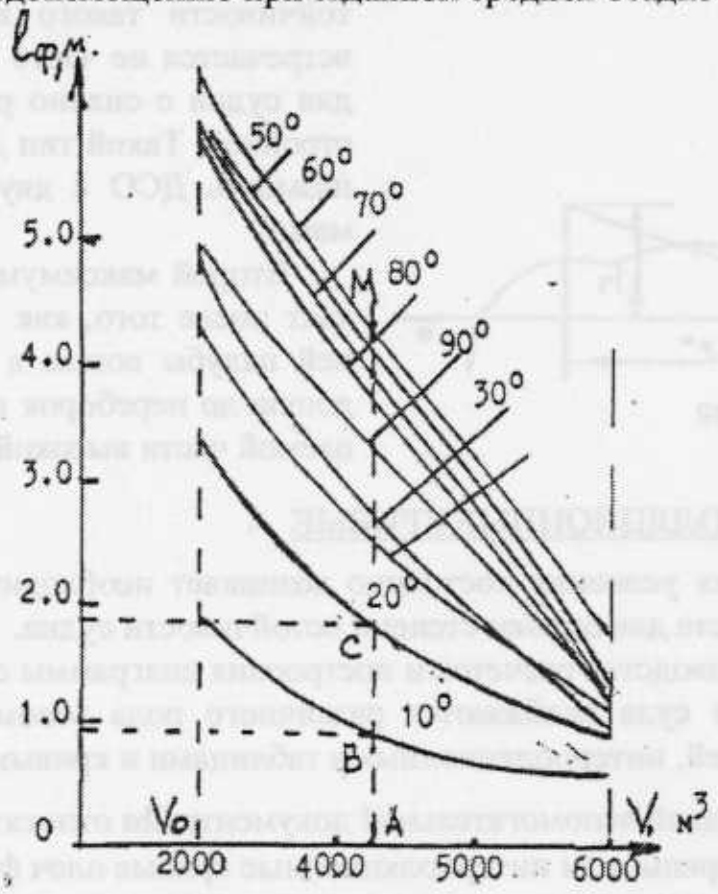


Рис. 50. Пантокарены

– из точки *A* восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривыми пантокарен, точки *B, C,..., M;*

– из точек пересечения перпендикуляра с кривыми пантокарен *B, C,...* проводим горизонтальные прямые параллельные оси абсцисс до пересечения с осью ординат;

– по оси ординат снимаем значение плеч формы l_ϕ для углов крена 10°, 20°, ... , 90°.

Теперь, зная значение плеч формы, для построения диаграммы статической остойчивости нам необходимо найти значение плеч статической остойчивости по формуле:

$$l_{ст} = l_\phi - (Z_G - Z_C) \cdot Sin\theta,$$

где Z_G – возвышение центра тяжести судна находится обычным путем (судовой расчет); Z_C – возвышение центра величины, определяется с помощью кривых элементов теоретического чертежа.

Анализируя приведенную выше формулу видим, что плечо статической остойчивости зависит от двух составляющих:

– плеча формы l_ϕ, значение которого зависит только от положения центра величины C, т.е. от формы обводов корпуса;

– плеча веса $l_в$, которое принято называть плечом остойчивости веса

$$l_в = (Z_G - Z_C) \cdot Sin\theta$$

В тех случаях, когда отсчет величины плеча формы ведется не от первоначального положения центра величины C, а от точки пересечения основной плоскости с диаметральной плоскостью, т.е. из начала координат "0", то в этом случае плечо остойчивости веса $l_в$ будет определяться по формуле:

$$l_в = Z_G \cdot Sin\theta$$

Так как в этих условиях $Z_c = 0$, то плечо статической остойчивости будет определяться по формуле:

$$l_{ст} = l_\phi - Z_G \cdot Sin\theta$$

Найдя таким путем значение плеч статической остойчивости на углы крена от 10° до 90°, обычным образом строим диаграмму статической остойчивости (ДСО).

Однако, диаграммы статической остойчивости, построенные с помощью пантокарен, не устраняют необходимости производить расчеты и строить графики, что, естественно, затрудняет использование этих диаграмм в судовых условиях.

Только универсальные диаграммы позволяют строить диаграммы статической остойчивости судна без каких-либо дополнительных расчетов.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ДИАГРАММЫ

Универсальная диаграмма статической остойчивости представляет собой набор диаграмм статической остойчивости, для различных водоизмещении судна, предетавляющих практический интерес и вычерчивается в системе прямоугольных координат (рис. 51).

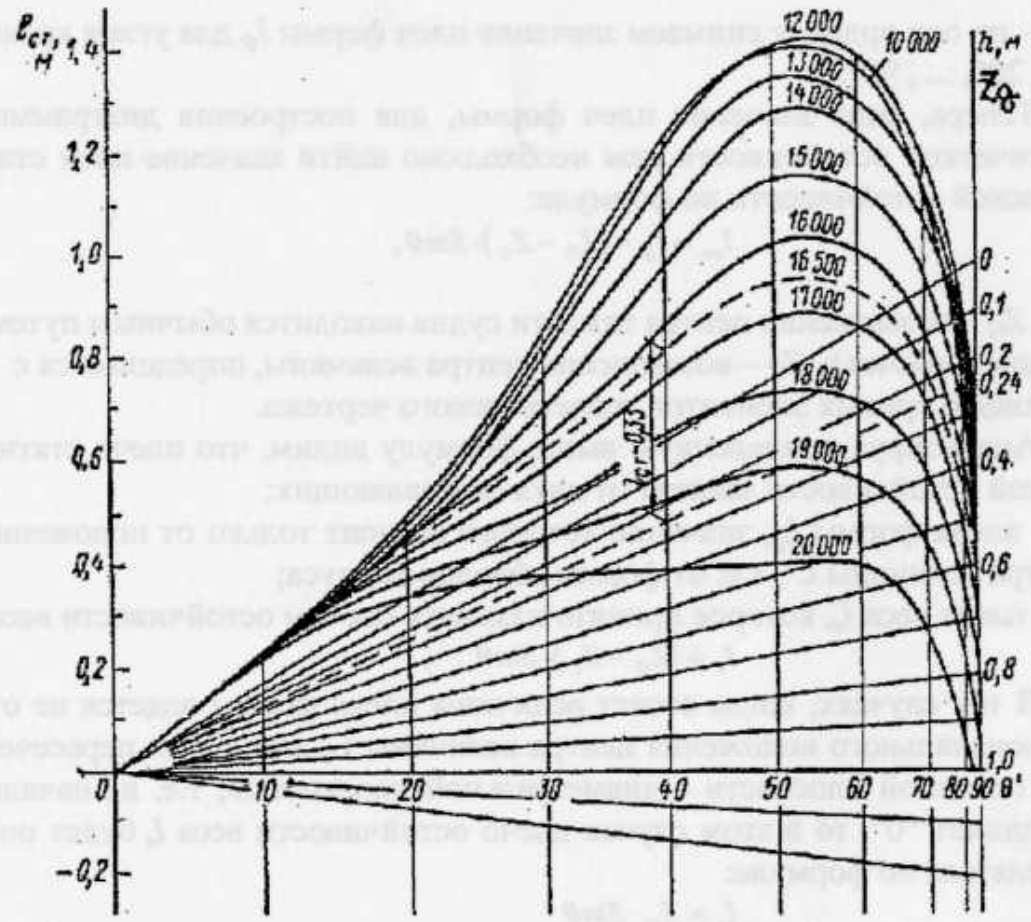


Рис. 51. Универсальная диаграмма статической остойчивости

По оси абсцисс откладываются углы крена от 0° до 90° с интервалом в 10° и из каждого десятка градусов восстанавливается перпендикуляр. По оси ординат, в принятом масштабе, откладываются величины плеч статической остойчивости.

Зная водоизмещение и метацентрическую высоту можно легко построить диаграмму статической остойчивости, для чего:

– на универсальной диаграмме по второй оси ординат откладываем значение метацентрической высоты h, либо Z_G (в нашем случае точка $A = 0{,}24$ *м.*);

– найденную точку A соединяем прямой (в нашем случае пунктирной линией) с началом координат, линия AO;

– в семействе кривых находим нужную нам кривую нашего водоизмещения, допустим $\Delta = 16500$ т. Если кривой нужного нам водоизмещения нет, то мы наносим ее сами методом интерполяции между кривыми большего и меньшего водоизмещении (кривая $\Delta = 16500$ т нанесена пунктиром);

– по универсальной диаграмме, в масштабе левой оси ординат, снимаем величины отрезков прямых заключенных между кривой нашего водоизмещения и прямой, соединяющей точку *A*с началом координат *(AO)*, на углы крена 10°,..., 90° (в нашем случае на 40° отрезок *BC = 0,33 м*).

Эти отрезки в масштабе указанном на левой оси ординат и будут показывать значение плеч статической остойчивости, необходимых для построения ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ.

После этого, в масштабе принятых координат, мы строим диаграмму статической остойчивости, с помощью которой в дальнейшем можем решать ряд практических задач и нормировать остойчивость по данной загрузке.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

При статическом приложении кренящего момента восстанавливающий момент постоянно увеличивается вместе с нарастанием угла крена и эти моменты взаимно уравновешивают друг друга в течение всего процесса статического накренения судна, а движение судна происходит равномерно и без угловых ускорений.

На практике не редки случаи, когда на судно действует внезапно возникший динамический момент (шквал ветра, удар волны, лопнувший буксир и т. д.). Судно при этом получает динамический угол крена, хотя и кратковременный, но значительно превышающий крен, который мог бы возникнуть при статическом действии этого же момента.

Предположим, что к судну, находящемуся в прямом положении, внезапно приложен кренящий момент $M_{кр}$, величина которого не связана с углом наклонения, тогда график его действия можно изобразить на диаграмме статической остойчивости прямой линией ЕК, параллельно оси абсцисс (рис. 52).

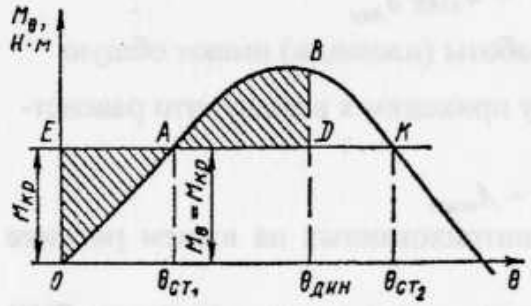


Рис. 52. К определению динамической остойчивости

Под действием этого $M_{кр}$. судно будет крениться с постоянно нарастающей угловой скоростью, т.к. в начальный период восстанавливающий момент, который будет нарастать постепенно, меньше кренящего.

После достижения судном угла статического равновесия $\theta_{ст}$, когда $M_{кр} = M_в$, угловая скорость получит наибольшее значение.

По достижении угла крена $\theta_{ст}$, судно не остановится, а продолжит крениться по инерции уже с убывающей угловой скоростью, так как теперь восстанавливающий момент будет больше кренящего. В какой-то момент угловая скорость наклонения судна станет равна нулю "0". В этот момент накренение судна прекращается, а угол крена достигает максимума. Этот угол максимального накренения судна называется углом ДИНАМИЧЕСКОГО крена и обозначается $\theta_{дин}$. Затем судно, под действием избыточного восстанавливающего момента, начнет возвращаться в положение равновесия, совершая затухающие колебания.

Способность судна противостоять, не опрокидываясь, действию внезапно приложенного кренящего момента называется ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТЬЮ.

Динамический угол крена $\theta_{дин}$ определяется из условия равенства работ кренящего и восстанавливающего моментов

$$A_{кр} = A_{вост}$$

Следовательно, мерой динамической остойчивости служит работа восстанавливающего момента $A_{вост}$, которую надо совершить, чтобы накренить судно на угол $\theta_{дин}$.

Работа постоянного кренящего момента, при наклонении судна до угла $\theta_{дин}$, равна произведению момента на угол крена

$$A_{кр} = M_{кр} \cdot \theta_{дин}$$

На нашем рис. 52 эта работа графически выражается площадью прямоугольника OED $\theta_{дин}$.

Поскольку восстанавливающий момент $M_в$, как функция угла крена, задается диаграммой статической остойчивости, то работу восстанавливающего момента $A_{вост}$, необходимую для наклонения судна на угол $\theta_{дин}$, графически можно изобразить площадью ДСО $S_{OAB\,\theta_{дин}}$, тогда уравнение равенства работ $A_{кр} = A_{вост}$ будет выглядеть как:

$$S_{OED\ \theta_{дин}} = S_{OAB\ \theta_{дин}}$$

Из графика видно, что эти две работы (площади) имеют общую для них площадь $S_{OAD\,\theta_{дин}}$. Поэтому приходим к выводу, что равенство работ

$$A_{кр} = A_{вост}$$

будет соблюдено при равенстве заштрихованных на нашем рисунке площадей $OEA = ABД$.

Таким образом, определение угла динамического крена на ДСО сводится к подбору положения ординаты $B\theta_{дин}$ так, чтобы заштрихованные площади OEA и $ABД$ были равны.

Определить динамический угол крена по диаграмме статической остойчивости (ДСО) можно лишь приближенно.

Задачи, связанные с динамической остойчивостью, решаются быстрее и точнее с помощью, так наливаемой, ДИАГРАММЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ (ДДО), которая представляет собой кривую, выражающую зависимость работы восстанавливающего момента от угла крена.

ДДО – является интегральной кривой по отношению к диаграмме статической остойчивости.

Для построения ДДО необходимо по оси абсцисс наметить несколько точек, соответствующих выбранным углам крена и восстановить перпендикуляры до пересечения с кривой ДСО. Вычислив работу восстанавливающего момента (выраженную графически соответствующими площадями) при накренении судна от прямого положения $\theta = 0$ до заданного угла крена, на этих перпендикулярах откладывают ординаты, которые в заданном масштабе определяют вычисленные значения площадей.

Точки ординат соединяют плавной кривой, которая и является диаграммой динамической остойчивости при данном состоянии нагрузки судна:

$$A_в = M_{кр} \cdot \theta$$

ДДО являясь интегральной кривой от ДСО (рис. 53) обладает следующими свойствами:

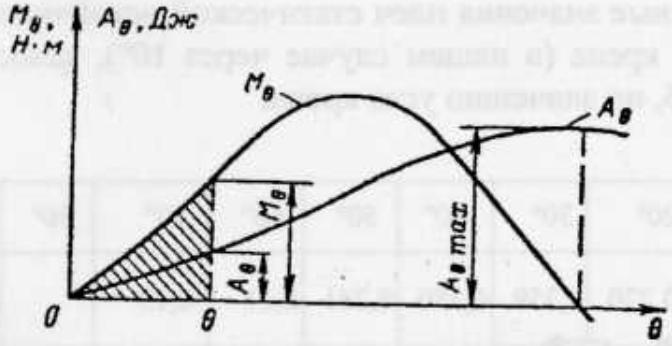


Рис. 53. Диаграмма статической и динамической остойчивости

– точка перегиба кривой ДДО соответствует максимуму ДСО;

– ордината ДДО, соответствующая определенному углу крена $\theta_{дин}$ представляет в масштабе заштрихованную на рисунке площадь ДСО;

– максимум ДДО соответствует углу заката диаграммы статической остойчивости (ДСО).

В практике, для построения диаграммы динамической остойчивости (ДДО), необходимо найти плечи динамической остойчивости в зависимости от угла крена.

Так как ДДО является интегральной кривой от ДСО, то и плечо динамической остойчивости можно найти по величине плеча статической остойчивости.

Рассмотрим два способа расчета плеча динамической остойчивости.

ПЕРВЫЙ СПОСОБ

Существует соответствующая зависимость плеча статической и динамической остойчивости, которая приведена в табл. 4.

Таблица 4.

θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\frac{l_{ст}}{l_{дин}}$	11,36	6,02	3,79	2,57	1,75	1,15	0,67	0,34	0,07

Эти соотношения получаются для судна статистическим путем. Имея значения плеч статической остойчивости и соотношения, находим значения плеч динамической остойчивости:

$$l_{дин} = \frac{l_{ст}}{соотнош.}$$

ВТОРОЙ СПОСОБ

Это способ интегральных сумм, который заключается в следующем:

1. Найденные значения плеч статической остойчивости на определенные углы крена (в нашем случае через 10°), заносим во вторую строку табл. 5, по значению угла крена.

Таблица 5.

θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
$l_{ст}$	0,1358	0,270	0,359	0,380	0,281	0,11	-0,13		$l_{дин} = \Sigma\, Sin\ 5°$
Σ	0,138	0,546	1,175	1,914	2,575	2,966	2,946		$Sin\ 5° = 0{,}087$
$l_{дин}$	0,012	0,047	0,102	0,166	0,224	0,258	0,256		

2. Принимаем единственное допущение, что интегральная сумма на угол крена $\theta = 10°$ равна значению плеча статической остойчивости на угол крена 10° (в нашем случае = 0,138) . Это значение заносим в таблицу, строка 3.

3. Для получения значения интегральных сумм, на остальные углы крена, производим последовательно сложения по стрелке:



– интегральная сумма на 10° = 0,138
– величина $l_{ст}$ на 10° = 0,138
– величина $l_{ст}$ на 20° = 0,270

$\Sigma_{20°} = 0,546$

Эту величину заносим в таблицу в графу интегральных сумм на 20°.

Далее, по этой же методике заполняем остальные графы третьей строки (Σ).

Для получения плеча динамического момента $l_{дин}$, необходимо интегральную сумму (по углу крена) умножить на натуральное значение синуса угла равного половинному значению интервала накренения судна принятого для расчета плеча статической остойчивости. Мы приняли интервал 10°, значит *Sin* 5° = 0,087, т.е. Σ x 0,087 = $l_{дин}$.

Величину значения $l_{дин}$ заносим в четвертую строку таблицы $l_{дин}$.

Для построения диаграммы динамической остойчивости (ДДО) по оси абсцисс откладываем углы крена 10°, 20°, 50°, ..., а по оси ординат откладываем величину плеча динамической остойчивости, либо работу восстанавливающего момента.

Так как диаграммы статической и динамической остойчивости взаимообратимы, то по имеющейся ДДО мы можем найти значения плеч статической остойчивости и с помощью них построить ДСО (рис. 53а).

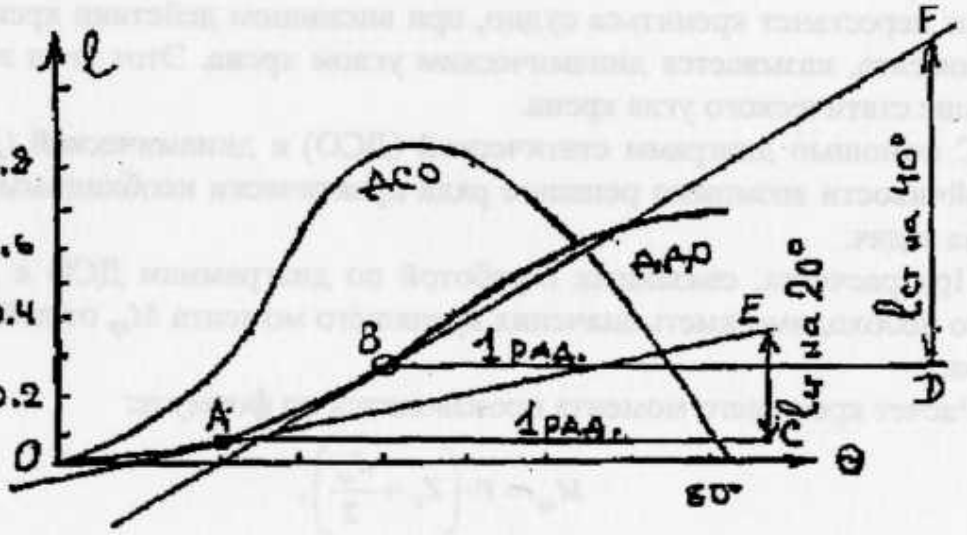


Рис. 53а. ДСО и ДДО

Для чего:

– к любой точке ДДО (рис. 53-а), допустим точки *А* и *В* на углы крена 20°и 40° проводим касательные прямые;

– из точек *А* и *В* параллельно оси абсцисс проводим вправо параллельные прямые и на них откладываем отрезки *АС* и *ВД* равные одному радиану;

– из точек *С* и *Д* вверх восстанавливаем перпендикуляры до пересечения с касательными проведенными к точкам *А* и *В*.

Отрезки *СЕ* и *ДF* – значения плеч ДСО на углы крена 20°и 40°.

Найдя таким же образом значения плеч к другим углам крена, можем построить диаграмму статической остойчивости. С помощью ДСО и ДДО можно решать целый ряд практических задач.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

При рассмотрении начальной остойчивости и остойчивости судна на больших углах крена предполагалось, что кренящий момент действует на судно не сразу, а увеличивается постепенно от нуля до полной своей величины, а при рассмотрении динамической остойчивости судна предполагается, что момент, вызывающий накренение судна, достигает полной своей величины сразу, а не постепенно.

При постепенном нарастании момента судно перестанет крениться тогда, когда восстанавливающий момент становится равным кренящему.

При внезапном действии кренящего момента в полную силу, судно перестает крениться тогда, когда РАБОТА восстанавливающего момента сравняется с работой кренящего момента. Угол крена, при котором перестанет крениться судно, при внезапном действии кренящего момента, называется динамическим углом крена. Этот угол всегда больше статического угла крена.

С помощью диаграмм статической (ДСО) и динамической (ДДО) остойчивости возможно решение ряда практически необходимых для судна задач.

При расчетах, связанных с работой по диаграммам ДСО к ДДО, часто необходимо иметь значения кренящего момента $M_{кр}$ от действия ветра.

Расчет кренящего момента производится по формуле:

$$M_{кр} = P \cdot \left(Z_C + \frac{d_{ср}}{2} \right),$$

где Δ – водоизмещение в *тн*;

$d_{ср}$ – средняя осадка судна в *м*.

Находим значения:

$$P = fS\ (тн); \qquad f = 0{,}0813\ V^2,$$

где P – давление ветра на всю площадь в *тн*;

F – давление ветра в *кг* на $1м^2$;

V – скорость ветра в *м/с* на высоте 12 *м*;

S – вся боковая площадь на которую давит ветер.

Отстояние центра тяжести надводной боковой поверхности судна Z_s от действующей ватерлинии находится по формуле:

$$Z_s = \frac{S_1 \cdot Z_1 + S_2 \cdot Z_2 + \ldots\ldots\ldots + S_n \cdot Z_n}{S_1 + S_2 + \ldots\ldots\ldots + S_n},$$

где $S_1, S_2, \ldots S_n$ – площади отдельных частей судна;

$Z_1, Z_2, \ldots Z_n$ – отстояние центра тяжести (площади) отдельных площадей боковой поверхности надводной части судна от действующей ватерлинии.

Угол крена судна от действия ветра можно рассчитать по формуле:

$$tg\theta = \frac{M_{кр}}{\Delta \cdot h}$$

В дальнейшем, при решении задач с помощью ДСО и ДДО, для уяснения существа метода, мы будем вводить исходные данные.

1. Определение угла крена судна от действия шквала при отсутствии начального угла крена (рис. 54 и 55).

Исходные данные: Водоизмещение $\Delta = 9000\ т$, $M_{кр} = 2700\ тм$.

Находим:

$$l_{прив} = \frac{M_{кр}}{\Delta} = \frac{2700\ тм}{9000\ т} = 0{,}3\ м$$

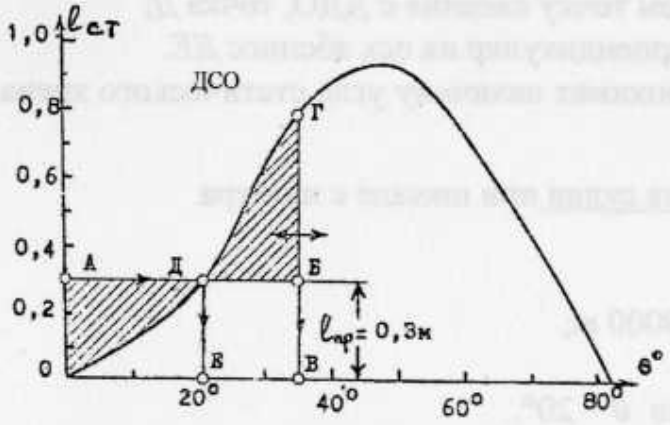


Рис. 54

По оси ординат откладываем величину $l_{прив} = 0{,}3\ м$, точка *А*.

Из т. *А* проводим горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс *АБ*.

Из точки *Д* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс *ДЕ*.

Точка *Е* покажет величину угла статического крена.

Для определения с помощью ДСО динамического угла крена $\theta_{дин}$ необходимо правее перпендикуляра *ДЕ* провести вертикальную линию *ГБВ* таким образом, чтобы площадь *ОАД* (работа кренящего момента) была равна площади *ДГБ* (работа восстанавливающего момента).

Перпендикуляр, опущенный из точки *Г* на ось абсцисс, точка *В*, покажет нам величину динамического угла крена $\theta_{дин}$ от шквала в $M_{кр} = 2700$ *тм*.

По диаграмме динамической остойчивости (рис. 55) эта задача решается следующим образом:

– по оси абсцисс из начала координат откладываем один радиан (57°3) и из точки *А* восстанавливаем перпендикуляр;

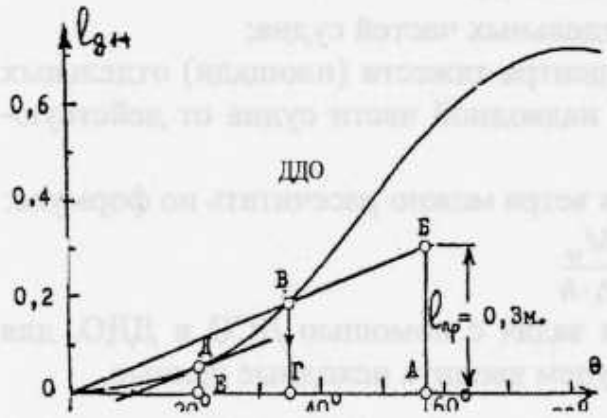


Рис 55

– из точки *А* на перпендикуляре откладываем отрезок *АБ*, равный величине $l_{пр} = 0{,}3$ *м*;

– из точки *Б* проводим прямую линию к началу координат *Б0*;

– находим точку пересечения прямой линии *Б0* с кривой диаграммы динамической остойчивости, точка *В*;

– из точки *В* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, точка *Г*.

Точка *Г* на оси абсцисс покажет величину динамического угла крена $\theta_{дин}$, от шквала $M_{кр} = 2700$ *тм*.

Для определения угла статического крена $\theta_{ст}$ по ДДО:

– проводим прямую, параллельную прямой *0Б*, таким образом, чтобы она касалась кривой ДДО;

– определяем и обозначаем точку касания с ДДО, точка *Д*;

– из точки *Д* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс *ДЕ*.

Точка *Е* на оси абсцисс покажет величину угла статического крена $\theta_{ст}$.

2. Определение угла крена судна при шквале с наветра (рис. 56 и 57).

Исходные данные:

Водоизмещение $\Delta = 9000$ *т*;

$M_{кр} = 1800$ *тм*;

Первоначальный крен $\theta = 20°$.

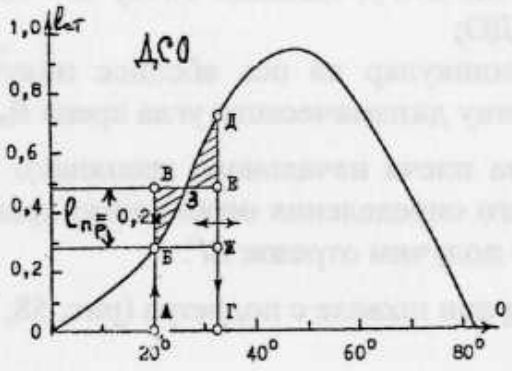


Рис. 56

Находим:

$$l_{пр} = \frac{M_{кр}}{\Delta} = \frac{1800тм}{9000т} = 0{,}2м;$$

– из точки *А*, соответствующей начальному углу крена $\theta = 20°$, восстанавливаем перпендикуляр.

– из точки пересечения перпендикуляра с кривой ДСО, т. *Б*, влево и вправо проводим горизонтальную линию, параллельную оси абсцисс.

– из точки *Б* вверх, в масштабе плеч, откладываем отрезок *БВ*, равный приведенному плечу дополнительного кренящего момента $l_{пр} = 0{,}2$ *м*.

– из точки *В* влево и вправо проводим горизонтальную линию параллельную оси абсцисс.

– для определения угла динамического крена $\theta_{дин}$ подбираем положение вертикальной линии *ДГ* таким образом, чтобы заштрихованные площади *БВЗ* и *ЗДЕ* были равны.

– точка *Г*, на оси абсцисс, укажет на величину динамического угла крена судна $\theta_{дин}$.

По ДДО (рис. 57) эта задача решается так:

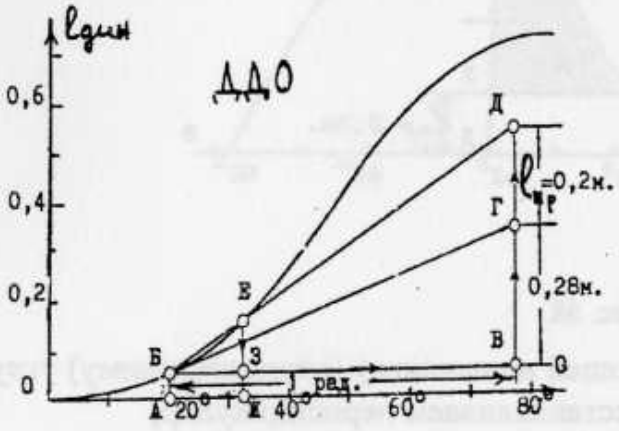


Рис. 57

– из т. *А*, соответствующей начальному углу крена $\theta = 20°$ восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой ДДО, точка *Б*;

– из точки *Б* проводим горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс и откладываем на ней отрезок *БВ*, равный 1 радиану;

– из точка *В* восстанавливаем перпендикуляр и откладываем на нем отрезок *ВГ*, равный по величине плечу начального момента, кренящего судно на угол $\theta = 20°$, снятого в масштабе с ДСО (отрезок *АБ* = 0,28 *м*);

– из точки Г вверх откладываем отрезок *ГД*, равный величине приведенного плеча $l_{пр} = 0{,}2$ *м*;

– соединив прямой линией точки *Б* и *Д* находим точку *Е* – точку пересечения прямо *ВД* с кривой ДДО;

– опустив из точки *Е* перпендикуляр на ось абсцисс получим точку *Ж*, которая укажет на величину динамического угла крена $\theta_{дин}$.

Если нам неизвестна величина плеча начального кренящего момента (на ДДО отрезок *ВГ*), для его определения необходимо провести касательную к точке *Б*, на ДДО получим отрезок *ВГ*.

3. Определение угла крена судна при шквале с подветра (рис. 58, 59).

Исходные данные

Водоизмещение $\Delta = 9000\ т$.

Кренящий момент $M_{кр} = 1800\ тм$.

Первоначальный крен $\theta = -20°$

Находим: $l_{пр} = \dfrac{M_{кр}}{\Delta} = \dfrac{1800\ тм}{9000\ т} = 0{,}2\ м$

Так как судно, по условиям задачи, имело крен на левый борт, а затем стало крениться на правый, то ДСО необходимо продолжить в сторону отрицательных углов крена, т.е. влево и вниз:

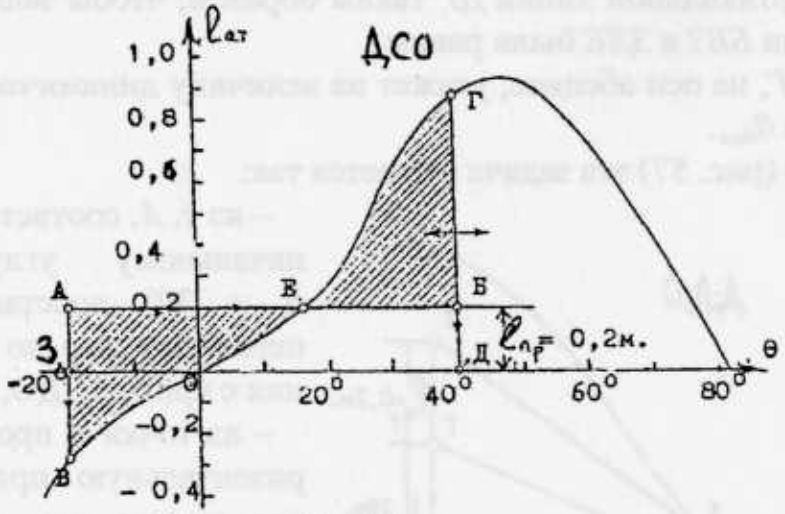


Рис. 58.

– из точки З, соответствующей начальному (отрицательному) углу крена $\theta = -20$, вверх и вниз восстанавливаем перпендикуляр;

– от точки *З* вверх откладываем отрезок *ЗА* , равный величине приведенного плеча, рассчитанного нами выше $l_{пр} = 0{,}2\ м$;

– из точки *А* проводим прямую *АБ*, параллельную оси абсцисс;

– подбираем положение вертикальной линии *ГД* таким образом, чтобы заштрихованные площади *ВАЕ* и *ЕГБ* были равны.

Точка *Д* укажет на величину динамического угла крена $\theta_{дин} = 40°$.

По ДДО (рис. 59) эта задача решается так:

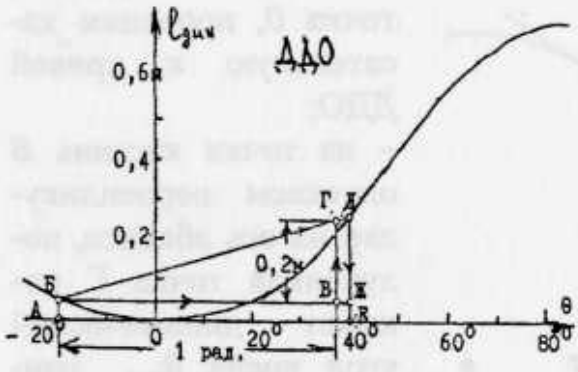


Рис. 59

– продолжаем ДДО в сторону отрицательных углов крена;
– из точки *А* , соответствующей начальному (отрицательному) углу крена $\theta = -20°$, восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой ДДО, точка *Б*;
– из точки *Б* проводим горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс, откладываем отрезок *БВ* равный одному радиану;
– из точки *В* восстанавливаем перпендикуляр и на нем откладываем отрезок *ВГ*, равный величине приведенного плеча $l_{пр} = 0{,}2$ *м*;
– соединим прямой линий точки *Б* и *Г* и продлим эту прямую до пересечения ее с кривой ДДО, точка *Д*;
– из точки *Д* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, получим точку *Е*, которая и покажет угол динамического крена $\theta_{дин}$ – УГОЛ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ.

4. Определение наибольшего динамического момента (опрокидывающего момента и угла крена $\theta_{дин}$), который судно может выдержать, не опрокидываясь из прямого положения (рис. 60, 61),

Исходные данные:

Водоизмещение $\Delta = 9000$ *т*. Первоначальный крен $\theta = 0°$

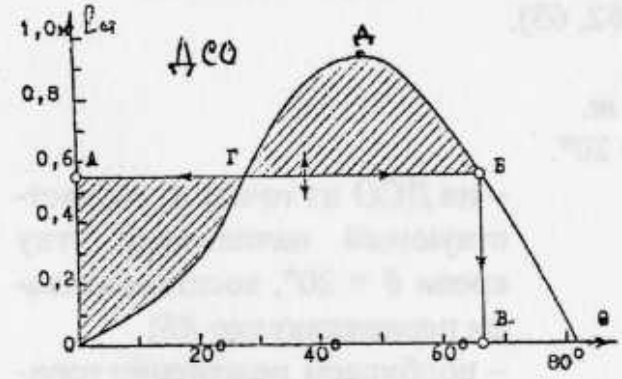


Рис. 60

– на ДСО подбираем положение горизонтальной линии *АБ* таким образом, чтобы заштрихованные площади *ОАГ* и *ГДБ* были равны.
– из точки *Б* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс. Положение точки *В* покажет наибольший динамический угол крена $\theta_{дин}$, который выдержит судно не опрокидываясь.
– отрезок *0А* по оси ординат покажет величину приведенного плеча $l_{пр}$, наибольшего динамически приложенного момента, который судно может выдержать не опрокидываясь (в нашем случае $l_{пр} = 0{,}55$).

Из формулы $M_{кр} = l_{пр}\,\Delta$ находим наибольший динамический кренящий момент, который выдержит судно не опрокидываясь.

По ДДО (рис. 61) эта задача решается так:

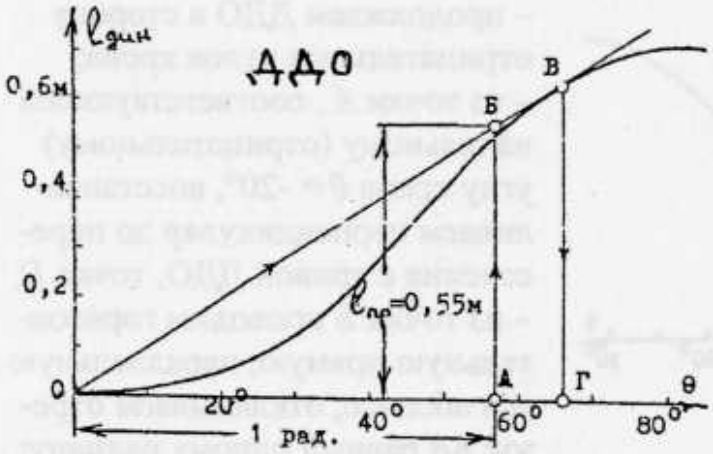


Рис. 61

– из начала координат, точка *0*, проводим касательную к кривой ДДО;

– из точки касания *В* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, полученная точка Г покажет динамический угол крена $\theta_{дин}$ наибольший, который выдержит судно не опрокидываясь;

– из начала координат откладываем отрезок *0А*, равный 1 радиану, и из точки *А* восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с касательной;

– отрезок *АБ* покажет величину приведенного плеча $l_{пр}$, наибольшего динамически приложенного момента, который может выдержать судно не опрокидываясь (в нашем случае $l_{пр} = 0{,}55$ *м*).

– зная величину $l_{пр} = 0{,}55$ *м*, по формуле , $M_{кр} = l_{пр} \cdot \Delta$ – находим наибольший динамический кренящий момент, который выдержит судно не опрокидываясь.

5. Определение наибольшего динамического момента и вызванного им угла крена судна, который оно может выдержать, не опрокидываясь при шквале с наветра (рис. 62, 63).

Исходные данные

Водоизмещение $\Delta = 9000$ *т*.

Первоначальный крен $\theta = 20°$.

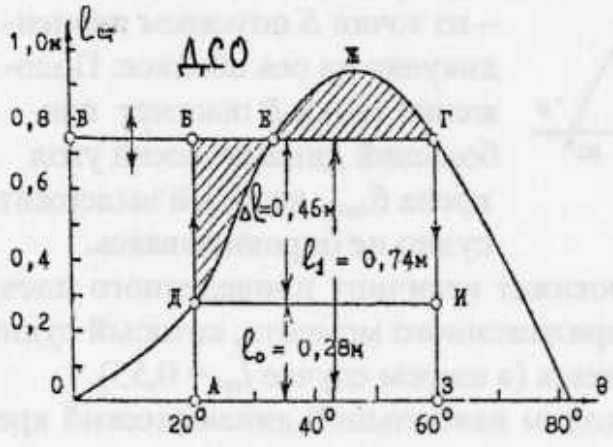


Рис. 62

– на ДСО из точки *А*, соответствующей начальному углу крена $\theta = 20°$, восстанавливаем перпендикуляр *АБ*;

– подбираем положение горизонтальной линии *ВГ* таким образом, чтобы заштрихованные площади *ДБЕ* и *ЕЖГ* были равны;

– из точки *Г* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, а точка *3* покажет величину

наибольшего динамического угла крена, который оно еще может выдержать не опрокидываясь под действием наибольшего момента;
– отрезок *АД* , в масштабе вертикальной оси, покажет величину приведенного плеча начального постоянного кренящего момента, под действием которого судно имело крен 20° (в нашем случае l_o=0,28 *м*);
– отрезок *ДБ*, в масштабе вертикальной оси, дает величину приведенного плеча добавочного динамического кренящего момента
δl = 0,46 *м*;
– находим суммарный кренящий момент:

$$M_{кр} = l_{пр} \cdot \Delta, \text{ где } \quad l_{пр} = l_o + \delta l = 0{,}28 + 0{,}46 = 0{,}74 \text{ м}.$$

По ДДО (рис. 63) эта задача решается так:

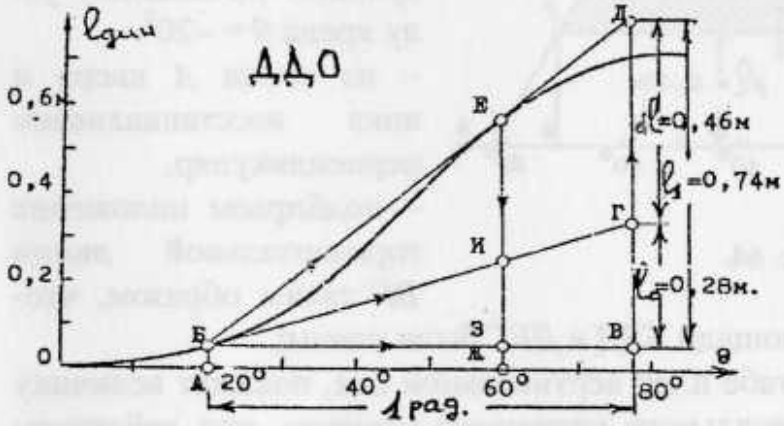


Рис. 63

– из начала координат откладываем на оси абсцисс отрезок *0А* равный начальному углу крена 20°;

– из точки *А* восстанавливаем перпендикуляр до пересечения скривой ДДО (*АБ*);

– из точки *Б* проводим три линии:
а/ касательную к верхней точке кривой ДДО, линия *БД*;
б/ касательную к кривой ДДО в точке *Б*, линия *БГ*;
в/ прямую *БВ* параллельную оси абсцисс;
– из точки *Б* откладываем отрезок *БВ*, равный одному радиану;
– из точки *В* восстанавливаем перпендикуляр.

В масштабе вертикальной оси отрезок ВГ покажет величину приведенного плеча, начального постоянного кренящего момента, под действием которого судно имело крен 20° (в нашем случае l_o = 0,28 *м*). Отрезок *ГД* покажет величину плеча добавочного динамического кренящего момента δl = 0,46 *м*.

По формуле $M_{кр} = l_{пр} \Delta$ находим суммарный кренящий момент, где

$$l_{пр} = l_o + \delta l .$$

Из точки касания Е опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, а точка Ж покажет величину наибольшего динамического угла крена $\theta_{дин}$, который выдержит судно не опрокидываясь.

6. Определение наибольшего динамического момента и вызываемого им угла крена, который может выдержать судно, не опрокидываясь при шквале с подветра (рис. 64, 65).

Исходные данные

Водоизмещение $\Delta = 9000$ *т*.

Первоначальный крен $\theta = -20^0$.

Судно имело крен на тот борт, с которого налетел шквал.

Для решения этой задачи продляем ДСО в сторону отрицательных углов крена (влево и вниз).

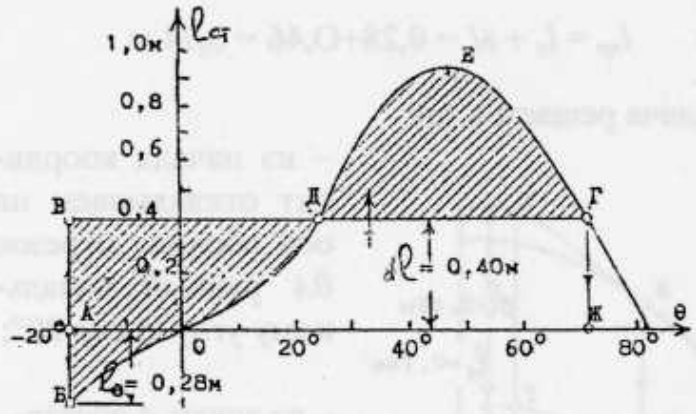


Рис. 64

– по оси абсцисс, в сторону отрицательных углов крена, откладываем отрезок *ОА*, соответствующий начальному углу крена $\theta = -20^0$.

– из точки *А* вверх и вниз восстанавливаем перпендикуляр.

– подбираем положение горизонтальной линии *ВГ* таким образом, чтобы заштрихованные площади *БВД* и *ДЕГ* были равны;

– отрезок *БА* , в масштабе плеч вертикальной оси, покажет величину приведенного плеча начального кренящего момента, под действием которого судно имело постоянный начальный крен $\theta = -20°$, ($БА = l_o = 0{,}28$ *м*).

В отличии от предыдущего примера, где первоначальный крен судна создавался моментом, который продолжал действовать и тогда, когда налетел шквал, в данном примере кренящий момент, вызвавший первоначальный крен судна, прекращает свое действие одновременно со шквалом:

– в этом случае отрезок *АВ*, в масштабе плеч вертикальной оси, укажет искомую величину приведенного плеча внезапно действующего дополнительного момента $\delta l = 0{,}40$ *м*. Величину самого момента найдем исходя из формулы:

$$M_{кр} = \delta l \cdot \Delta = 0.40\ м \cdot 9000\ т = 3600\ тм\ ;$$

– для определения угла крена, который получит судно под действием этого момента, из точки *Г* опустим перпендикуляр на ось абсцисс. Положение точки *Ж* укажет значение динамического угла крена (в нашем случае $\theta_{дин} = 71°$).

По диаграмме динамической остойчивости задача решается так:

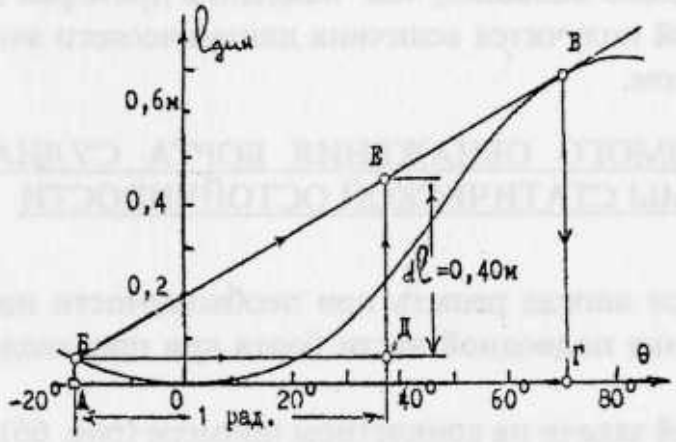


Рис. 65

– продолжаем ДДО в сторону отрицательных углов крена – влево;

– на горизонтальной оси, продолженной части диаграммы, отмечаем точку *А*, соответствующую начальному углу крена $\theta = -20°$;

– из точки *А* восстанавливаем перпендикуляр *АБ* до пересечения с кривой ДДО;

– из точки *Б* проводим две прямые линии:

а/ касательную *БВ* к верхней части кривой ДДО;

б/ прямую *БД*, параллельную оси абсцисс, на которой откладываем отрезок *БД* равный одному радиану (57,3°);

– из точки *В* опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, положение точки Г указывает значение динамического угла крена (71°) , возникшего под действием внезапного кренящего момента.

– точки *Д* восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с для определения кренящего момента, созданного шквалом, из касательной *БВ*. Отрезок *ДЕ*, в масштабе плеч вертикальной оси, дает значение приведенного плеча динамического момента $\delta l = 0{,}40$ *м*.

Величину самого кренящего момента найдем исходя из формулы:

$$M_{кр} = \delta l \cdot \Delta = 0.40 \text{ м} \cdot 9000 \text{ т} = 3600 \text{ тм}.$$

Применяемые при решении таких задач диаграммы статической и динамической остойчивости вычерчиваются в масштабе плеч или в масштабе моментов и работ. В большинстве случаев пользуются масштабом плеч.

Сравнивая результаты решения примеров пунктов 5 и 6, видим, что при шквале с подветра наибольший кренящий момент, который может выдержать судно не опрокидываясь получается меньше, чем при шквале с наветра, а угол крена судна при этом больше. Это объясняется тем, что в первом случае первоначальный кренящий момент продолжает все время действовать, а во втором случае – он перестает действовать на судно столь же внезапно, как на последнее подействовал шквал.

Если кренящий момент, вызвавший первоначальный крен судна, будет продолжать действовать в то время, когда налетит шквал, то судно получит крен значительно меньший, чем найдено в примерах 5 и 6. Соответственно большей получится величина динамического момента выдерживаемого судном.

ПОЛУЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ОБНАЖЕНИЯ БОРТА СУДНА С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Такую задачу приходится иногда решать при необходимости накренения судна для обнажения подводной части борта при производстве ремонта, либо осмотра.

Рассмотрим решение этой задачи на конкретном примере (рис. 66).

Исходные данные

Водоизмещение судна $\Delta = 4450$ *т*.

Ширина судна $B = 17{,}3$ *м*.

Осадка судна $d = 4{,}0$ *м*.

Отстояние Ц.Т. от киля $Z_G = 7{,}0$ *м*.

Число тонн на 1 см осадки $q = 17.1$ *т/см*.

Место осмотра погружено на глубину $h_n = 2.0$ *м*.

Кренящий момент, создаваемый переносом груза поперек судна, находится по формуле:

$M_{кр} = p \cdot y \cdot Cos\,\theta$, где p – масса переносимого груза;

y – расстояние, на которое перемещается груз поперек судна;

θ – угол крена, определяемый по кренометру после переноса груза.

Для решения этой задачи с помощью ДСО необходимо:

– вычислить первоначально ориентировочный угол крена, при котором из воды выйдет нужная часть борта. Расчет производится по формуле:

$$tg\,\theta = \frac{h_n}{B/2}, \text{ где}$$

h_n – глубина погружения места осмотра;

$B/2$ – половина ширины судна.

В нашем случае $tg\theta = \frac{2}{8{,}65} = 0{,}232$,

откуда $\theta = 13^0$

Учитывая, что в процессе кренования мы будем принимать груз, а от этого увеличится осадка, угол крена увеличиваем еще на +2°,

$\theta = 15°$

– на ДСО из точки А соответствующей углу крена $\theta = 15°$ восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой ДСО в точке $Б$.

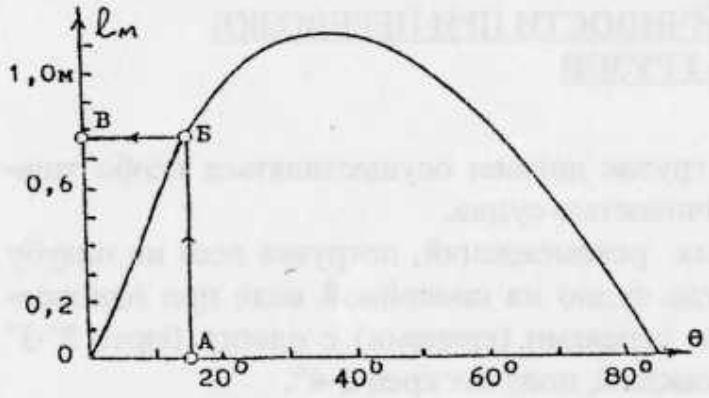


Рис. 66

– отрезок АБ, в масштабе плеч вертикальной оси, дает нам величину приведенного плеча кренящего момента.

В нашем случае $l_{пр} = 0{,}78\ м$.

– по формуле находим величину кренящего момента, необходимого для накренения судна на угол $\theta = 15°$

$$M_{кр} = l_{пр} \cdot \Delta = 0{,}78\,m \cdot 4450\ m = 3470\ тм.,$$

– зная теперь величину кренящего момента принимаем решение каким образом мы этого достигнем.

Допустим мы будем принимать балласт и груз. Для этой цели заполняем табл. 6.

Таблица 6

№ п/п	Наименование груза или отсека	Масса груза, т.	Плечо кренящего момента	Кренящий момент, тм.
1	Диптанк № 1	115	2,0	230
2.	Танк № 2	140	4,0	560
3.	Танк № 3	100	4,3	430
4.	Цемент	300	7,5	2250

Σ=3470 тм

С помощью этих мероприятий мы создаем кренящий момент $M_{кр} = 3470\ тм$.

При производстве кренования судна таким способом (прием груза и топлива, либо балласта) необходимо помнить, что если рассчитанный по формуле $tg\theta = \frac{h_n}{B/2}$ угол крена, на который необходимо произвести накренение судна, больше угла максимума ДСО (θ_{max}), то кренить судно на заданный угол переносом груза нельзя – судно опрокинется.

Этот метод надежен при накренении судна на малые углы крена.

При приеме большого количества груза произойдет изменение ДСО и уже имеемой у нас ДСО пользоваться нельзя.

СОХРАНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ГРУЗОВ

ПЕРЕВОЗКА ЛЕСА

При погрузке лесных грузов должен осуществляться особо тщательный контроль за остойчивостью судна.

Согласно разработанных рекомендаций, погрузка леса на палубу должна прекращаться, когда судно на спокойной воде при одновременном подъеме судовыми стрелами (кранами) с одного борта 2^x-3^x подъемов, весом по 1,5 т. каждый, получит крен 3-4°.

Все балластные танки должны быть запрессованы до начала погрузки. Когда высота каравана на падубе достигнет примерно 3/4 расчетного, нужно проверить остойчивость судна по углу крена по формуле

$$h = 57.3 \cdot \frac{p \cdot l}{\Delta \cdot \theta}, \text{ где}$$

P – масса перемещаемого груза (строп);
l – плечо на которое перемещен груз;
Δ – массовое водоизмещение судна;
θ – угол крена.

Возможно определение метацентрической высоты и по периоду бортовой качки судна. Однако этот метод относится к числу приближенных из-за невысокой точности (до 20%), но благодаря простоте широко распространен и особенно на судах-лесовозах.

В этом случае, метацентрическая высота должна определяться по периоду свободных колебаний судна на тихой воде по формуле:

$$h = \left(\frac{C \cdot B}{\tau_0} \right)^2, \text{ где}$$

C – эмпирический коэффициент, (для судов-лесовозов – 0,7- 0,8);
τ_0 – период свободных колебаний судна, сек.;
B – ширина судна.

Этот способ недостаточно точен из-за ряда ограничений влияющих на свободные колебания судна, поэтому:

– τ_0 – определяется не менее чем по 3-м раскачиваниям судна, в каждом из которых не менее 4-5 колебаний;

– сила ветра не должна превышать 3 балла;

– раскачивание судна производится при стоянке на рейде на якоре в условиях легкого волнения моря;

– длинна волны должна быть не более 0,2B. (B – ширина судна);

– при соотношении $\frac{D}{d}$ = 1,5 примерно период качки увеличивается на 20%;

– очень сильно влияние мелководья, особенно на суда большого водоизмещения, и это влияние возрастает с возрастанием коэффициента полноты ватерлинии.

Возможно также определение метацентрической высоты в конце погрузки с помощью крен-балласта определенной массы по формуле:

$$h = 57^{\circ}.3 \cdot \frac{p \cdot l}{\Delta \cdot \theta}, \text{ где}$$

P – масса крен - балласта;

L – отстояние ЦТ крен - балласта от ДП;

Δ – массовое водоизмещение судна;

θ – угол крена судна.

Этот способ дает довольно точные результаты при использовании жидкостного кренометра.

В процессе грузовых операций, выбрав из Информации об остойчивости минимально допустимое значение метацентрической высоты, можем рассчитать угол крена θ, при котором следует прекратить погрузку.

Угол крена рассчитываем по формуле:

$$\theta^{0} = 57^{\circ}.3 \cdot \frac{p \cdot l}{\Delta \cdot h}$$

При получении неблагоприятного прогноза решение о выходе судна в море принимает только капитан.

При производстве грузовых работ судоводители должны помнить, что деревянные стойки служат для формирования каравана и увлечение стойками чрезмерно большого диаметра чревато неблагоприятными последствиями.

При креплении каравана следует помнить, что традиционные промежуточные поперечные стяжки, между деревянными стойками, снимают нагрузку с фальшборта, а верхних крепежных стяжек должно быть в достаточном количестве:

– при высоте каравана на падубе до 3 метров расстояние между стяжками может быть до 3 *м*;

– при высоте каравана в 6м расстояние между стяжками не должно превышать 1,5 *м*, но, в любом случае, на каждый стык леса должно быть не менее 2-х стяжек.

Высота каравана на падубе не должна превышать 1/3 ширины судна.

ПЕРЕВОЗКА ЗЕРНА

Остойчивость судна при перевозке зерна регламентирована Международным Кодексом по безопасной перевозке зерна насыпью.

Суда перевозящие зерновые грузы насыпью должны быть снабжены Информацией об остойчивости судна при перевозке зерна.

Суда, не имеющие такой документации, должны грузиться по требованиям международного Кодекса или правилам страны погрузки.

Во всех случаях должна производиться штивка зерна в отсеках.

Перед началом погрузки рассчитывается допустимая средняя высота пустот после штивки:

$$V_d = V_{d1} + 0{,}75 \cdot (d - 600) мм, \text{ где}$$

V_d – средняя высота пустоты (в миллиметрах);

V_{d1} – стандартная высота пустоты согласно табл. 7; приведенной ниже (таблица В 1-1 в Кодексе);

d – фактическая высота балки люка (в миллиметрах).

Величина V_d ни в коем случае не должка приниматься менее 100 *мм*.

Таблица 7

Расстояние от кромки люка до границы помещения, м	Стандартная высота пустоты, мм.
0.5	570
1.0	530
1.5	500
2.0	480
2.5	450
3,0	440
3.5	430
4.0	430
4.5	430
5.0	430
5.5	450
6.0	470
6:5	490
7.0	520
7.5	550
8.0	590

При любом варианте загрузки зерном неповрежденное судно в течение всего рейса, по своим характеристикам остойчивости, должно удовлетворять следующим критериям:

– метацентрическая высота на весь период рейса с поправками на влияние свободной поверхности жидкости в танках должна быть не менее чем 0,3 *м*;

– угол крена от смещения зерна не должен превышать 12^0 или в случае судов, построенных на или после 1 января 1994г., угла входа кромки палубы в воду, смотря потому, что меньше;

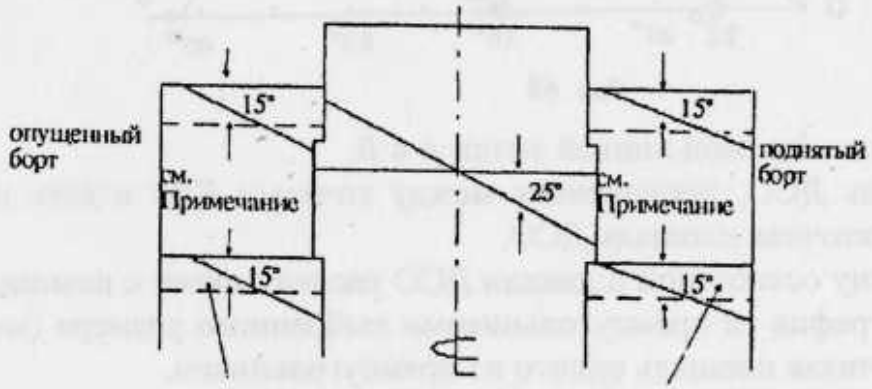
– на диаграмме статической остойчивости чистая (остаточная) площадь диаграммы между кривой кренящего и восстанавливающего моментов от 12° до угла крена 40°(или угла заливания, если он меньше 40°), при всех условиях загрузки, должна быть не менее 0,075 *м.рад* (4,3 *м.град*).

Плечо условного расчетного кренящего момента ($l_{кр.усл.}$) от смещения зерна получают из формулы:

$$l_{кр.усл} = \frac{M_{кр.усл}}{\Delta}$$

Для этого расчетный кренящий момент ($M_{кр.\ усл.}$), согласно Эквиваленту ИМКО, определяется при условном смещении зерна:

- на 15° в полностью заполненном помещении;
- на 25° в частично заполненном помещении.



2/3 избыточной площади пустоты перемещаются к диаметральной плоскости.

1/3 избыточной площади пустоты перемещаются к поднятому борту.

Рис. 67

Расчетная величина подпалубных пустот тем больше, чем выше подпалубная балка и чем больше расстояние от люка до борта.

Считается, что 4 *м* – оптимальная величина этого расстояния с точки зрения качества штивки. В зависимости от этого расстояния предусмотрены стандартные высоты пустот (табл. В 1-1 Кодекса).

Зерно в не полностью заполненном помещении должно быть расштивано и закреплено одним из методов рекомендованных Кодексом ИМО.

При расчете остаточной площади диаграммы статической остойчивости применяется следующая методика.

На ДСО, построенной в масштабе плеч, по оси абсцисс откладываем угол статического крена 12°, получаемый от пересыпания зерна, и из точки *Г* восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой ДСО – точка *Б*.

Из точки *Б* проводим горизонтальную прямую на ось ординат, точка *А*. Отрезок *0А* соответствует величине приведенного плеча кренящего момента $l_{кр}$ от пересыпания зерна до угла 12°, т.е. $0A = l_{кр}$.

Из точки *С*, соответствующей углу крена 40°, восстанавливаем перпендикуляр и откладываем на нем отрезок *СВ*, равный $0{,}8 \cdot l_{кр}$ ($CB = 0{,}8\ l_{кр}$).

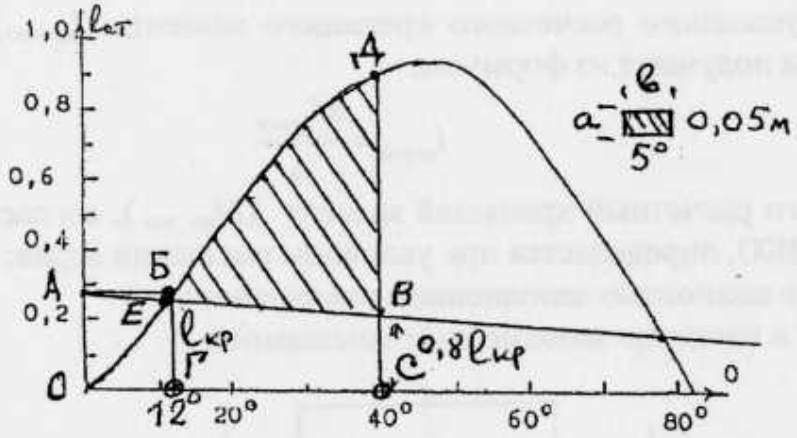


Рис. 68

Соединяем прямой линией точки *А* и *В*.

Площадь ДСО, заключенная между точками *ЕДВ* и есть нормируемая остаточная площадь ДСО.

Величину остаточной площади ДСО рассчитывают с помощью палетки, разграфив ее прямоугольниками выбранного размера (масштаба), и подсчитав площадь одного из прямоугольников.

Для примера, в нашем случае, в правом верхнем углу показан прямоугольник, высота которого с учетом масштаба ДСО, a = 0,05 м, а его длина $в$ = 5° = 0,087 *рад*. Вся площадь этого прямоугольника в принятом выше масштабе равна

$$S = a \cdot в = 0{,}05\ м \cdot 0{,}087\ рад = 0{,}00435\ м \cdot рад.$$

Зная площадь одного такого прямоугольника, с помощью палетки, определяем остаточную (заштрихованную) площадь ДСО.

Суда перевозящие зерно должны быть снабжены информацией об остойчивости судна при перевозке зерна.

В Информацию об остойчивости, кроме рекомендуемых типовых вариантов загрузки судна зерном различной плотности при 100 и 10 % судовых запасов, входит вспомогательная документация для самостоятельного выполнения расчетов и методические указания по ее использованию.

ПЕРЕВОЗКА НЕЗЕРНОВЫХ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ

Перевозка незерновых навалочных грузов на транспортных судах должна производиться в соответствии с Правилами безопасной морской перевозки навалочных грузов (ННГ), разработанных в соответствии с рекомендациями по навалочным грузам ИМО и требований Правил Регистра.

Навалочные грузы относятся к разряду сыпучих грузов, которые по степени опасности разделены на три класса и размещены в трех Приложениях *А, В* и *С* Правил ННГ.

Приложение *А* – навалочные грузы, склонные к разжижению и имеющие свойства сцепления.

Приложение *В* – химически опасные навалочные грузы, часть из которых имеет свойства сцепления, а часть этих свойств не имеет.

Приложение *С* – навалочные грузы не склонные к разжижению и не опасные в химическом отношении, часть из которых имеет сцепление. Грузы по Приложениям *В* и *С* еще подразделяются на:

– грузы, смещающиеся подобно зерну;

– грузы, смещение которых отличается от зерна.

Необходимо помнить, что грузы, поименованные в Приложениях *В* и *С*, по виду смещения подразделяются еще на два свойства:

– грузы, не имеющие сцепления, сдвигаются тонкими слоями;

– грузы, имеющие сцепление, имеют свойства обрушиваться блоками.

Кроме этого, навалочные грузы по степени опасности в отношении свойства смещения делятся на две категории:

– 1-я категория – это грузы с углом естественного откоса 30° и менее;

– 2-я категория – это грузы с углом естественного откоса 30°и более.

Угол естественного откоса сыпучего груза определяется по методике, рекомендованной Правилами ННГ, когда специальный ящик специальным устройством наклоняется с угловой скоростью 0,3° в *сек* до начала массового осыпания груза, а угол измеряется по трем наклонениям. Либо этот угол определяется методом высыпания груза на плоскую горизонтальную поверхность через воронку и формируется конус до начала осыпания. Величина угла естественного откоса замеряется угломером.

Угол естественного откоса сыпучего груза зависит от формы, размеров, шероховатости поверхности частиц и может от этого колебаться:

– для пшеницы..... от 16 до 38°;

– для угля ..... от 30 до 45°;

– для рудных концентратов от 25 до 50°.

Особую опасность при перевозке навалочных грузов представляет содержание влаги (Приложение *А*). При повышенной влажности, под действием вибрации корпуса, усадки и уплотнения груза, влага выдавливается в верхние слои и верхний слой груза превращается в кашеобразное состояние, способствующее смещению. Для всех навалочных грузов, склонных к разжижению, установлены допустимые нормы содержания влаги, значение которых указано в Правилах ННГ.

В процессе погрузки такого груза необходимо постоянно контролировать влажность груза по лабораторным данным, либо определять самостоятельно по методике указанной в Правилах ННГ.

Особую опасность представляет навалочный груз зимой, при хранении на открытых площадках из-за сложности контроля его влажности.

Следует помнить и о том, что угол естественного откоса существенно зависит от многих факторов и обстоятельств, так угол естественного откоса ЗЕРНА при вибрации корпуса судна уменьшается примерно в два раза.

Значение углов естественного откоса указывается в Правилах ННГ, а для некоторых видов груза приведено в этой таблице.

Таблица 8

Груз	Угол естественного откоса – α	Коэффициент внутреннего трения – f
Агломерат железной руды	45	1,000
Гравий	25 - 45	0,466 - 1,000
Кокс	30 - 50	0,577 - 1,129
Кукуруза	35 - 40	0,700 - 0,839
Пшеница	25 - 35	0,466 - 0,700
Рис	40	0,839
Руда железная	35 - 37	0,700 - 0,754
Сахар	50	1,192
Уголь каменный	27 - 35	0,510 - 0,700
Цемент	27 - 40	0,510 - 0,839
Ячмень	25 - 45	0,466 - 1,000

Особенностью навалочного груза является способность уплотнения нижнего слоя под тяжестью верхнего, поэтому центр тяжести штабеля груза не совпадает с его геометрическим центром, так, штабель серного колчедана высотой 4 *м* имеет центр тяжести на высоте 192 *см*, и если этого не учитывать, то будет допущена ошибка в расчетах значения метацентрической высоты. Способность груза изменять положение центра тяжести, характеризуется коэффициентом уплотнения, который имеет значения:

Кокс ..... 1,14-1,24. Рис 1,17
Пшеница.. 1,05-1,13 Руда 1,14-1,15
Песок .....1,16-1,29 Уголь каменный…1.20-1,21

Перед погрузкой навалочного груза администрация судна должна быть обеспечена соответствующей технологической документацией и

всеми сведениями о фактической и максимально-допустимой влажности, величине угла естественного откоса и физико-химических свойствах груза. Необходимо учитывать, что в настоящее время свойства навалочных грузов изучены не полностью, поэтому, на грузы, не поименованные в Приложениях, необходимо требовать от отправителя все данные по грузу, ссылаясь на Правило 2, главы VI СОЛАС.

При перевозке незерновых навалочных грузов должны выдерживаться в заданных пределах следующие критерии безопасности:

λ_1 – критерий несмещаемости, зависит от качества штивки;

λ_2 – критерий неразжижаемости;

λ_3 – критерий остойчивости при разжижении груза;

λ_4 – критерий остойчивости при "СУХОМ" смещении груза;

λ_5 – критерий невозгораемости груза;

λ_6 – критерий незагазованности атмосферы грузовых помещений.

Под критерием остойчивости при "СУХОМ" смещении груза λ_4 понимают дополнительные требования к остойчивости, которые обеспечивают безопасность при смещении груза на неповрежденном судне в течение всего рейса.

В соответствии с этими требованиями:

– метацентрическая высота на весь период рейса, с поправками на свободную поверхность жидкости, должна быть не менее 0,7*м*;

– угол статического крена от смещения груза не должен превышать величину 12°;

– на диаграмме статической остойчивости чистая (остаточная) площадь диаграммы, рассчитанная по методике описанной выше, должна быть не менее 0,12 *м·рад*.

При расчете кренящего момента от смещения груза $M_{кр}$ принимается допущение, что его плоская поверхность, в результате равнообъемного смещения, наклоняется на угол в 25°.

При перевозке навалочных грузов не имеющих свойства сцепления, Приложения *B* и *C*, с углом естественного откоса в 30° и менее, необходимо помнить, что такие грузы должны перевозиться в соответствии с требованиями, регламентированными для перевозки зерна, т.е. в соответствии с требованиями Международного кодекса по безопасной перевозке зерна насыпью.

Необходимо помнить, что когда в твиндеках или частично заполненных трюмах перевозится навалочный груз, заподозренный в смещаемости, или груз, в отношении которого нет доказательств его несмещаемости, на судне должны быть установлены продольные переборки (шифтингбордсы) и поперечные выгородки (бинсы), согласно

требований Раздела 2, п. 2.1.3.5 Правил перевозки незерновых навалочных грузов.

ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ ПОПУТНОГО ВОЛНЕНИЯ

При плавании судна в штормовых условиях на попутном волнении или волнении с кормовых курсовых углов, характеристики его основных мореходных качеств (остойчивости, качки и управляемости) существенно изменяются.

Как уже отмечалось, остойчивость судна характеризуется восстанавливающим моментом $M_в$ или его плечом l_{cm}., которые, согласно формулы

$$l_{cm} = l\phi - (Z_g - Z_c) \cdot Sin\theta ,$$

представляют собой разность плеч остойчивости формы и веса:

– первое слагаемое в этой формуле определяется формой подводной части корпуса и, следовательно, при плавании судна в условиях штормового моря непрерывно изменяется.

– второе слагаемое, плечо остойчивости веса, остается неизменным.

Физическую сущность этого явления рассмотрим на примере судна, на которое действует кренящий момент, вызывающий крен судна на угол θ, рис. 69.

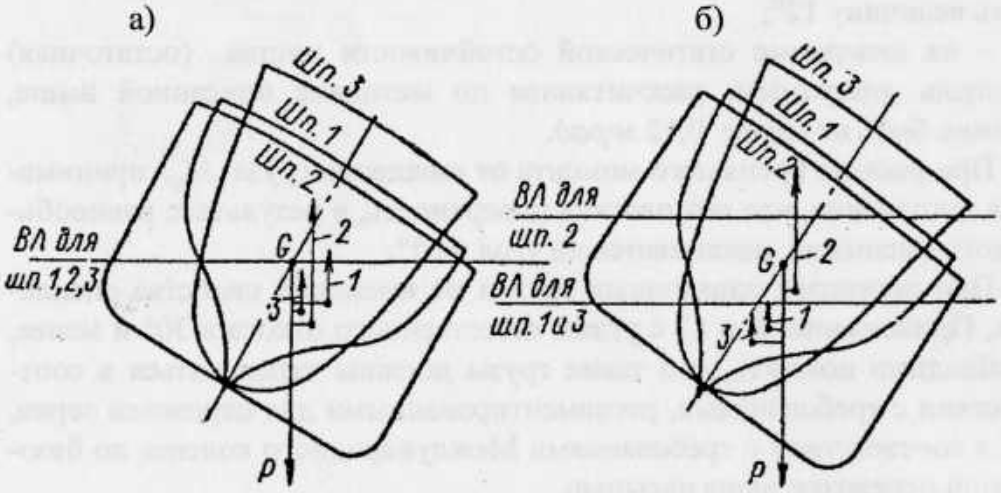


Рис. 69. Плечи остойчивости отдельных отсеков судна

Разобьем корпус судна на 3 элементных отсека 1, 2, 3 и в каждом отсеке выделим по одному шпангоуту (Шп. 1, Шп. 2, Шп. 3) в итоге получается, что эти отсеки будут иметь различные обводы.

При плавании на тихой воде все шпангоуты имеют одну и ту же действующую ватерлинию *ВЛ* , а поскольку, обводы корпуса в сред-

ней части, Шп. 2, имеют более полные обводы, то и плавучесть судна создается в основном за счет второго отсека. Силы поддержания обозначаем векторами 1, 2, 3 и направлены они вверх по нормали к действующей ватерлинии.

Если судно находится на вершине волны (позиция б), то осадка по среднему шпангоуту будет больше, чем осадка шпангоутов оконечностей судна (1-го и 3-го),поэтому объем средней части погруженной в воду увеличится, а объемы в оконечностях уменьшатся.

Разность между значениями сил поддержания 2 и сил (1 и 3) резко возрастет, а плечи остойчивости, следовательно, и восстанавливающие моменты отсеков 1 и 3 имеют отрицательное значение, что наглядно видно на рисунке (позиция б).

Поскольку восстанавливающий момент судна является суммой восстанавливающих моментов отсеков 1, 2, 3 то за счет уменьшения восстанавливающих моментов отсеков 1 и 3 остойчивость судна, находящегося на вершине волны, также уменьшится. В зависимости от положения судна на волне изменяется и форма диаграммы статической остойчивости.

На рис. 70 показано, как меняется форма диаграммы статической остойчивости в зависимости от положения судна относительно гребня волны. Видно, что кривые, характеризующие остойчивость судна на вершине волны, располагаются значительно ниже кривых, характеризующих его остойчивость на тихой воде.

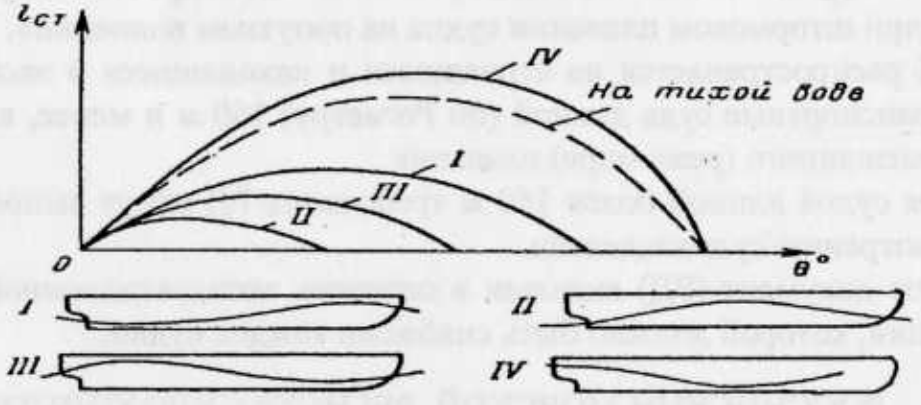


Рис. 70. Диаграмма статической остойчивости при разных положениях судна на волне

Такое положение судна может наблюдаться как на встречном, так и на попутном волнении.

Однако на встречном волнении гребень волны проходит очень быстро вдоль корпуса и судно не успевает реагировать на уменьшение остойчивости.

При ходе судна на попутном волнении оно меняет свое положение относительно волнового профиля, в зависимости от соотношения скоростей судна и волны и при скорости судна близкой к скорости бега волны, может задержаться длительное время на гребне.

Когда судно находится на гребне волны, либо на переднем склоне волны, оно как бы подхватывается волной, скорость его быстро нарастает, достигая скорости бега волны. В результате этого появляются силы инерции, направленные вдоль бега волны. Одновременно, при движении на попутном волнении, устойчивость судна на курсе резко ухудшается за счет уменьшения осадки кормовой оконечности судна, и оно начинает рыскать, а при отклонении его от курса возникает поперечная составляющая сила инерции, которая вместе с гидродинамическими силами образует кренящий момент. Значение этого кренящего момента зависит от скорости судна, угла отклонения от курса и от угловой скорости рыскания. Наличие этого кренящего момента создает дополнительные условия, способствующие потере остойчивости при движении судна на попутном волнении.

Это явление называется БРОЧИНГОМ и проявляется с наибольшей вероятностью при соотношении $\lambda/L = 1\text{-}1.3$, дифференте на нос и малой загрузке.

Для избежания брочинга следует избегать попутного волнения или снижать скорость судна на 30-40%.

Департаментом морского транспорта утвержден руководящий документ – РД 31.00.57.2 - 91 «Выбор безопасных скоростей и курсовых углов при штормовом плавании судна на попутном волнении».

РД распространяется на строящиеся и находящиеся в эксплуатации транспортные суда длиной (по Регистру) 160 *м* и менее, включая суда смешанного (река-море) плавания.

Для судов длиной более 160 *м* требования РД могут выполняться по усмотрению судовладельца.

Этот документ (РД) включен в перечень эксплуатационной документации, которой должно быть снабжено каждое судно.

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА И ЕГО ФУНКЦИИ

В России деятельность классификационного общества – Русского Регистра официально началась с 1914 года.

С ноября 1995 года Регистр России именуется – Российский Морской Регистр судоходства. Юридической основой Регистра являются КТМ и Устав Регистра.

Регистр является государственным органом технического надзора,

классификации гражданских судов, работает по поручению правительства и выполняет функции:

– устанавливает технические требования, обеспечивающие условия безопасного плавания судна в соответствии с их назначением, охраны человеческой жизни и надлежащей перевозки грузов;

– предотвращение загрязнения с судов, осуществляет надзор за выполнением этих требований, производит классификацию судов, устанавливает валовую и чистую вместимость;

– осуществляет технический надзор за проектированием, постройкой, безопасной эксплуатацией и ремонтом судов, производит классификационное освидетельствование судов;

– осуществляет технический надзор за судовыми холодильными установками;

– создает и совершенствует Правила Регистра;

– рассматривает и согласовывает проекты стандартов и технические требования к продукции, выпускаемой для судостроения;

– от имени правительства России и по поручению правительств других стран осуществляет, в пределах своей компетенции, технический надзор за выполнением требований международных конвенций;

– производит освидетельствование судов и возобновление класса после производства ремонта или аварий.

Судну, которое удовлетворяет требованиям Правил Российского морского Регистра судоходства по качеству применяемого материала, прочности корпуса, мореходным качествам и снабжению, присваивается класс Регистра и выдается классификационное свидетельство.

Основной символ класса самоходного судна, построенного по правилам и под надзором Регистра, обозначается знаком КМ ✪,
где К – корпус; М – механизмы; ✪ – условный знак Российского Регистра.

Если судно было построено под надзором другого, признанного Российским Регистром, классификационного органа, а затем ему был присвоен класс Российского Регистра, то основной символ класса обозначается знаком КМ . ☆

К основному символу знака класса Регистра могут быть добавлены другие знаки, например:

КМ✪ ЛУ4 2 I AI ОВНМ П1В, где

КМ✪ – основной символ класса Регистра;
ЛУ4 – символ судов арктического плавания, таблица 2.2.3.2;
2 – символ знака деления на отсеки;
I – символ знака ограничения района плавания;
AI – символ знака автоматизации;

ОВНМ – знак управления одним вахтенным на мостике;

П1В – знак оснащения средствами борьбы с пожаром на других судах.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ДЛЯ КАПИТАНА

В соответствии с требованиями Норм остойчивости на каждое судно выдается Информация об остойчивости судна для капитана, содержащая все сведения для оценки остойчивости в эксплуатационных условиях.

Информация об остойчивости подписывается представителями КБ завода-строителя, должна быть одобрена Регистром и должна иметь на титульном листе штамп Регистра.

Информация об остойчивости является документом строгой отчетности и должна передаваться капитанами под роспись.

В начале Информации приводятся общие сведения о судне:

- тип и название судна;
- регистровый номер, порт приписки, место и год постройки;
- категория по остойчивости и район плавания;
- дата и название организации проводившей кренование, на основании которых определены вес судна порожнем и положение ЦТ, водоизмещение порожнем, осадка порожнем, отстояние ЦТ от киля и миделя и т.д.

Далее, в Информации об остойчивости, указываются нижние пределы основного и дополнительных критериев остойчивости, критерий погоды и угол максимума, максимальное плечо и угол заката диаграммы статической остойчивости и начальная метацентрическая высота с учетом влияния свободной поверхности жидких грузов.

В информации об остойчивости приводятся несколько типовых случаев нагрузки, для которых КБ заранее делает все необходимые расчеты.

Расчеты остойчивости при основных случаях нагрузки, даются в табличной форме.

Для грузовых судов основные случаи загрузки приняты следующие:

- с полным грузом и 100% запасов;
- с полным грузом и 10% запасов;
- без груза со 100% запасов;
- без груза с 10% запасов.

В информации об остойчивости даны выводы и рекомендации и приводится пример самостоятельного расчета остойчивости.

НОРМИРОВАНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ

Требования к остойчивости морского судна регламентируются общими требованиями к остойчивости Российского морского Регистра судоходства.

Согласно Правилам, остойчивость судна проверяют по основному и дополнительным критериям.

По основному критерию остойчивости безопасность плавания проверяется в штормовую погоду.

Судно должно, не опрокидываясь, противостоять одновременному действию динамически приложенного давления ветра и бортовой качки при наихудшем, в смысле остойчивости, варианте нагрузки, т.е. должно соблюдаться условие при котором $M_{кр(v)} \le M_{опр(c)}$.

Регистром установлены для грузовых судов 5 (пять) критериев остойчивости, которые проверяются на судне после расчета остойчивости и после окончания погрузки и построения диаграмм статической и динамической остойчивости.

Критерии остойчивости:

1-й критерий – КРИТЕРИЙ ПОГОДЫ $K = \dfrac{M_{опр(c)}}{M_{кр(v)}} \ge 1$.

2-й критерий – МАКСИМАЛЬНОЕ ПЛЕЧО ОСТОЙЧИВОСТИ (l_{max}) должно быть:

- для судов длиной более 105 м $l_{max} \ge 0{,}2$ *м*;
- для судов длиной менее 80 м $l_{max} \ge 0{,}25$ *м*.

3-й критерий – УГОЛ ЗАКАТА диаграммы статической остойчивости ($\theta_{зак}$) должен быть не менее 60° в обычных условиях, и не менее 55° с учетом обледенения судна

$$\theta_{зак} \ge 60°.$$

4-й критерий – МАКСИМУМ диаграммы статической остойчивости должен наступать при крене не менее 30°

$$\theta_{max} \ge 30°.$$

5-й критерий – НАЧАЛЬНАЯ метацентрическая высота h, с учетом поправок на свободную поверхность жидких грузов, при всех вариантах загрузки должна быть положительной

$$h \ge 0°.$$

РАСЧЕТ КРИТЕРИЯ ПОГОДЫ

В эксплуатационных условиях достаточность остойчивости судна проверяется экипажем.

Остойчивость судна, по основному критерию ПОГОДЫ K, рассчитывается в соответствии с Правилами Российского морского Регистра судоходства, 1999г. т.1. ч. IV по формуле:

$$K=\frac{M_{опр(с)}}{M_{кр(v)}}\geq 1$$

Порядок расчета:

1. Величину кренящего момента от действия ветра $M_{кр(v)}$ находим из формулы:

$$M_{кр(v)}=0.001\cdot P_v\cdot A_v\cdot Z, \text{ где}$$

$M_{кр(v)}$ – кренящий момент от действия ветра в *т/м*;
A_v – площадь парусности судна в $м^2$;
Z – отстояние центра парусности судна от действующей ватерлинии;
P_v – условное расчетное давление ветра в *Па*, или $кг\cdot м^2$.

Величина P_v выбирается из таблицы 2.1.2.2. т.1. ч.IV Регистра. Входными данными в таблицу являются:

– район плавания;
– Z – отстояние ЦП судна от действующей ватерлинии.

Значения A_v и Z выбираются из КРИВЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЖА. При отсутствии таких КРИВЫХ значения A_v и Z получают расчетным путем, табл. 9 (по Регистру табл. 2.1.2.2.).

Таблица 9

Давление ветра /P_v/ в *Па*

Район плавания судна	Z, м													
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3.5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0м и более
Неограниченный	—	706	785	863	922	971	1010	1049	1079	1108	1138	1167	1196	1216
Ограниченный I	0,567 давления для неограниченного района													
Ограниченный II	0,275 » » » » » » » »													

Отстояние центра парусности от действующей ватерлинии рассчитывается по формуле:

$$Z=\frac{S_1\cdot Z_1+S_2\cdot Z_2+.....+S_n\cdot Z_n}{S_1+S_2+.....+S_n}$$

где $S_1;\ S_2;\ S_3;\ ...\ S_n$ – площади отдельных частей судна;
$Z_1;\ Z_2;\ Z_3;\ ...\ Z_n$ – отстояние центров тяжести отдельных площадей борта от действующей ватерлинии.

2. Минимальный (условный) опрокидывающий момент $M_{опр(с)}$ можно определить по диаграммам статической либо динамической остойчивости, если диаграммы остойчивости построены в масштабе работ.

Если диаграммы остойчивости построены в масштабе плеч, то величина минимального опрокидывающего момента $M_{опр(с)}$ рассчитывается по формуле:

$$M_{опр(с)} = l_{опр} \cdot \Delta \text{, где}$$

$l_{опр}$ – минимальное плечо опрокидывающего момента;

Δ – массовое водоизмещение судна.

Для определения минимального плеча опрокидывающего момента $l_{опр.мин}$ необходимо рассчитать амплитуду бортовой качки $\theta_{1г}$.

Амплитуда качки, в градусах, для судна с круглой скулой, не снабженного скуловыми килями и брусковым килем, вычисляется по формуле:

$$\theta_{1г} = X_1 \cdot X_2 \cdot Y \cdot \text{, где}$$

X_1 и X_2 – безразмерные множители;

Y – множитель (град) принимается по табл. 10 (Регистр ч.IV т.1 табл. 2.1.3.1-1.) в зависимости от района плавания и отношения, $\sqrt{h_o} / B$, где

B – наибольшая ширина судна;

h_o – начальная метацентрическая высота.

Таблица. 10

Множитель Y

Район плавания судна	$\sqrt{h_o} / B$									
	0.04 и менее	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0.10	0.11	0,12	0.13 и менее
Неограниченный Ограниченный I	24.0	25.0	27,0	29,0	30.7	32,0	33,4	34.4	35,3	36,0
Ограниченный II	16,0	17,0	19,7	22.8	25.4	27.6	29,2	30,5	31,4	32,0

Значение множителя X_1 принимается из табл. 11 (Регистр табл. 2.1.3.1-2) в зависимости от величины отношения B/d, где

B – наибольшая ширина судна;

D – средняя осадка по грузовую ватерлинию.

Таблица 11

Множитель X_1

B/d	X_1	B/d	X_1
2.4	1.0	3.0	0,90
и менее		3,1	0.88
2,5	0,98	3,2	0,86
2.6	0,96	3.3	0,84
2,7	0,95	3.4	0,82
2,8	0,93	3,5	0,80
2,9	0,91	и выше	

Значение множителя X_2 принимается из таблицы табл. 12 (Регистр табл. 2.1.3.1-3) в зависимости от коэффициента общей полноты судна C_B

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d}.$$

Таблица 12

Множитель X_2

$C_в$	0,45 и менее	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7 и более
X_2	0.75	0,82	0,89	0,95	0.97	1.0

Если судно имеет скуловые кили или брусковый киль, или то и другое вместе, амплитуда бортовой качки должна вычисляться по формуле:

$$\theta_{2r} = k \cdot \theta_{1r},$$

где θ_{1r} – амплитуда качки судна без скуловых килей;

k – коэффициент.

Значение коэффициента k принимается из табл. 13 (Регистр табл. 2.1.3.2 в зависимости от величины отношения

$$\frac{A_k}{L \cdot B}, \text{ где}$$

A_k – суммарная габаритная площадь скуловых килей, либо площадь брусковой поверхности брускового киля в $м^2$;

L и B – длина и ширина судна, $м$.

Таблица 13

Коэффициент k

$\frac{A_к}{LB}$ %	0	1,0	1.5	2.0	2.5	3.0	3,5	4.0 и более
k	1,00	0.98	0,95	0,88	0,79	0,74	0,72	0.70

Расчетные значения амплитуды качки следует округлять до целых градусов.

После расчета амплитуды бортовой качки θ_r приступаем к определению величины опрокидывающего момента или плеча опрокидывающего момента.

При использовании диаграммы динамической остойчивости ДДО (рис.71):

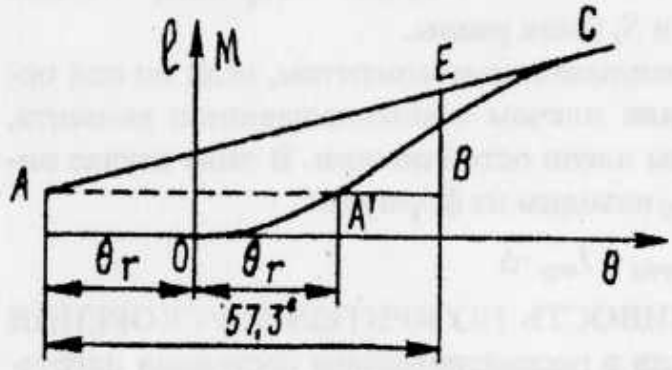


Рис. 71. Определение опрокидывающего момента по диаграмме динамической остойчивости

– из начала координат ДДО вправо откладываем амплитуду бортовой качки и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой, т. A^1;

– из точки A^1 влево проводим прямую, параллельную оси абсцисс и на ней влево откладываем отрезок A^1A равный двойной амплитуде качки $A^1A=2\theta_r$, точка A именуется исходной точкой;

– из точки A проводим касательную AC к диаграмме динамической остойчивости;

– из точки A вправо откладываем отрезок AB, равный 57,3°;

– из точки B восстанавливаем перпендикуляр BE до пересечения с касательной AC.

Если ДДО построена в масштабе работ, то отрезок BE – есть величина опрокидывающего момента, $M_{опр(с)}$.

Если ДДО построена в масштабе плеч, то отрезок BE – есть величина плеча опрокидывающего момента $l_{опр(с)}$, откуда

$$M_{опр(с)} = l_{опр} \cdot \Delta,$$

где Δ – массовое водоизмещение.

При использовании диаграммы статической остойчивости ДСО эта задача решается так:

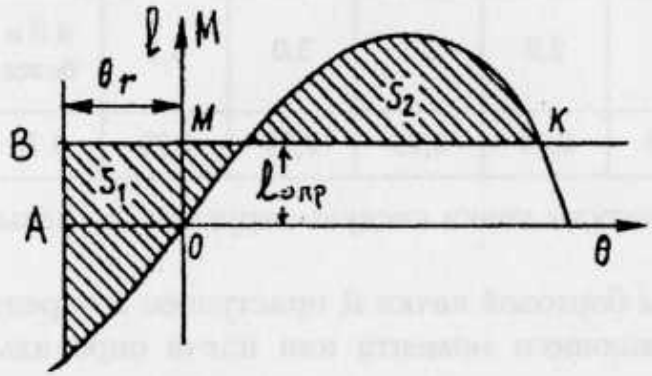


Рис. 72. Определение опрокидывающего момента по диаграмме статической остойчивости

– ДСО продолжаем в сторону отрицательных углов крена (влево);

– от начала координат влево откладываем амплитуду качки θ_r, получим точку A;

– из точки A вверх и вниз восстанавливаем перпендикуляр; подбираем прямую BMK параллельную оси абсцисс таким образом, чтобы заштрихованные площади S_1 и S_2 были равны.

Ордината ОМ будет опрокидывающим моментом, если по оси ординат отложены моменты, или плечом опрокидывающего момента, если по оси ординат отложены плечи остойчивости. В этом случае опрокидывающий момент $M_{опр(с)}$ находим из формулы:

$$M_{опр(с)} = l_{опр} \cdot \Delta$$

6-й критерий – ОСТОЙЧИВОСТЬ ПО КРИТЕРИЮУСКОРЕНИЯ K^* считается приемлемой, если в рассматриваемом состоянии нагрузки, расчетное ускорение (в долях g) не превышает допустимого значения, т.е. когда выполняется условие при котором

$$K^* = 0.3 / \alpha_{расч} \geq 1$$

Остойчивость сухогрузного судна по критерию ускорения нормируется при вариантах сложной загрузки, либо при частичной или полной загрузке трюмов грузами с малым удельным погрузочным объемом (МУПО).

При этом, $\alpha_{расч}$ расчетное ускорение (в долях g) определяется по формуле:

$$\alpha_{расч} = 1{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot B \cdot m^2 \cdot \theta_r, \text{ где}$$

m – нормируемая частота собственных колебаний судна, определяемая по формуле:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{h_o}}, \text{ где}$$

m_o – коэффициент, определяемый из табл. 14. (Регистр т.1.ч.IV табл.3.12.3), в зависимости от величины отношения

$$\frac{h_o}{\sqrt[3]{\nabla}} \cdot \frac{B}{Z_g}$$

h_o – начальная метацентрическая высота;
B – ширина судна;
θ_r – расчетная амплитуда качки;
∇ – водоизмещение судна, $м^3$;
Z_g – отстояние ЦТ судна от основной плоскости.

Таблица. 14

Коэффициент m_o

$\frac{h_o}{\sqrt[3]{\nabla}} \cdot \frac{B}{Z_g}$	m_o	$\frac{h_o}{\sqrt[3]{\nabla}} \cdot \frac{B}{Z_g}$	m_o
0,10 и менее	0.34	1,0	1,96
		1,5	2,45
0,15	0,42	2,0	2,69
0,25	0.64	2,5	2,86
0,50	1.13	3,0	2,94
0,75	1.58	и более	

В отдельных случаях, по обоснованному представлению судовладельца, Регистр может допустить эксплуатацию судна при критерии ускорения меньше единицы $K^* < 1$. В этих случаях вводится дополнительное ограничение по погоде. При этом допустимая высота волны 3%-ной обеспеченности, определяется, в зависимости от критерия ускорения K^*, и выбирается по табл. 15 (Регистр, т.1.ч.IV таблица 3.12.4.).

Таблица 15

K^*	1,0 и более	1,0 - 0.75	0,75 и менее
Допустимая высота волны 3%-ной обеспеченности, *м*	6,0	5,0	4,0

Конкретные варианты нагрузки при $K^* < 1$ должны быть приведены в Информации об остойчивости судна для капитана.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОСТОЙЧИВОСТИ

Специализированные суда, в соответствии с требованиями Российского Регистра судоходства, нормируются по остойчивости дополнительно.

ПАССАЖИРСКИЕ СУДА

Начальная остойчивость пассажирского судна должна быть такой, чтобы при реально возможном скоплении пассажиров на верхней доступной пассажирам палубе у одного борта, возможно ближе к фальшборту, угол статического крена был не более угла, при котором палуба надводного борта входила в воду или скула выходила из воды, смотря по тому, какой угол меньше:

– во всяком случае, угол крена при скоплении пассажиров на одном борту не должен превышать 10°;

– угол крена судна от совместного действия кренящего момента от скопления пассажиров на одном борту M_{h1} и кренящего момента на установившейся циркуляции M_{h2} не должен превышать 12°.

При расчете кренящего момента, от скопления пассажиров на одном борту, принимается следующее допущение:

– плотность пассажиров 6 человек на 1 $м^2$;

– вес одного пассажира 75 *кг*.

ЛЕСОВОЗЫ

Укладка груза на лесовозах должна удовлетворять требованиям Правил о грузовой марке морского судна и Информации об остойчивости или Кодекса безопасной практики перевозки палубных лесных грузов.

При отсутствии сведений об удельном погрузочном объеме леса, расчет остойчивости необходимо выполнять, принимая μ=2,32 $м^3/тн$.

При отсутствии надлежащих данных о намокании груза леса, в расчетах рекомендуется увеличивать массу палубного груза на 10%.

При учете обледенения массу льда на общую площадь горизонтальной проекции открытых палуб следует принимать в 30 *кг* на 1 $м^2$.

Массу льда на площадь парусности судна следует принимать равной 15 *кг* на 1$м^2$.

При расчете обледенения верхняя поверхность палубного лесного груза рассматривается как палуба, а его боковые поверхности над фальшбортом как часть расчетной площади боковой парусности. Норма обледенения, для этих поверхностей, принимается втрое больше, чем для обычных палуб:

– для поверхности палубного леса 90 *кг* на 1 $м^2$;

– для боковой площади парусности 45 *кг* на 1 $м^2$.

Дополнительные требованиями к остойчивости лесовозов:

1. Начальная, исправленная, метацентрическая высота лесовоза должна быть не менее 0,1 *м*, а при 10% запасах не менее 0,05 *м*.

2. Угол заката диаграммы статической остойчивости, с учетом обледенения судна, должна быть не менее 55°.

КОНТЕЙНЕРОВОЗЫ

При расчете остойчивости контейнеровоза положение центра тяжести каждого контейнера по высоте принимается равным половине высоты контейнера данного типа, т.е. геометрический центр каждого погруженного на борт контейнера.

При выборе схемы размещения контейнеров на судне следует учитывать допустимые нормы нагрузки на конструкции судна.

Остойчивость контейнеровоза, для любого варианта нагрузки с контейнерами, должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Угол крена судна, определенный по диаграмме статической остойчивости, на установившейся циркуляции, либо под действием постоянного бокового ветра, должен быть не более половины угла, при котором верхняя палуба входит в воду, во всяком случае, этот угол крена не должен превышать 15°.

2. Исправленная начальная метацентрическая высота, при вариантах нагрузки с контейнерами, без учета обледенения, должна быть не менее 0,15 *м*.

При всех вариантах расчета остойчивости следует учитывать поправку на влияние свободной поверхности жидких грузов.

По согласованию с Регистром в случаях, когда палубный груз контейнеров размещается только на крышках грузовых люков, вместо угла входа кромки верхней палубы может приниматься меньший из углов входа в воду верхней кромки комингса люка или входа контейнера в воду (в случае, когда контейнеры выходят за пределы этого комингса).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ПАРУСНОСТИ СУДНА

В процессе нормирования остойчивости, при расчете критерия погоды K, нам необходимо найти значение кренящего момента

$$M_{кр(v)} = 0{,}001 \cdot P_v \cdot A_v \cdot Z, \text{ где}$$

Z – отстояние центра парусности судна от действующей ватерлинии;

A_v – боковая площадь парусности судна;

P_v – условное расчетное давление ветра в *Па*;

Учитывая, что боковая проекция корпуса судна с грузом на палубе представляет сложную геометрическую фигуру, значения Z и A_v рассчитываются по формулам:

$$Z = \frac{S_1 \cdot Z_1 + S_2 \cdot Z_2 + \ldots + S_n \cdot Z_n}{S_1 + S_2 + \ldots + S_n}, \qquad A_v = S_1 + S_2 + \ldots + S_n, \text{ где}$$

$Z_1, Z_2, \ldots, Z_n$ – отстояние ЦП отдельных площадей боковой поверхности судна от действующей ватерлинии;

$S_1, S_2, \ldots, S_n$ – площади отдельных боковых проекций судна.

Для отыскания центра парусности (ЦП) (тяжести) судна, чертеж боковой проекции судна разбиваем на ряд геометрических фигур (рис.73) и находим ЦП и площадь каждой фигуры в отдельности.

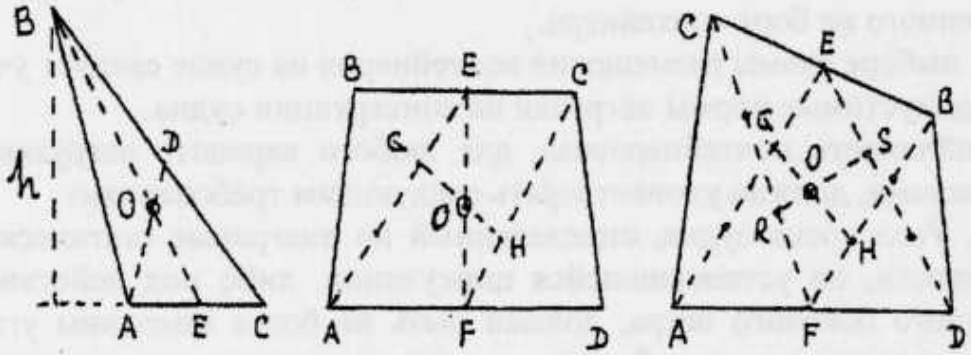


Рис. 73. Центры парусности (тяжести) фигур

В зависимости от формы фигуры эти задачи решаются так:

1. Для определения ЦП треугольника АВС необходимо две его вершины соединить прямыми линиями с серединой противоположных сторон, АД и ВЕ. Точка пересечения этих двух линий "О" и есть ЦП треугольника.

Площадь треугольника АВС определяется как произведение его высоты на половину основания АС

$$S = h \cdot \frac{AC}{2}$$

2. Для отыскания ЦП трапецеидальной фигуры АВСД делим противоположные стороны ВС и АД пополам и проводим линии EF, AE и FC. По линии АЕ, считая от точки Е, откладываем треть его длины (точка G). По линии CF, считая от точки F, откладываем треть длины (точка Н). Соединяем точки G и Н прямой линией. Точка пересечения прямых EF и GH, "О" и есть ЦП трапеции. Площадь трапеции АВСД определяется как произведение высоты на полусумму противоположных сторон АД и ВС

$$S = h \cdot \frac{AD + BC}{2}$$

3. Для определения ЦП неправильного четырехугольника АСВД делим противоположные стороны АД и СВ пополам точки Е и F. Соединяем точку Е с углами А и Д, а точку F с углами С и В прямыми линиями. На каждой из прямых ЕА и ЕД, FC и FB, соответственно от

точек E и F, откладываем по одной третьей этих отрезков, точки R,G,S,H. Соединим точки GH и RS прямыми линиями.

Точка пересечения этих прямых "О" и есть ЦП четырехугольника. Определяем *S* как сумму площадей треугольников.

Положение ЦП судна относительно осей абсцисс и ординат можно вычислить и следующим способом. В прямоугольной системе координат в масштабе вычерчивается боковой вид судна и разбивается на ряд фигур. За ось абсцисс принимается действующая ватерлиния, (рис.74)

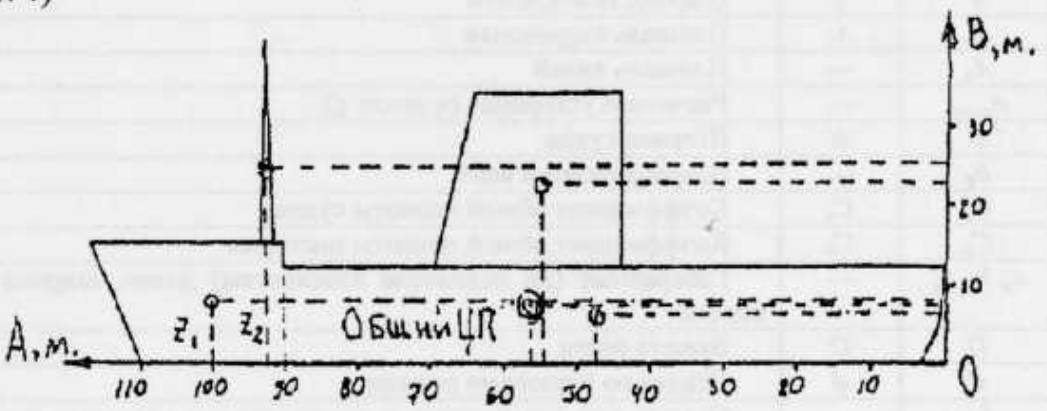


Рис. 74

Находим ЦП каждой фигуры и высчитываем площади. После этого заполняем таблицу для вычисления координат ОБЩЕГО ЦП судна:

Наименования площадей	Площади отдельных частей S_1,…	Отстояние ЦП от оси АО	Отстояние ЦП от оси ОВ	Момент (M_1) относительно оси ОА	Момент (M_2) относительно оси ОВ
Бак	157,5	8	100	1260	15750
Мачта	27	25	92	675	2784
Корпус	990	6	48	5940	47520
Надстройка	40	22	55	880	2200
Σ	1214,5			8755	68254

Разделив сумму моментов площадей относительно оси ОА на общую площадь парусности судна, получим отстояние ЦП судна от оси ОА (ватерлинии).

Разделив сумму моментов площадей относительно оси ОВ на общую площадь парусности судна, получим отстояние ЦП судна от оси ОВ.

Отложив эти расстояния от начала координат по осям ОА и 0В, получим положение ОБЩЕГО центра парусности судна.

ТАБЛИЦА ОБОЗНАЧЕНИЙ ВЕЛИЧИН, ПРИНЯТЫХ В ЧАСТИ IV РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА

Регистр	ИМО	Величина
1	2	3
Δ	---	Водоизмещение
Δ_{max}	---	Водоизмещение в полном грузу
Δ_0		Водоизмещение судна порожнем
Δl	---	Водоизмещение судна при наихудшем, по величине h и l_{max} варианте нагрузки
γ	γ	Плотность жидкости
A_v	A_v	Площадь парусности
$A_к$	---	Площадь килей
$a_{расч}$	---	Расчетное ускорение (в долях g)
B	B	Ширина судна.
b_0	---	Ширина разноса вант
$C_в$	$C_в$	Коэффициент общей полноты судна
C_b	C_b	Коэффициент общей полноты цистерны
$c_г$, $b_г$, $a_г$	---	Габаритные (по основным плоскостям) длина, ширина и высота
D	D	Высота борта
d	d	Осадка по грузовому размеру
d_{min}	---	Осадка для возможного в эксплуатации варианта минимальной нагрузки судна
$d_м$	---	Осадка в миделе
g	g	Ускорение свободного падения
h	GM	Исправленная начальная метацентрическая высота (с поправкой на свободные поверхности)
h_0	GM_0	Начальная метацентрическая высота без поправки на свободные поверхности
$h_{3\%}$	---	Расчетная высота волны 3% -ной обеспеченности
H	---	Исправленная продольная метацентрическая высота плавучего дока (с поправкой на свободные поверхности)
K	---	Критерий погоды
K^*	---	Критерий ускорения
κ	---	Коэффициент, учитывающий влияние скуловых килей
L	L	Длина судна
l	GZ	Плечо статической остойчивости с поправкой на свободные поверхности
l_{max}	GZ_m	Максимальное плечо статической остойчивости с поправкой на свободные поверхности
l_d	l	Плечо динамической остойчивости с поправкой на свободные поверхности
l_1, l_{d1}	---	Плечи статической и динамической остойчивости при наличии постоянного кренящего момента
l_F	---	Плечо формы относительно ц.в.
$l_м$	---	Плечо формы относительно метацентра
l_p	---	Плечо формы относительно произвольного полюса
$l_к$	---	Плечо формы относительно основной плоскости
l_c	---	Плечо опрокидывающего момента, вычисленная с поправкой на свободные поверхности

1	2	3
l_r	---	Плечо кренящего момента
l_{dkp}	---	Динамическое кренящее плечо, характеризующее действие условного рывка буксирного троса
$l_{30°}$	---	Безразмерный коэффициент для определения поправки на свободные поверхности при крене 30 °
θ	θ	Угол крена
θ_f	θ_f	Угол заливания
$\theta_{зак}$	$\theta_{зак}$	Угол заката диаграммы статической остойчивости
θ_d	---	Угол входа палубы в воду
θ_b	---	Угол выхода середины скулы из воды
θ_m	θ_m	Угол крена, соответствующий максимуму диаграммы статической остойчивости
$\theta_{опр}$	---	Угол опрокидывания
$\theta_{d\Lambda}$	---	Угол динамического крена буксира от условного рывка буксирного троса
$\theta_{опр}$	---	Угол опрокидывания буксира, определяемый как абсцисса точки касания диаграммы динамической остойчивости и касательной к ней, проведенной от начала координат
θ_{1r}	θ_r	Амплитуда качки судна с круглой скулой
θ_{2r}	θ_r	Амплитуда качки судна с килями
M_c	M_c	Опрокидывающий момент
M_v	M_v	Кренящий момент от давления ветром
M_{h1}	M_h	Кренящий момент от скопления пассажиров
M_{h2}	M_h	Кренящий момент от циркуляции
M_ψ	---	Дифферентующий момент от массы кранов с максимальным грузом при самом неблагоприятном случае их расположения на плавучем доке
$\Delta M_{30°}$	M_h	Кренящий момент от перетекания жидкости при крене 30°
Δm_h	---	Поправка к коэффициенту остойчивости, учитывающая влияние жидких грузов
m	---	Нормируемая частота свободных колебаний судна
Nc	---	Мощность на валу
P	P	Масса груза в трюме
P_v	P_v	Расчетное давление ветра
q	---	Расчетный скоростной напор ветра
v_m	---	Объем цистерны
v_r	---	Скорость поперечного рывка буксирного троса
X_1, X_2, X_3	---	Множители для определения амплитуды качки
y	---	Ордината центра тяжести груза от ДП
y_g	---	Бортовое смещение центра тяжести судна от ДП
Y	---	Множитель для определения амплитуды качки
z	---	Плечо парусности
z_g	KG	Возвышение центра тяжести над основной плоскостью
z_u	---	Возвышение точки подвеса буксирного гака над основной плоскостью
Z_0	---	Возвышение точки крепления вант

ЧАСТЬ II

ПРИМЕР САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАСЧЕТА ОСТОЙЧИВОСТИ

Т/Х "КОМСОМОЛЕЦ ПРИМОРЬЯ"

При составлении плана загрузки судна, расчетом должно быть показано, что остойчивость судна в течение рейса будет удовлетворять требованиям Правил Регистра, см. лист Л. 59.

Проверка остойчивости и посадки судна производится путем заполнения основного бланка.

В расчетный бланка, лист Л. 36 вписываются:

колонка 1 – порядковые номера строк;
колонка 2 – наименование грузов по нагрузкам;
колонка 3 – масса грузов в тоннах;
колонка 4 – значение координат ЦТ грузов относительно основной плоскости Z, *м*;
колонка 5 – значение статического момента в тонно-метрах, M_Z, *тм*, полученных от перемножения значений в колонках 3 и 4;
колонка 6 – начение координат ЦТ грузов относительно миделя X, *м*;
колонка 7 – значение статических моментов в тонно-метрах, M_X, *тм*, полученных от перемножения значений в колонках 3 и 6.

Рассмотрим случай загрузки 2.1 (отход), лист Л. 35 – судно с однородным грузом в трюмах при μ = 1,625 $м^3/т$, осадка по летнюю грузовую марку.

Для производства расчетов заполняем таблицу – нагрузки 2.1 (отход), лист Л. 36. Заполняем бланк в следующей последовательности:

Строка 1 – судно порожнем. Данные выбираются из протокола кренования судна, лист Л. 5.

Строка 2 – экипаж, провизия, снабжение. Данные для судна величина постоянная.

Строка 3 – судовые запасы. Для получения этих данных заполняется дополнительный бланк, лист Л. 90. Подсчитывается масса всех судовых запасов P =1527 *т* и значения статических моментов

$$M_Z = \Sigma P \cdot Z = 10486 \text{ тм}.$$

$$M_X = \Sigma P \cdot X = -60605 \text{ тм}$$

Эти данные вносятся в строку 3.

При полностью заполненных танках данные по ним выбираются из таблиц на листах Л. 72 и Л. 73, а при частично заполненных танках данные выбираются из таблиц вместимости танков, для примера лист Л. 95.

Строка 4 – груз. Заполняем колонку 3 – количество фактически погруженного груза в каждое грузовое помещение. Координаты ЦТ груза в каждом грузовом помещении выбираем из таблиц на листах Л.74 и Л.75. Высчитываем значения статических моментов M_Z и M_X, по каждому помещению, заполняем колонки 5 и 7.

Строка 5 – всего груза. Подсчитываем количество принятого груза и статические моменты по данным строки 4, где

$$P = 8200\ т, \quad M_Z = 61864\ тм \quad \text{и} \quad M_X = 46061\ тм.$$

Строка 6 – балласт. В данном варианте загрузки для уменьшения дифферента судна принимаем балласт в танки 1.2 , 1.3 и форпик. Координаты ЦТ балласта выбираем из таблиц на листах Л.90. Подсчитываем значения статических моментов по каждому помещению (танку).

Строка 7 – всего балласта. Подсчитываем массу всего балласта и суммарные статические моменты, где

$$P = 391{,}7\ т, \quad M_Z = 2815\ тм \quad \text{и} \quad M_X = 24425\ тм.$$

Строка 8 – водоизмещение судна. Сумма масс строк 1, 2, 3, 5 и 7 дают массовое водоизмещение судна $\Delta = 17375\ т$. Сумма статических моментов строк 1, 2, 3, 5 и 7 дают суммарные статические моменты

$$\Sigma M_Z = 148915\ тм, \text{ и } \Sigma M_X = -86976\ тм.$$

Находим значения координат ЦТ загруженного судна без учета поправки на свободную поверхность жидких грузов:

$$Z_g = \frac{\Sigma M_X}{\Delta} = \frac{148915\ тм}{17375\ т} = 8{,}57\ м$$

$$X_g = \frac{\Sigma M_X}{\Delta} = \frac{-86976\ тм}{17375\ т} = -5{,}01 м$$

Среднее арифметическое колонок 4 и 6 дают значения:

$$Z = 8{,}57\ м, \quad \text{и} \quad X = -5{,}01\ м.$$

Строка 9 – поправка на свободную поверхность. Учитываются три поправки: на запасы; на наливной груз; на балласт. Поправка на запасы. По вспомогательной таблице, лист Л.90, выбираем танки со свободной поверхностью и рассчитываем их статические моменты. В нашем варианте:

1) тяжелое топливо: – танк 1.10 п/б – стат. момент 694 тм;
– танк 1.11 л/б – - " - 694 тм.
2) пресная вода: – танк 4.2 п/б – стат. момент 77 тм;
– танк 4.3 л/б – - " - 77 тм;
– танк 4.6 ДП – - " - 76 тм;
– танк 4.7 л/б – - " - 60 тм.
Суммарная поправка на запасы – - " - 1678 тм;
Наливного груза нет, поправка – - " - 0 тм;
Поправка на балласт. Принимаем наибольшую поправку за свободную поверхность в балластных танках П/Б и Л/Б.
В нашем случае поправка – стат. момент 248 тм

Строка 10 – общая поправка за свободную поверхность δM_Z, *тм*.
Сложив поправки строки 10:
– на запасы 1678 тм
– на наливной груз 0 тм
– на балласт 248 тм
Общая поправка, δM_Z = 1926 тм

Строка 11 – момент M_Z расчетный, *тм*. Сумма из момента M_Z строки 8 и δM_Z строки 10 дают величину момента расчетного.

M_Z расчетный = 148915 *тм* + 1926 *тм* = 150841 *тм*

Строка 12 – возвышение центра массы судна над основной плоскостью, Zg расчетная, *м*, с учетом поправок, δM_Z строка 10.

$$Zg = \frac{M_{Z\ расч,ТМ}}{\Delta} = \frac{150841}{17375} = 8{,}68\,м$$

Строка 13 – возвышение центра массы судна Z_g допустимая, *м*.
По таблице ДОПУСТИМЫХ ВОЗВЫШЕНИЙ ЦЕНТРА МАССЫ СУДНА, лист Л.77, по массовому водоизмещению судна Δ = 17575 *т* методом интерполяции, выбираем значение величины Z_g допустимая = 9,16 *м*.

В указанной таблице 3 колонки Z_g допустимая, *м*:

1 колонка – Z_g допустимая аварийная при дифференте 0 *м*. Из этой колонки выбирается Z_g допустимая при отсутствии дифферента и удовлетворяются требования Правил по основной и аварийной остойчивости. Эта колонка используется в первую очередь при оценке остойчивости судна.

2 колонка – Z_g допустимая. В этой колонке выбирается Z_g из условия требования Правил по основной и аварийной остойчиво-

сти, при дифференте на корму 3 м во вторую очередь, когда Z_g допустимая, выбранная из колонки 1 при дифференте 0 м показывает на недостаточную остойчивость. При этом Z_g допустимая выбирается в зависимости от фактического дифферента судна, методом интерполяции.

3 колонка – Z_g допустимая. Из этой колонки выбирается при условии удовлетворения требований Правил только по основной остойчивости судна, когда не требуется обязательное выполнение требований к аварийной остойчивости судна (например, при обледенении судна). Расчетное значение Z_{gp} должно быть меньше Z_g допустимого

$$Z_g \text{ расчетная} = 8{,}68\ м < Z_g \text{ допустимая} = 9{,}16\ м$$

– остойчивость судна обеспечена.

Если это соотношение не соблюдено и менее требуемого, необходимо пересмотреть размещение грузов принять балласт, смотря по тому, что выгоднее в этих условиях.

Строка 14 – аппликата метацентра Z_m, *м*. Возвышение метацентра над основной плоскостью Z_m выбирается из таблицы ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, лист Л.76, по массовому водоизмещению судна $\Delta = 17375\ т$ с применением интерполяции:

$$Z_m = 9{,}37\ м.$$

Строка 15 – метацентрическая высота h, *м*. Расчетная метацентрическая высота без учета поправки на влияние свободной поверхности жидких грузов определяется

$$h_o = Z_m - Z_{go}$$

Z_m, строка 14, и = 9,37 *м*.

Z_{go} – аппликата центра тяжести судна без учета влияния жидких грузов, находится из формулы:

$$Z_{g_0} = \frac{M_{z,}\ строка\ 8}{\Delta} = \frac{148915\ тм}{17375\ т} = 8{,}57\ м$$

Отсюда величина метацентрической высоты:

$$h_o = Z_m - Z_{go} = 9.37\ м - 8{,}57\ м = 0{,}80\ м.$$

Поправка метацентрической высоты за влияние свободной поверхности жидкого груза δh находится из формулы:

$$\delta h = \frac{\delta Z_m\ строка\ 10}{\Delta} = \frac{1926\ тм}{17375\ т} = 0{,}11\ м.$$

В этом случае исправленная метацентрическая высота находится:

$$h = h_0 - \delta h = 0{,}80\ м - 0{,}11\ м = 0{,}69\ м.$$

Строка 16 – осадка судна. Осадка судна определяется по ДИАГРАММЕ ДИФФЕРЕНТА, либо по формулам с использованием данных из ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ судна.

Определяем осадку по формулам.

Из таблицы ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, лист Л.76 по массовому водоизмещению $\Delta = 17375\ т$, методом интерполяции, выбираем:

$d_{ср.}$ – средняя осадка судна = 8,31 *м*;

X_c – отстояние центра величины от миделя = – 1,35 *м*;

X_f – отстояние центра площади действующей ватерлинии от мидедя = – 3.42 *м*;

$M_{1м}$ - момент дифферентующий на 1 м = 20654 *тм* .

Определяем расстояние между центром тяжести и центром величины от миделя:

$$\delta X = X_g - X_c\ (м),\ \text{где}$$

$$X_g = \frac{M_x\ строка\ 8}{\Delta} = \frac{-86976\ тм}{17375\ т} = -5{,}006\ м;$$

$$\delta X = X_g - X_C = (-5.006\ м) - (-1{,}35\ м) = -3{,}656\ м.$$

Определяем дифферент судна:

$$D_f = \frac{\Delta \cdot \delta X}{M_{1м}} = \frac{17375т \cdot (-3{,}656м)}{20654тм} = -3{,}075м.$$

Осадка судна носом:

$$d_н = d_{ср} + (71 - X_f) \cdot \frac{D_f}{142} = 6.70м.$$

Осадка судна кормой:

$$d_к = d_{ср} + (71 - X_f) \cdot \frac{D_f}{142} = 9.77м.$$

Для обеспечения нормирования остойчивости, в нашем случае, необходимо построить диаграммы статической и динамической остойчивости.

Значение плеч статической остойчивости мы можем определить двумя способами:

1-й способ. По УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДИАГРАММЕ СТАТИЧЕСКИХ ПЛЕЧ ОСТОЙЧИВОСТИ, лист Л.88. Входными данными являются:

– водоизмещение $\Delta = 17575\ т$ и метовысота $h = 0{,}69\ м$.

2-й способ. По ПАНТОКАРЕНАМ (ПЛЕЧИ ОСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ), лист Л.79. По формуле:

$$l_{ст} = l_ф - Z_g \cdot Sin\theta$$

В нашем случае воспользуемся вторым способом. Из таблицы ПЛЕЧ ОСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ (ПАНТОКАРЕН), лист Л.79, по водоизмещению судна $\Delta = 17375$ *т* и по углу крена $\theta = 10°, 20°, ... 70°$ выбираем значения плеч формы l_ϕ и данные вносим в таблицу, лист Л.38.

В верхней строке таблицы заносятся значения величин $Sin\theta$. Вычисляем значения $Z_g \cdot Sin\theta$, принимая в расчет значение величины $Z_g = 8{,}681$ *м*, с учетом влияния свободных поверхностей, строка 12. Вычисленное значение на каждый угол крена заносим в таблицу.

Определяем значения плеч статической остойчивости из формулы

$$l_{cm} = l_\phi - Z_g \cdot Sin\theta$$

значения заносим в таблицу.

По одной из методик, описанных выше, вычисляем значения плеч динамической остойчивости и заносим в таблицу.

Строим диаграммы статической и динамической остойчивости. Осуществляем нормирование остойчивости в соответствии с требованиями Правил Российского морского Регистра судоходства.

При расчете критерия погоды, амплитуду бортовой качки определяем по КРИВЫМ АМПЛИТУД БОРТОВОЙ КАЧКИ, Л.81, либо по таблицам АМПЛИТУДЫ БОРТОВОЙ КАЧКИ, Л.78. В нашем случае: $\theta_{1r} = 22{,}06°$.

По диаграмме динамической остойчивости, лист Л.38, находим плечо опрокидывающего момента минимальное, $l_{опр.} = 0{,}33$ *м*.

Вычисляем опрокидывающий момент:

$$M_{опр} = l_{орп} \cdot \Delta = 0{,}33 \cdot 17375 = 5733{,}7 \text{ тм} .$$

Вычисляем кренящий момент:

$$M_{кр} = 0{,}001 \cdot P_v \cdot A_v \cdot Z = 11992{,}9 \text{ тм} .$$

Вычисляем критерий погоды:

$$K = \frac{M_{опр}}{M_{кр}} = \frac{5733{,}7}{1992{,}9} = 2{,}87$$

Таким образом по окончании загрузки мы имеем:

1. Критерий погоды $K = 2{,}87 > 1$
2. Метовысота $h = 0{,}69 > 0$
3. Максимум ДСО $\theta_{max} = 39° > 30°$
4. Максимальное плечо $l_{max} = 0{,}85 > 0{,}2$
5. Угол заката ДСО $\theta_{зак} = 70° > 60°$

т/х КОМСОМОЛЕЦ ПРИМОРЬЯ"

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА

Инспекция Тихоокеанского бассейна
ОДОБРЕНО
★ 170 ★ "03" сентября 1997г.
письмо № 170-007-11-С-214

Жигаловский А.П.

Суда типа "Кристалл-II"

557015-901-001

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
РАЗРАБ.		Куприянов		12.09.97
ПРОВ.		Олонцев		15.09.97

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ

ЛИТ	ЛИСТ	ЛИСТОВ
	1	98

ПУГ АО "ПИРМП"

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАЗМЕРЕНИЯ СУДНА

2.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

НАЗВАНИЕ	"КОМСОМОЛЕЦ ПРИМОРЬЯ" пр. N222, стр. N222)
ПОРТ ПРИПИСКИ	Владивосток
ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ НОМЕР	IMO 8306606
РАДИОПОЗЫВНОЙ	EMEK
ГОД ПОСТРОЙКИ	1982
НАЗВАНИЕ ВЕРФИ	ВИСМАР / ГДР НП верфь им. Матиаса Тезена
КЛАСС СУДНА	КМ * Л1 [1] А2
ТИП СУДНА	транспортное рефрижераторное судно
НАЗНАЧЕНИЕ	перевозка охлаждаемых грузов, рыбной муки в мешках, рыбьего жира и доставка топлива, смазочного масла, питьевой воды, провизии, снабжения, упаковочного материала промысловым судам.
РАЙОН ПЛАВАНИЯ	неограниченный
ДАЛЬНОСТЬ ПЛАВАНИЯ	8800 миль
СКОРОСТЬ ХОДА	14,5 узл
ДЛИНА НАИБОЛЬШАЯ	152,94 м
ДЛИНА МЕЖДУ ПЕРПЕНДИКУЛЯРАМИ	142,00 м
ШИРИНА	22,20 м
ВЫСОТА БОРТА	13,60 м
ОСАДКА ПО ЛЕТНЮЮ ГРУЗОВУЮ МАРКУ (от нижней кромки киля НКК)	8.307 м
ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ	17375 т
ДЕДВЕЙТ	10135 т

На судне оборудованы скуловые кили в районе 51 ...135 шп. из стенки 12 × 350 мм, прутка ø50 мм и утолщенного листа 16 × 100 мм .

2.2. СУДНО ПОРОЖНЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Наименование	P, т	Z от ОЛ, м	M_z, тм	X от ¤ , м	M_x тм
Судно порожнем. Протокол кренования т/х "Комсомолец Приморья" стр. N222	7240,0	10,15	73450	-13,28	-96112

Данные по результатам кренования

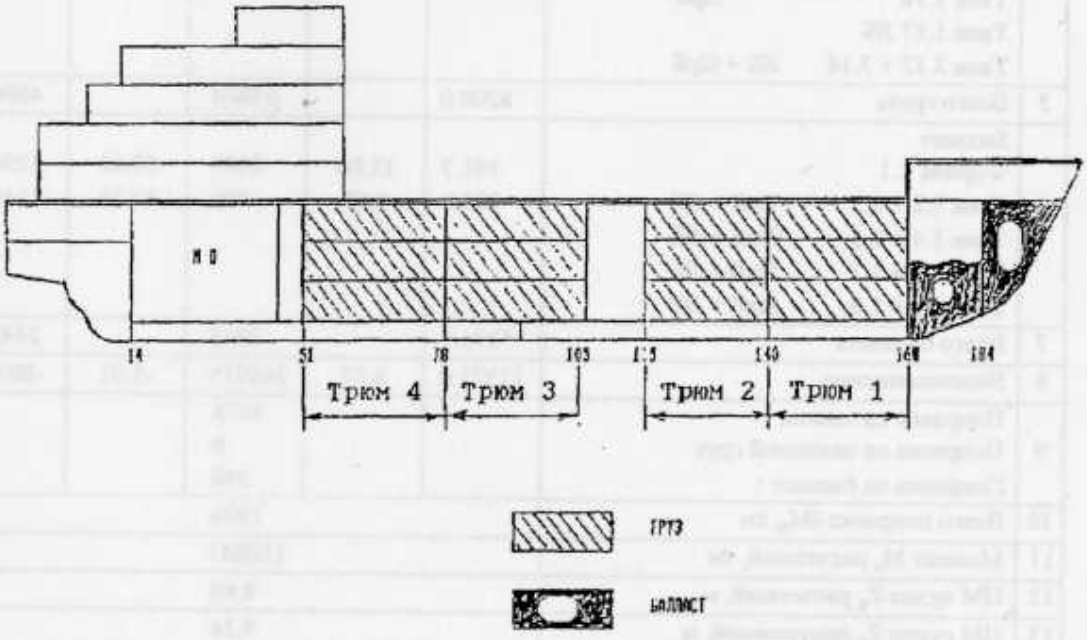
Протокол кренования	№ 996. 800.000-25.05
Название судна	«Комсомолец Приморья»
Стр. номер	222
Место кренования	НП верфь им. Матиаса Тезена, Висмар
Дата кренования	30.04.1983 г.
Протокол одобрен	Регистром СССР

Характеристики судна порожнем

Водоизмещение	Δ = 7240,0 т
Возвышение Ц.Т. от ОЛ	Z = 10,15 м
Абсцисса Ц.Т. от КП	X = 57,72 м
Абсцисса Ц.Т. от миделя	X = –13,28 м

СЛУЧАЙ НАГРУЗКИ № 2.1

СУДНО С ОДНОРОДНЫМ ГРУЗОМ В ТРЮМАХ
(μ = 1.625 м^3/т)
ПРИ ОСАДКЕ ПО ЛЕТНЮЮ ГРУЗОВУЮ МАРКУ

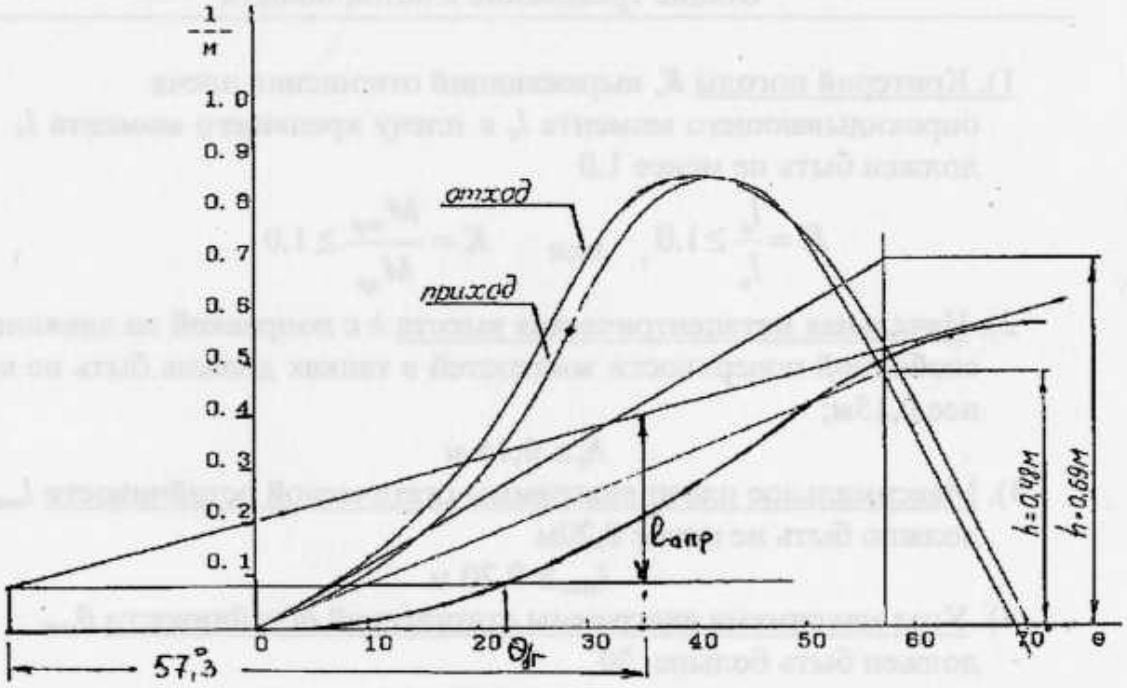


СЛУЧАЙ НАГРУЗКИ 2.1 (отход)

1	2	3	4	5	6	7
		P, т	Z, м	M_z, тм	X, м	M_x, тм
1	Судно порожнем (см лист 5)	7240.0	10.15	73450	-13.28	96112
2	Экипаж, провизия, снабжение	16.3		301		-745
3	Судовые запасы (см. лист 33)	1527.0		10486		-60605
4	ГРУЗ:					
	Трюм 1 низ	447.0	3.78	1690	40.86	18264
	Трюм 1 середина	493.0	7.21	3555	41.73	20573
	Трюм 1 верх	656.0	11.46	7518	41.88	27473
	Трюм 2 низ	686.0	3.73	2559	22.43	15387
	Трюм 2 середина	638.0	7.18	4581	23. 03	14693
	Трюм 2 верх	708.0	11.42	8085	22 97	16263
	Трюм 3 низ	827.0	3.69	3052	-4.46	-3688
	Трюм 3 середина	712.0	7.18	5112	-4.81	-3425
	Трюм 3 верх	772.0	11.42	8816	-4.65	-3590
	Трюм 4 низ	768.0	3.72	2857	-24.37	-18716
	Трюм 4 середина	710.0	7.18	5098	-24.93	-17700
	Трюм 4 верх	783.0	11.42	8942	24.87	-19473
	Танк 1.16 ПрБ					
	Танк 1.17 ЛБ					
	Танк 3.13 + 3.14 ЛБ + ПрБ					
5	Всего груза	8200.0		61864		46061
6	Балласт					
	Форпик 1.1	191.7	11.00	2109	67.62	12963
	Танк 1.2 + 1.3 ПрБ + ЛБ	200.0	3.53	706	57.31	11462
	Танк 1.4 + 1.5 ПрБ + ЛБ					
	Танк 1.6 + 1.7 ПрБ + ЛБ					
	Танк 1.8 + 1.9 ПрБ + ЛБ					
7	Всего балласта	**391.7		2815		24425
8	Водоизмещение	17375.0	8.57	148915	-5.01	-86976
9	Поправка на запасы			1678		
	Поправка на наливной груз			0		
	Поправка на балласт			248		
10	Всего поправка δM_z, тм			1926		
11	Момент M_z расчетный, тм			150841		
12	ЦМ судна Z_g расчетный, м			8.68		
13	ЦМ судна Z_g допустимый, м			9.16		
14	Аппликата метацентра Z_m, м			9.37		
15	Метацентрическая высота: Без поправки $h_o = Z_m - Z_g$, м			0.80	K*= 3.69	
	Поправка δh, м			0.11		
	Исправленная $h = h_o - \delta h$, м			0.69		
16	Осадка: средняя $d_{ср}$, м			8.31		
	носом $d_н$, м			6.70		
	кормой $d_к$, м			9.77		

** – балласт принят для уменьшения дифферента судна.

СЛУЧАЙ НАГРУЗКИ 2.1
ДИАГРАММА СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ



θ, град	0.	10.	20.	30.	40.	50.	60.	70.
$\sin\theta$	0,000	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,940
Отход Δ = 17375 т, Z_g = 8,681 м								
l_ϕ, м	0,000	1,644	3,314	5,032	6,429	7,391	7,941	8,168
$Z_g \cdot \sin\theta$	0,000	1,507	2,969	4,340	5,580	6,650	7,518	8,157
l_r, м	0,000	0,136	0,345	0,692	0,849	0,744	0,424	0,011
l_d, м	0,000	0,012	0,054	0,144	0,279	0,418	0,520	0,558
ПОКАЗАТЕЛИ ОСТОЙЧИВОСТИ h = 0,69 м K = 3,41 l_{max} = 0,85 м θ_m = 39° θ_v = 70°								
Приход Δ = 16174 т, Z_g = 8,836 м								
l_ϕ, м	0,000	1,637	3,306	5,051	6,521	7,494	8,034	8,237
$Z_g \cdot \sin\theta$	0,000	1,534	3,022	4,418	5,680	6,769	7,652	8,303
l_r, м	0,000	0,103	0,284	0,633	0,841	0,725	0,382	- 0,066
l_d, м	0,000	0,009	0,043	0,123	0,251	0,388	0,485	0,512
ПОКАЗАТЕЛИ ОСТОЙЧИВОСТИ h = 0,48 м K = 2,88 l_{max} = 0,85 м θ_m = 42° θ_v = 69°								

ТРЕБОВАНИЯ ПРАВИЛ РЕГИСТРА К ОСТОЙЧИВОСТИ

Общие требования к остойчивости

1). Критерий погоды K, выражающий отношение плеча опрокидывающего момента l_c к плечу кренящего момента l_v должен быть не менее 1.0

$$K = \frac{l_c}{l_v} \geq 1.0, \quad \text{или} \quad K = \frac{M_{опр}}{M_{кр}} \geq 1.0$$

2). Начальная метацентрическая высота h с поправкой на влияние свободной поверхности жидкостей в танках должна быть не менее 0,15м;

$$h_x \geq 0{,}15\ м$$

3). Максимальное плечо диаграммы статической остойчивости l_{max} должно быть не менее 0,20м

$$l_{max} \geq 0{,}20\ м$$

4). Угол максимума диаграммы статической остойчивости θ_{max} должен быть больше 30°

$$\theta_{max} \geq 30^\circ$$

5). Угол заката диаграммы статической остойчивости $\theta_{зак}$ быть не менее 60°:

– $\theta_{зак} > 60^\circ$, без обледенения;

– при обледенении, не менее 55°.

Дополнительное требование

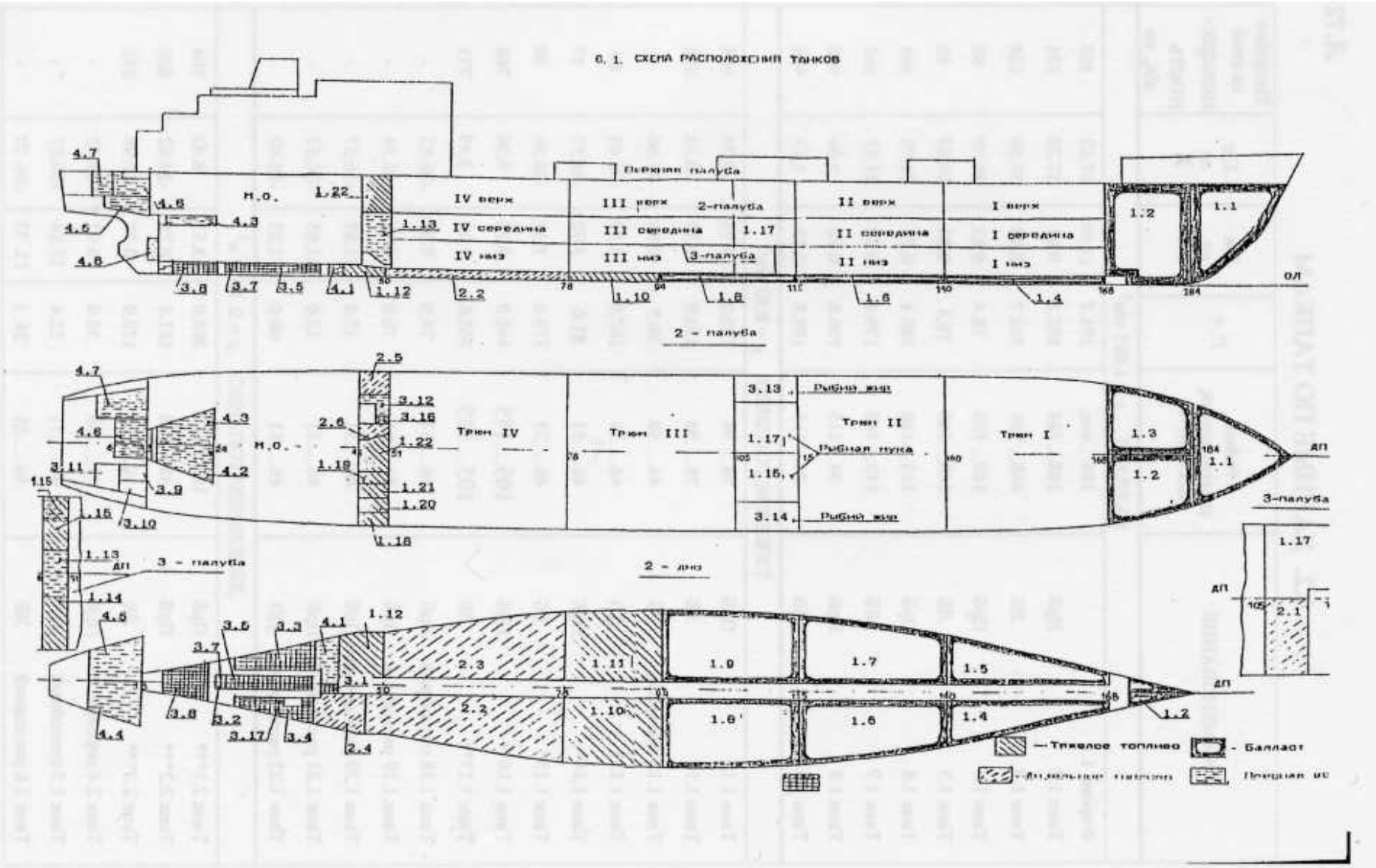
(как для судна, имеющего отношение ширины B к осадке d больше 2.5)

Остойчивость по критерию ускорения K^* считается приемлемой, если, в рассматриваемом состоянии нагрузки расчетное ускорение $\alpha_{расч}$ (в долях g) не превышает допустимого значения, т. е. выполняется условие:

$$K^* = 0.3/\alpha_{расч} \geq 1$$

Расчетные параметры остойчивости должны быть не менее требуемых в течение всего рейса.

Практически во всем рабочем диапазоне осадок остойчивость судна лимитируется ТРЕБОВАНИЯМИ К АВАРИЙНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА.


6.1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ТАНКОВ
Верхняя палуба
IV верх
III верх
2-палуба
II верх
I верх
IV середина
III середина
II середина
I середина
IV низ
III низ
3-палуба
II низ
I низ
М.О.
ОЛ
2 - палуба
Трюм IV
Трюм III
Трюм II
Трюм I
Рыбная жир
Рыбная пука
Рыбий жир
ДП
3 - палуба
2 - дно
Тяжелое топливо
Балласт

6.2. ДАННЫЕ ПО ТАНКАМ

НАИМЕНОВАНИЕ		Район расположения, шпангоуты	P, т	Z,м от ОЛ	X,м от ⋈	Поправка на своб. поверхность δM_z, тм
БАЛЛАСТ, $\rho = 1{,}025$ т/м^3						
Форпик 1.1		184...нос	191.7	11.00	67.62	103
Танк 1.2	ПрБ	168...184	552.5	9.01	57.32	124
Танк 1.3	ЛБ	168... 184	563.7	8.98	57.30	124
Танк 1.4	ПрБ	140... 168	78.4	0.83	39.69	88
Танк 1.5	ЛБ	140... 168	78.4	0.83	39.69	88
Танк 1.6	ПрБ	115... 140	180.4	0.77	21.75	564
Танк 1.7	ЛБ	115... 140	179.4	0.78	21.81	564
Танк 1.8	ПрБ	94...115	196.8	0.75	5.06	998
Танк 1.9	ЛБ	94...115	198.8	0.75	5.13	996
ТЯЖЕЛОЕ ТОПЛИВО, $\rho = 0.92$ т/м^3						
Танк 1.10	ПрБ	78....94	139.0	0.75	-8.34	694
Танк 1.11	ЛБ	78....94	139.0	0.75	-8.34	694
Танк 1.12 перелива	ЛБ	44....50	30.7	0.93	-37.66	-
Танк 1.13*	ДП	46....51	167.0	5.59	-36.49	89
Танк 1.14*	ПрБ	46....51	81.0	3.92	-36.57	57
Танк 1.15*	ЛБ	46....51	176.0	7.12	-36.56	98
Танк 1.16**	ПрБ	105...115	448.0	9.23	9.34	768
Танк 1.17**	ЛБ	105...115	763.6	7.00	9.49	771
Танк 1.18 отстойный	ПрБ	46....51	74.0	9.09	-36.53	-
Танк 1.19 отстойный	ПрБ	46....51	70.0	8.88	-36.54	-
Танк 1.20 расх.кот.топ.	ПрБ	46....51	15.0	11.85	-36.57	-
Танк 1.21 расходный	ПрБ	46....51	15.0	11.85	-36.57	-
Танк 1.22 расходный	ДП	46....51	60.0	11.33	-36.42	-
ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, $\rho = 0.86$ т/ м^3						
Танк 2.1***	ПрБ	105... 112	203.0	3.53	8.42	504
Танк 2.2***	ПрБ	48... 178	181.4	0.78	-24.62	636
Танк 2.3***	ЛБ	50... 178	172.0	0.78	-23.98	612
Танк 2.4 перелива	ПрБ	41.....48	30.0	0.97	-39.42	-
Танк 2.5 отстойный	ЛБ	46.....51	22.4	11.86	-36.57	-
Танк 2.6 расходный	ЛБ	46.....51	24. 1	11. 33	-36. 77	-

НАИМЕНОВАНИЕ	Район расположения, шпангоуты	P, т	Z,м от ОЛ	X,м от ⊠	Поправка на своб. поверх-ность δM_x, тм
СМАЗОЧНОЕ МАСЛО, $\rho = 0.90$ т/м^3					
Танк утечн. топлива 3.1 ПрБ	42... 44	1.9	1.16	-40.70	-
Танк утечн. масла 3.2 ПрБ	25... 27	1.9	1.16	-53.45	-
Танк сепарир. масла 3.3 ЛБ	28... 41	25.4	1.07	-46.00	-
Танк сепарир. масла 3.4 ПрБ	28... 41	20.0	1.10	-46.24	-
Танк сточн. масла 3.5 ДП	27... 40	24.6	1.16	-47.83	-
Танк утечн. масла 3.7 ЛБ	25... 27	1.9	1.16	-53.45	-
Танк отработ. масла 3.8 ДП	17... 24	25.7	1.10	-57.35	-
Танк цилиндр,масла 3.9 ПрБ	6... 13	20.4	11.83	-65.30	-
Танк запасн. масла 3.10 ПрБ	6... 13	25.4	11.91	-65.14	-
Танк запасн. масла 3.11 ПрБ	0... 6	38.9	12.35	-69.10	-
ПРЕСНАЯ ВОДА, $\rho = 1.00$ т/м^3					
Танк охлажденной воды 4.1 ЛБ	41... 44	17.1	0.98	-40.94	-
Танк котельн. питат. в. 4.2 ПБ	15... 24	57.8	7.25	-57.96	77
Танк котельн. питат. в. 4.3 ЛБ	15... 24	57.8	7.25	-57.96	77
Танк конденс. пить. в. 4.4 ПрБ	3... 13	40.3	9.03	-65.82	76
Танк конденс. пить. в. 4.5 ЛБ	3... 13	40.3	9.03	-65.82	76
Танк питьевой воды 4.6 ДП	4... 13	115.0	11.74	-66.03	76
Танк питьевой воды 4.7 ЛБ	0... 13	125.0	12.03	-66.70	60
Танк охлажден, воды 4.8 ДП	13... 14	2.4	3.00	-62.81	-
ГРЯЗНАЯ ВОДА, $\rho = 1.00$ т/м^3					
Танк грязной воды 1.13* ДП	46... 51	182.0	5.59	-36.49	96
Танк грязной воды 1.14* ПрБ	46... 51	8.0	3.92	-36.57	62
Танк грязной воды 1.15* ЛБ	46... 51	191.0	7.12	-36.56	107
Фекальный танк 3.12 ЛБ	46... 51	15.8	11.89	32.92	-
Цистерна льяльн. воды 3.15 ЛБ	46... 51	27.5	3.05	24.84	-
Танк гр.воды мед.блока 3.16ЛБ	49.5...51	2.1	11.86	24.84	-
Танк шламн.фильтр. 3.17 ПрБ	35... 36	1.1	0.93	-46.32	-
РЫБИЙ ЖИР, $\rho = 0.95$ т/м^3					
Танк 3. 13 ЛБ	105...115	0,87	11.89	9 .81	-
Танк 3. 14 ПрБ	105...115	0.87	11.89	9 .81	-

* – Тяжелое топливо или грязная вода.

** – Тяжелое топливо (для снабжения судов) или рыбная мука в мешках.

*** – Дизельное топливо (для снабжения судов).

6.3. ДАННЫЕ ПО ГРУЗОВЫМ ТАНКАМ И ТАНКАМ СНАБЖЕНИЯ

НАИМЕНОВАНИЕ	Район расположения, шпангоуты	P, т	Z,м от ОЛ	X,м от ⌘	Поправка на своб. поверхность δM_z, тм
РЫБНАЯ МУКА, $\rho = 2.70$ т/м^3					
Танк 1.16 Пр.Б (с люком)	105...115	80.4	9.23	9.34	-
Танк 1.17 Л.Б (с люком)	105...115	307.4	7.00	9.49	-
РЫБИЙ ЖИР, $\rho = 0.95$ т/м^3					
Танк 3.13 ЛБ	105...115	87.0	11.89	9.81	-
Танк 3.14 Пр.Б	105...115	87.0	11.89	9.81	-
ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, $\rho = 0.86$ т/м^3					
Танк диз. топл. 2.1 ПрБ	105...112	203.0	3.53	8.42	504
Танк диз. топл. 2.2 ПрБ	48...178	181.4	0.78	-24.62	636
Танк диз. топл. 2.3 ЛБ	50...178	172.0	0.78	-23.98	612
ТЯЖЕЛОЕ ТОПЛИВО, $\rho = 0.92$ т/м^3					
Танк 1.16* ПрБ	105...115	448.0	9.23	9.34	768
Танк 1.17* ЛБ	105...115	763.6	7.00	9.49	771
СМАЗОЧНОЕ МАСЛО, $\rho = 0.90$ т/м^3					
Танк запас. масла 3.11 ПрБ	0.....6	38.9	12.35	-69.10	-

* – Рыбная мука или тяжелое топливо.

6.4. ДАННЫЕ ПО ГРУЗОВЫМ ТРЮМАМ

НАИМЕНОВАНИЕ		Район расположения, шпангоуты	Вместимость P, т	Координаты центра объема	
				Z,м от ОЛ	X,м от ✖
Трюм N.1	низ	51... 78	727	3.78	40.86
	середина	51... 78	801	7.21	41.73
	верх	51... 78	1066	11.46	41.88
ВСЕГО N.1			2594	8.00	41.55
Трюм N.2	низ	78...105	1115	3.73	22.43
	середина	78...105	1036	7.18	23.03
	верх	78...105	1151	11.42	22.97
ВСЕГО N.2			3302	7.35	22.81
Трюм N.3	низ	115...140	1343	3.69	-4.46
	середина	115...140	1157	7.18	-4.10
	верх	115...140	1254	11.42	-4.65
ВСЕГО N.3			3754	7.35	-4.63
Трюм N.4	низ	140...168	1249	3.72	-24.37
	середина	140...168	1154	7.18	-24.93
	верх	140...168	1273	11.42	-24.87
ВСЕГО N.4			3676	7.47	-24.72
ВСЕГО N.1 .... N.4			13326	7.54	5.62

6.5. ГИДРОСТАТИЧЕСКИ ЭЛЕМЕНТЫ

Водоиз-мещение Δ, т	Осадка от НКК d, м	Абсцисса ЦВ от □ X_c, м	Абсцисса ЦТ [illegible] Р.П.	Диф.момент $M_{1м}$, тм/м	Возв. МЦ над ОП $Z_м$
7000	3.80	-1.37	-0.82	12782	11.48
250	3.92	-1.34	-0.79	12915	11.29
500	4.04	-1.32	-0.77	13043	11.13
750	4.15	-1.31	-0.76	13171	10.97
8000	4.27	-1.29	-0.74	13300	10.83
250	4.39	-1.27	-0.73	13430	10.69
500	4.50	-1.26	-0.73	13555	10.57
750	4.62	-1.24	-0.72	13690	10.46
9000	4.75	-1.23	-0.72	13817	10.35
250	4.86	-1.21	-0.72	13961	10.25
500	4.97	-1.20	-0.72	14114	10.15
750	5.09	-1.18	-0.72	14227	10.06
10000	5.20	-1.17	-0.74	14371	9.98
250	5.32	-1.16	-0.75	14514	9;91
500	5.43	-1.15	-0.77	14647	9.85
750	5.54	-1.14	-0.79	14781	9.79
11000	5.65	-1.13	-0.82	14934	9.74
250	5.76	-1.13	-0.84	15068	9.69
500	5.87	-1.12	-0. 87	15221	9.65
750	5.98	-1.12	-0. 90	15385	9.60
12000	6.09	-1.12	-0. 95	15539	9.56
250	6.20	-1.12	-0.98	15703	9.53
500	6.31	-1.12	-1.02	15867	9.50
750	6.42	-1.12	-1.07	16041	9.47
13000	6.53	-1.12	-1.12	16195	9.45
250	6.63	-1.12	-1.18	16380	9.43
500	6.74	-1.12	-1.24	16554	9.40
750	6.85	-1.12	-1.32	16780	9.38
14000	6.96	-1.13	-1.40	16954	9.36
250	7.06	-1.14	-1.47	17189	9.35
500	7.16	-1.15	-1.53	17414	9.34
750	7.26	-1.15	-1.69	17650	9.33
15000	7.36	-1.16	-1.82	17917	9.33
250	7.46	-1.17	-1.95	18163	9.33
500	7.56	-1.17	-2.09	18419	9.32
750	7.66	-1.20	-2.27	18696	9.32
16000	7.76	-1.22	-2.43	19014	9.32
250	7.86	-1.23	-2.64	19300	9.32
500	7.96	-1.25	-2.79	19598	9.33
750	8.06	-1.27	-3.00	19885	9.34
17000	8.16	-1.30	-3.20	20213	9.35
250	8.26	-1.33	-3.33	20500	9.35
500	8.36	-1.37	-3.50	20808	9.37

6.6. ТАБЛИЦА ДОПУСТИМЫХ ВОЗВЫШЕНИЙ ЦЕНТРА МАССЫ СУДНА

Водоизмещение Δ, т	ДОПУСТИМЫЕ ВОЗВЫШЕНИЯ ЦЕНТРА МАССЫ		
	По аварийной остойчивости ав ZGдоп, м		По основной остойчивости ост ZGдоп, м
	Дифферент 0.0 м	Дифферент -3.0 м	
8000	9.22	9.37	9.460
8250	9.17	9.32	9.500
8500	9.14	9.29	9.530
8750	9.12	9.26	9.560
9000	9.09	9.24	9.570
9250	9.07	9.20	9.575
9500	9.03	9.17	9.580
9750	9.00	9.13	9.585
10000	8.97	9.09	9.590
10250	8.95	9.06	9.600
10500	8.92	9.03	9.610
10750	8.92	9.00	9.620
11000	8.91	8.97	9.610
11250	8.90	8.95	9.610
11500	8.90	8.93	9.600
11750	8.90	8.92	9.585
12000	8.90	8.91	9.560
12250	8.90	8.90	9.530
12500	8.90	8.90	9.500
12750	8.90	8.90	9.475
13000	8.90	8.90	9.450
13250	8.91	8.91	9.425
13500	8.91	8.91	9.400
13750	8.92	8.92	9.380
14000	8.93	8.93	9.360
14250	8.95	8.95	9.350
14500	8.96	8.96	9.340
14750	8.98	8.98	9.330
15000	9.00	9.00	9.330
15250	9.02	9.02	9.330
15500	9.03	9.03	9.320
15750	9.06	9.06	9.310
16000	9.09	9.09	9.300
16250	9.10	9.10	9.270
16500	9.11	9.11	9.250
16750	9.12	9.12	9.230
17000	9.14	9.14	9.200
17250	9.14	9.14	9.180
17500	9.16	9.16	9.160

6.7. ДОПУСТИМЫЕ УДЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

Наименование	Допустимая нагрузка g, т/м^2
2-я палуба	2.56
3-я палуба	2.33
Второе дно	2.32

6.8. ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ

Наименование	Масса P, т	Z, м от ОЛ	X, м от миделя
Без груза на палубе	141.0	16.73	-7.96

6.9. АМПЛИТУДЫ БОРТОВОЙ КАЧКИ

Осадка от ОЛ d, м	Метацентрическая высота h, м					
	0.2	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5
	Амплитуды бортовой качки θ_r, град.					
5.0	18.01	18.01	18.38	18.68	19.21	19.51
5.5	18.24	18.24	18.62	18.92	19.46	19.76
6.0	18.29	18.29	18.67	18.97	19.51	19.81
6.5	18.75	18.75	19.14	19.45	19.99	20.31
7.0	19.93	19.93	20.35	20.68	21.26	21.59
7.5	20.87	20.87	21.31	21.65	22.26	22.61
8.0	21.64	21.64	22.09	22.45	23.08	23.44
8.34	22.09	22.09	22.55	22.92	23.57	24.00

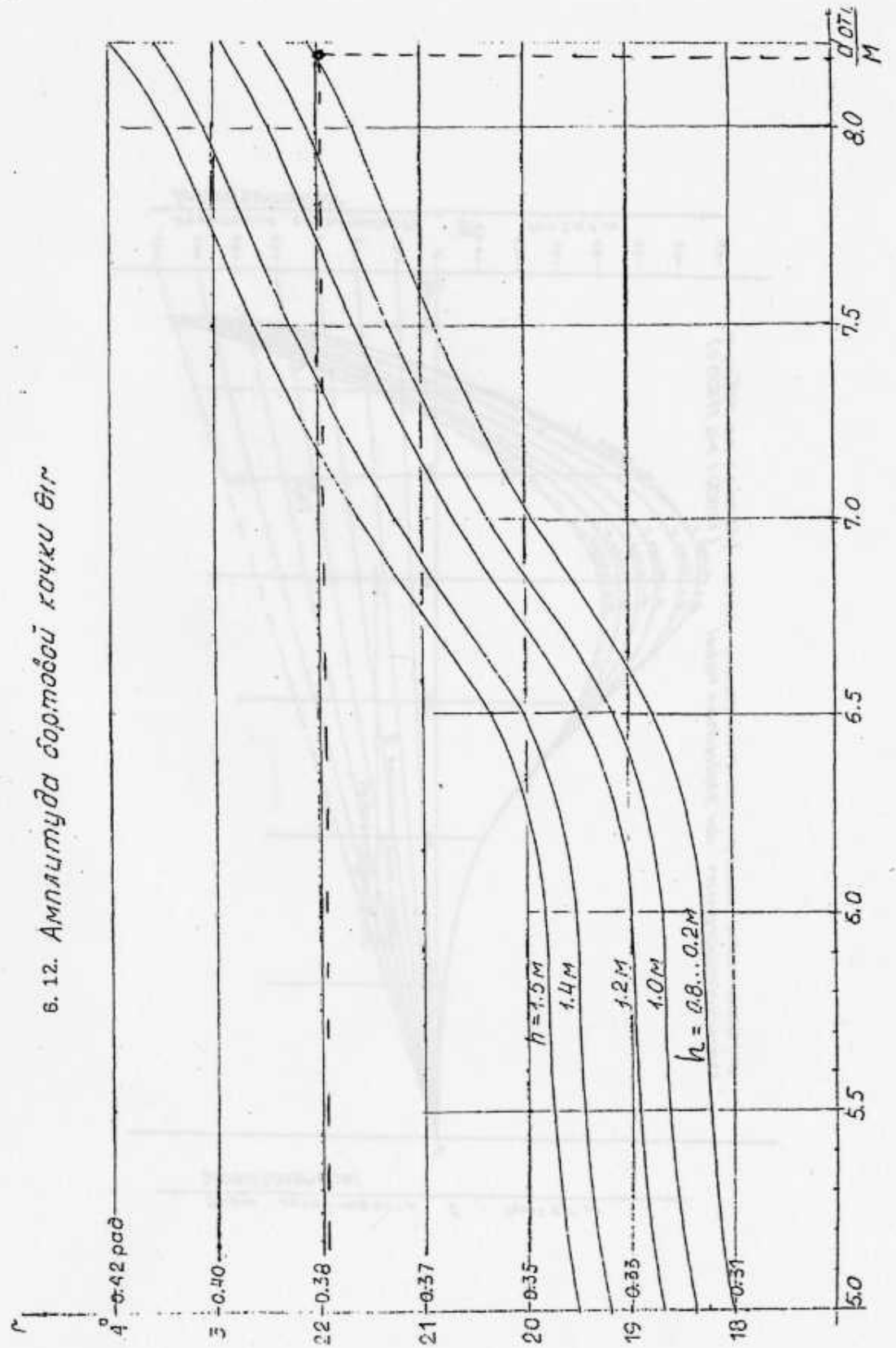
6.10. ПЛЕЧИ ОСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ (ПАНТОКАПРЕНЫ)

Плечи статической остойчивости $l = l_к - Z_{gx} \sin\theta$

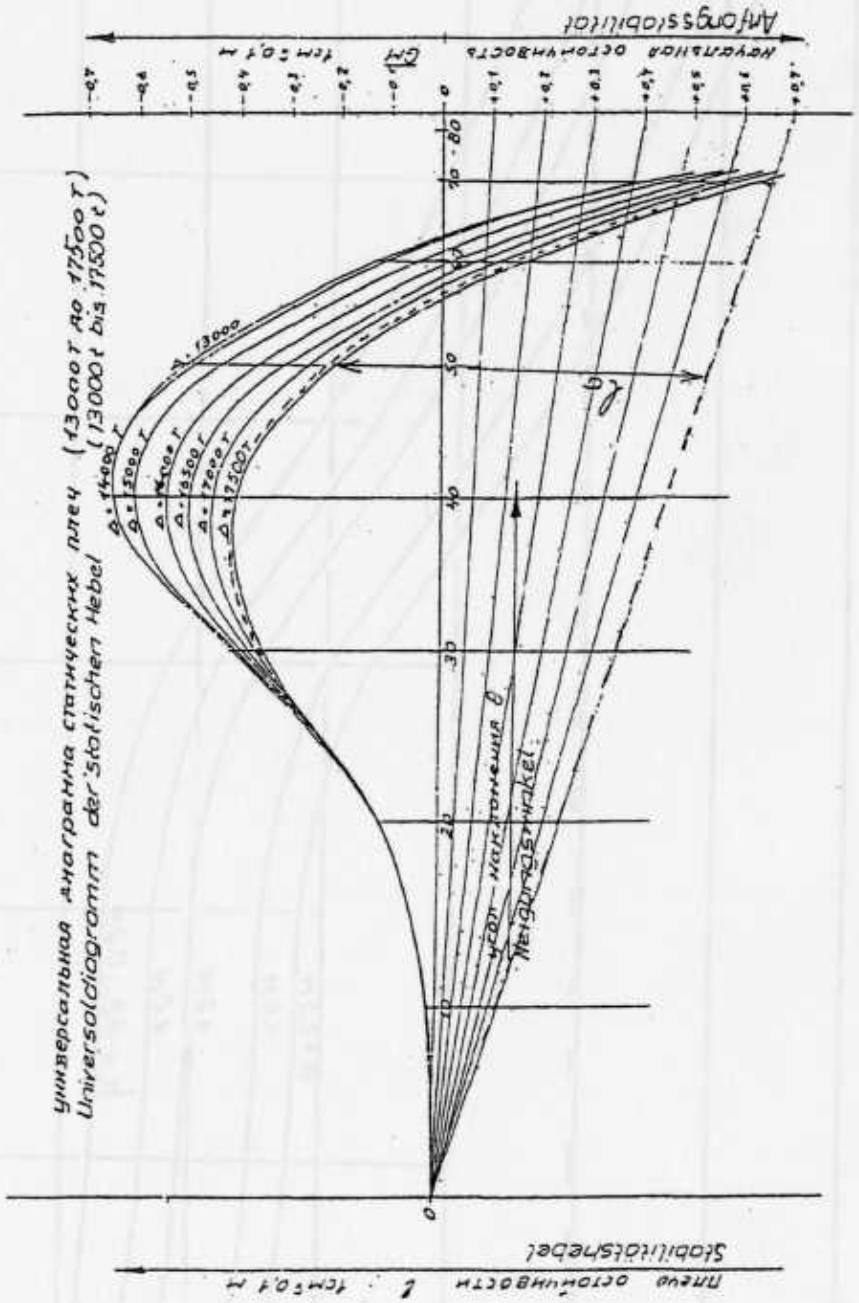
Водоизмещение Δ, т	Углы крена θ, град						
	10	20	30	40	50	60	70
	Пантокарены $l_к$, м						
7000	2,012	3,963	5,589	6,894	8,034	8,690	8,830
250	1,980	3,918	5,551	6,883	8,032	8,691	8,827
500	1,952	3,874	5,519	6,873	8,028	8,690	8,821
750	1,925	3,831	5,488	6,864	8,021	8,687	8,817
8000	1,900	3,790	5,458	6,857	8,012	8,681	8,808
250	1,877	3,752	5,430	6,850	8,006	8,672	8,799
500	1,854	3,716	5,403	6,843	7,997	8,662	8,787
750	1,835	3,683	5,378	6,838	7,988	8,650	8,773
9000	1,816	3,651	5,354	6,828	7,974	8,637	8,760
250	1,800	3,622	5,333	6,824	7,964	8,624	8,744
500	1,783	3,592	5,311	6,818	7,953	8,609	8,727
750	1,767	3,565	5,293	6,814	7,939	8,593	8,711
10000	1,754	3,541	5,274	6,808	7,926	8,575	8,692
250	1,743	3,516	5,256	6,804	7,914	8,556	8,674
500	1,730	3,494	5,243	6,798	7,900	8,534	8,654
750	1,717	3,474	5,226	6,793	7,885	8,513	8,634
11000	1,710	3,455	5,214	6,787	7,870	8,492	8,613
250	1,703	3,437	5,201	6,782	7,856	8,471	8,593
500	1,694	3,422	5,188	6,775	7,840	8,447	8,571
750	1,685	3,406	5,176	6,769	7,822	7,424	8,557
12000	1,678	3,393	5,165	6,761	7,806	8,401	8,529
250	1,673	3,381	5,154	6,752	7,790	8,378	8,509
500	1,666	3,369	5,145	6,743	7,773	8,354	8,491
750	1,662	3,361	5,135	6,732	7,754	8,331	8,471
13000	1,656	3,352	5,126	6,721	7,737	8,306	8,452
250	1,653	3,344	5,117	6,708	7,719	8,285	5,433
500	1,649	3,336	5,110	6,695	7,701	8,261	8,414
750	1,646	3,329	5,102	6,682	7,683	8,237	8,395
14000	1,643	3,324	5,095	6,667	7,664	8,214	8,376
250	1,641	3,319	5,087	6,654	7,646	6,193	8,357
500	1,639	3,316	5,083	6,637	7,627	6,171	6,343
750	1,636	3,313	5,077	6,623	7,608	8,149	8,326
15000	1,636	3,310	5,073	6,606	7,587	8,127	8,307
250	1,636	3,308	5,066	6,588	7,569	8,106	8,292
500	1,636	3,306	5,063	6,572	7,550	8,087	8,276
750	1,636	3,306	5,058	6,554	7,527	8,066	8,262
16000	1,637	3,306	5,054	6,534	7,508	8,047	8,247
250	1,637	3,306	5,050	6,516	7,487	8.027	8.234
500	1,638	3,307	5,046	6,497	7,467	8,011	8,219
750	1,639	3,308	5,043	6,477	7,446	7,988	8,206
17000	1,641	3,310	5,038	6,457	7,424	7,969	8,193
250	1,643	3,313	5,034	6,440	7,404	7,951	8,176
500	1,645	3,316	5,030	6,420	7,384	7,933	8,160

6.11. ТАБЛИЦА ПЛЕЧ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

Водоизмещение Δ, т	Плечи ветровой нагрузки l_v, м	
	без льда	со льдом
7000	0. 396	0. 443
250	0. 378	0. 424
500	0. 360	0. 403
750	0. 345	0. 387
8000	0. 330	0. 370
250	0. 315	0. 354
500	0. 300	0. 340
750	0. 289	0. 326
9000	0. 276	0. 312
250	0. 266	0. 300
500	0. 257	0. 289
750	0. 247	0. 275
10000	0. 238	0. 268
250	0. 229	0. 256
500	0. 221	0. 247
750	0. 212	-----
11000	0. 205	0. 231
250	0. 198	0. 222
500	0. 191	0. 215
750	0. 184	0. 207
12000	0. 177	0. 201
250	0. 171	0. 193
500	0. 165	0. 187
750	0. 159	0. 181
13000	0. 154	0. 176
250	0. 150	0. 171
500	0. 145	0. 165
750	0. 141	0. 160
14000	0. 136	0. 156
250	0. 133	0. 151
500	0. 129	0. 147
750	0. 125	0. 143
15000	0. 122	0. 139
250	0. 119	0. 135
500	0. 116	0.131
750	0. 113	0.127
16000	0. 110	0. 123
250	0. 106	0. 119
500	0. 104	0. 116
750	0. 101	0. 113
17000	0. 098	0. 110
250	0. 095	0. 107
500	0. 093	0. 104



6.12. Амплитуда бортовой качки θ_{1r}


Универсальная диаграмма статических плеч (13000 т до 17500 т)
Universaldiagramm der statischen Hebel (13000 t bis 17500 t)
Метацентрическая высота h
Metazentrische Höhe h
Угол наклонения θ
Winkel der Neigung
Положительная остойчивость
Positive Stabilität
Отрицательная остойчивость
Negative Stabilität
Stabilitätshebel
Anfangsstabilität

СУДОВЫЕ ЗАПАСЫ

НАИМЕНОВАНИЕ		Район расположения, шпангоуты	P, т	Z, м от $ОЛ$	M_x тм	X, м от □	M_y тм	Поправка на св. пов-ть δM_z, тм
ТЯЖЕЛОЕ ТОПЛИВО, $\rho = 0.92$ т/м^3								
Танк 1.10	ПрБ	78 94						
Танк 1.11.	ЛБ	78 94						
Танк 1.12 перелива	ЛБ	44 50						
Танк 1.13	ДП	46 51						
Танк 1.14	ПрБ	46 51						
Танк 1.15	ЛБ	46 51						
Танк 1.16	ПрБ	105..115						
Танк 1.17	ЛБ	105..115						
Танк 1.18 отстойный	ПрБ	46 51						
Танк 1.19 отстойный	ПрБ	46 51						
Танк 1.20 расх.кот.топлива		46 51						
Танк 1.21 расходный	ПрБ	46 51						
Танк 1.22 расходный	ДП	46 51						
ИТОГО тяжелого топлива								
ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, $\rho = 0.86$ т/м^3								
Танк 2.1	ПрБ	105..112						
Танк 2.2	ПрБ	48...178						
Танк 2.3	ЛБ	50...178						
Танк 2.4 перелива	ПрБ	41.....48						
Танк 2.5 отстойный	ЛБ	46.....51						
Танк 2.6 расходный	ЛБ	46.....51						
ИТОГО дизельного топлива								
СМАЗОЧНОЕ МАСЛО, $\rho = 0.90$ т/м^3								
Танк утечн. топлива 3.1	ПрБ	42.....44						
Танк утечн. масла 3.2	ПрБ	25.....27						
Танк сепар масла 3.3	ЛБ	28.....41						
Танк сепар. масла 3.4	ПрБ	28.....41						
Танк сточн. масла 3.5	ДП	27.....40						
Танк утечн. масла 3.7	ЛБ	25.....27						
Танк отраб. масла 3.8	ДП	17.....24						
Танк цилин масла 3.9	ПрБ	6.....13						
Танк запасн. масла 3.10	ПрБ	6.....13						
Танк запасн. масла 3.11	ПрБ	0.....6						
ИТОГО смазочного масла								
ПРЕСНАЯ ВОДА, $\rho = 1.00$ т/м^3								
Танк охлажд. воды 4.1	ЛБ	41.....44						
Танк котельн. питат. в. 4.2	ПрБ	15.....24						
Танк котельн. питат. в. 4.3	ЛБ	15.....24						
Танк конденс. воды 4.4	ПрБ	3.....13						
Танк конд. воды 4.5	ЛБ	3.....13						
Танк питьевой воды 4.6	ДП	4.....13						
Танк питьевой воды 4.7	ЛБ	0.....13						
Танк охлажд. воды 4.8	ДП	13.....14						
ИТОГО пресной воды								
ГРЯЗНАЯ ВОДА, $\rho = 1.00$ т/м^3								
Фекальный танк 3.12	ЛБ	46.....51						
Цистер льяльных вод 3.15	ЛБ	46.....51						
Танк гр. воды мед. бл. 3.16	ЛБ	49.....51						
Танк шламн. фильтр. 3.17	ПрБ	35.....36						
Танк 1.13	ДП	46.....51						
Танк 1.14	ПрБ	46.....51						
Танк 1.15	ЛБ	46.....51						
ИТОГО грязной воды								
ИТОГО ЗАПАСОВ			1527		10486		-60605	

Tank № Танк № *1.16*	Spant: Шпангоут: *105-115 Stb*

Schwerol oder Dieselol oder Fischmehl
ТЯЖЕЛОЕ ТОПЛИВО ИЛИ ДИЗТОПЛИВО ИЛИ РЫБНАЯ МУКА

Netto – Volunen (m^3)	487	Емкость Нетто ($м^3$)	
Sohwerpunkt bezogen auf *HL* (m)	80.34	Центр тяжести от *КП* (т)	
Korrekturwezt fur freie Oberffachen (tm)	467	Поправка на свободные поверхности (тм)	
Tankboden ubez *OKK* (m)	5.60	Дно танка от *ВКК* (м)	

Trimm Дифферент		O m	Z_g	-1 m	-2 m	-3 m
H(m)	h(m)	V(m^3)	ô(m)	V(m^3)	V(m^3)	V(m^3)
0.01	0	0.8	5.61	0.1	0.1	0.1
0.51	0.5	38.2	5.86	36.4	34.6	32.8
1.01	1.0	75.7	6.11	73.9	72.1	70.3
1.51	1.5	113	6.36	111	110	108
2.01	2.0	151	6.61	149	147	145
2.51	2.5	188	6.86	186	184	183
3.01	3.0	225	7.11	224	222	220
3.51	3.5	263	7.36	261	259	258
4.01	4.0	294	7.56	293	292	291
4.51	4.5	316	7.73	315	314	313
5.01	5.0	339	7.90	338	337	336
5.51	5.5	361	8.08	360	359	358
6.01	6.0	384	8.28	383	381	380
6.51	6.5	406	8.47	405	404	403
7.01	7.0	428	8.68	427	426	425
7.51	7.5	451	8.88	450	449	448
8.01	8.0	473	9.10	472	471	470
8.51	8.39	487	9.23	485	484	482
	8.44			487	485	484
	8.49				487	485
	8.54					487

Tank № Танк № *1.17*	Spant: Шпангоут: *105-115 Bb*

Schwerol oder Dieselol oder Fischmehl
ТЯЖЕЛОЕ ТОПЛИВО ИЛИ ДИЗТОПЛИВО ИЛИ РЫБНАЯ МУКА

Netto – Volunen (m^3)	487	Емкость Нетто ($м^3$)	
Sohwerpunkt bezogen auf *HL* (m)	80.34	Центр тяжести от *КП* (т)	
Korrekturwezt fur freie Oberffachen (tm)	467	Поправка на свободные поверхности (тм)	
Tankboden ubez *OKK* (m)	5.60	Дно танка от *ВКК* (м)	

Trimm Дифферент		O m	Z_g	-1 m	-2 m	-3 m
H(m)	h(m)	V(m^3)	ô(m)	V(m^3)	V(m^3)	V(m^3)
0.01	0	0.7	1.46	0.1	0.1	0.1
0.51	0.5	37.9	1.71	36.2	34.4	32.6
1.01	1.0	75.6	1.96	73.8	72	70.2
1.51	1.5	113	2.21	112	110	108
2.01	2.0	151	2.46	150	148	146
2.51	2.5	190	2.71	188	186	184
3.01	3.0	228	2.96	226	224	222
3.51	3.5	266	3.21	264	262	260
4.01	4.0	304	3.46	302	300	299
4.51	4.5	344	3.73	342	340	338
5.01	5.0	385	3.89	383	381	378
5.51	5.5	425	4.25	423	421	419
6.01	6.0	466	4.51	464	462	460
6.51	6.5	506	4.76	504	502	500
7.01	7.0	547	5.02	545	543	541
7.51	7.5	587	5.27	585	583	581
8.01	8.0	626	5.51	625	623	621
8.51	8.5	650	5.67	649	648	647
9.01	9.0	675	5.84	674	672	671
9.51	9.5	699	6.07	698	697	696
10.01	10.0	724	6.18	722	721	720
10.51	10.5	748	6.36	747	746	744
11.01	11.0	773	6.55	771	770	769
11.51	11.5	793	6.70	792	791	790
12.01	12.0	812	6.86	811	810	810
12.51	12.5	829	7.00	829	828	827
12.55	12.59	830	7.00	830	829	828

ЧАСТЬ III
ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА СУДНА

ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЬЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ СУДОВ

Под прочностью любой конструкции понимается ее способность противостоять внешним нагрузкам, не разрушаясь и не получая остаточной деформации.

Судно представляет собой сложное инженерное сооружение, а его корпус, говоря о прочности, можно рассматривать как мощную пустотелую коробчатую балку.

Каждый элемент судовой конструкции по своим размерам, форме и расположению должен обеспечивать функциональное его значение, быть рациональным и целесообразным. Корпусные конструкции должны обладать достаточной прочностью и иметь размеры, достаточные для восприятия приходящихся на них усилий, действующих во время эксплуатации при наиболее неблагоприятных условиях. Они должны обладать определенным запасом прочности на случай возможного превышения действительных усилий по сравнению с их расчетными значениями.

На корпус судна действуют внешние нагрузки, к которым относятся силы тяжести корпуса судна, механизмов и оборудования, масса запасов, грузов и снабжения, силы гидростатического давления воды на корпус, реакция кильблоков при постановке в док, силы сопротивления воды движению корпуса, сила упора гребного винта. Действия этих сил носят статический характер, а их величины могут быть легко рассчитаны.

Кроме постоянных нагрузок, корпус испытывает воздействия случайных сил, действующих периодически и имеющих, как правило, динамический характер. К ним относятся инерционные силы, возникающие при качке судна, дополнительные гидростатические и гидродинамические силы, действующие на волнении, силы реакции причала и др.

Постоянные силы, действующие на судно, в целом, взаимно уравновешены, но они неодинаково распределены по длине корпуса, поэтому в пределах каждого ограниченного участка длины корпуса преобладает та или иная сила, в корпусе развиваются перерезывающие силы и изгибающие моменты и он деформируется, получая прогиб или перегиб.

РАСЧЕТНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИ ОБЩЕМ ПРОДОЛЬНОМ ИЗГИБЕ

При плавании корпус судна подвергается общему продольному изгибу как пустотелая балка переменного по длине сечения.

Изгибающие моменты и перерезывающие силы, возникающие в поперечных сечениях корпуса по вызывающей их причине и по характеру их действия во времени, можно разделить на три составляющие:

1. Изгибающие моменты и перерезывающие силы, возникающие в корпусе при плавании на тихой воде $M_{т.в}$ – составляющая изгибающих моментов на тихой воде.

2. Изгибающие моменты и перерезывающие силы, возникающие дополнительно при плавании на волнении, когда судно испытывает килевую, бортовую и вертикальную качку $M_в$ - волновая составляющая.

Волновая составляющая изгибающих моментов в средней части корпуса судна достигает наибольших значений, когда судно находится средней частью корпуса на гребне либо на подошве волны, когда

$$L_{судна} \cong \lambda$$

Сумма составляющих изгибающих моментов на волнении $M_в$ и на тихой воде $M_{т.в}$ дают статическую составляющую изгибающего момента $M_{ст}$, т.е

$$M_{ст} = M_{т.в} + M_в.$$

Так как $M_{т.в}$ величина постоянная для данного случая нагрузки, а волновая составляющая изгибающих моментов $M_в$ имеет два наибольших значения (притом разных знаков), когда судно находится на вершине и на подошве волны, то и статическая составляющая $M_{ст}$ будет иметь также два наибольших значения, которые обозначаются

$M_{ст}^{вв}$ и $M_{ст}^{пв}$, где

(вв.) – вершина волны, (пв) – подошва волны.

3. Изгибающие моменты и перерезывающие силы, действию которых судно подвергается периодически при следовании на больших скоростях против крупной встречной волны, когда судно днищевой частью носовой оконечности ударяется о воду (явление слемминга), после которых корпус судна испытывает упругие колебания. Эта составляющая изгибающих моментов называется – ударной или динамической и обозначается $M_д$.

Наибольшее значение $M_д$ получается при резонансных условиях плавания, $M_д$ – будет иметь максимальное значение на вершине и на подошве волны, т.е. $M_д^{вв}$ и $M_д^{пв}$.

Полная или расчетная величина изгибающих моментов судна в каждом из его поперечных сечений определяется, как сумма упомянутых выше составляющих, а именно:

$$M = M_{т.в} + M_в + M_д = M_{ст} + M_д .$$

Общая продольная прочность корпуса судна обеспечивается продольными связями, размеры которых должны быть такими, чтобы корпус мог безопасно воспринимать внешние нагрузки, вызывающие общий продольный изгиб корпуса.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ И ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ

Основными факторами, определяющими величину расчетных усилий, вызывающих общий продольный изгиб корпуса судна являются:

– количество и характер распределения груза по длине, составляющих
  массовое водоизмещение судна;
– длина судна;
– осадка судна и скорость хода;
– элементы наиболее неблагоприятного волнения.

Поскольку изгибающие моменты и перерезывающие силы изменяются от величины и характера распределения этих нагрузок, то определение внешних сил, при расчетах, производится для нескольких случаев, отвечающих наиболее неблагоприятным условиям нагрузок;

– судно в полном грузу с полными запасами;
– судно в полном грузу с 10% запасов;
– судно в балласте с наиболее неблагоприятным распределением
  запасов и балласта.

Как отмечено выше, изгибающие моменты и перерезывающие силы разделяются на три составляющие:

$M_{т.в}$ – изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде;
$M_в$ – изгибающие моменты и перерезывающие силы на волнении;
$M_д$ – изгибающие моменты и перерезывающие силы возникающие при динамических нагрузках (ударах).

Используемые в настоящее время методы расчетов величин изгибающих моментов и перерезывающих сил дают возможность рассчитывать значения $M_{т.в}$ с точностью до ± 5 %.

Определение же $M_в$ и $M_д$ и перерезывающих сил, может быть произведено с меньшей точностью, так как они зависят от большого количества различных факторов, учет которых вызывает определенные

трудности.

При расчете $M_в$ и перерезывающих сил в мировой практике пользуются вариантом статической постановки судна на статическую волну, за которую принимается трохоидальная волна длиной, равной длине судна.

При расчете $M_д$ учитывают, что для транспортных судов при плавании в грузу эта величина незначительна даже при неудачно выбранной форме носовой оконечности.

При ходе судна в балласте ударная составляющая $M_д$ возрастает. Особенно большая величина ударной составляющей $M_д$ бывает на судах, имеющих большие скорости хода.

Результаты экспериментов показывают, что M только в исключительных условиях достигает величины того же порядка, что и волновая составляющая изгибающих моментов $M_в$.

С учетом всех этих факторов, полученных методом расчетов, и натурных испытаний и разрабатываются требования к прочности корпуса судна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ И ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ

В отечественной практике принято отдельно определять изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде и дополнительные изгибающие моменты и перерезывающие силы на волнении.

Изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде зависят от длины судна и от распределения сил веса и сил поддержания по длине судна, а дополнительные (волновые) изгибающие моменты и перерезывающие силы на вершине и подошве волны зависят от характера перераспределения сил поддержания.

Таким образом, для определения величин изгибающих моментов и перерезывающих сил при общем продольном изгибе необходимо знать распределение сил веса (кривая веса) и сил поддержания (кривая сил поддержания). Имея эти две кривые можно построить кривую нагрузки, ординатами которой являются разности ординат кривых веса и сил поддержания.

Для построения кривой веса длина судна обычно разбивается на *20* равных участков (теоретических шпангоутов). Для упрощения расчета принимают, что вес в пределах каждой шпации распределен равномерно, так что кривая веса получается ступенчатого вида (рис. 75-а) и строится вверх.

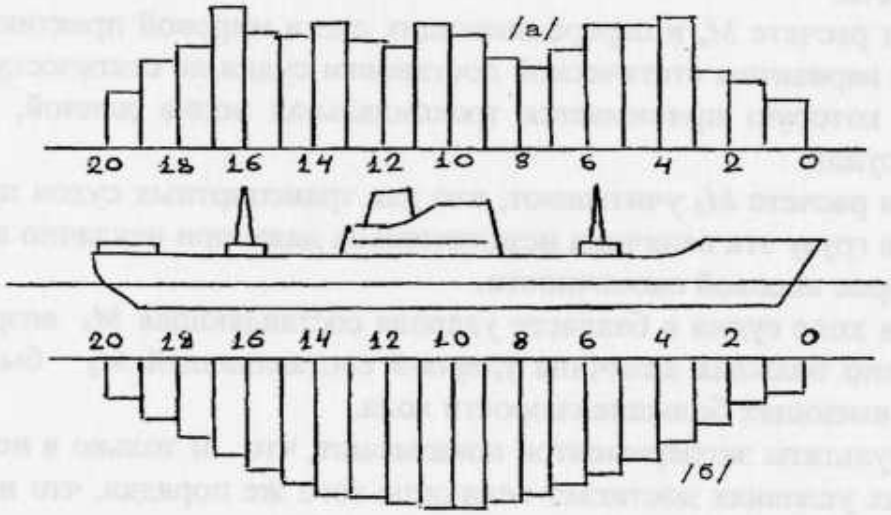


Рис. 75. Ступенчатая кривая сил веса (а) и сил поддержания (б), построенная для 20 теоретических шпангоутов.

Для облегчения подсчетов весовая нагрузка судов разбивается на следующие разделы:

1. Корпус.
2. Механизмы.
3. Снабжение и провизия.
4. Груз.
5. Топливо, вода, масла.
6. Запас водоизмещения.

Каждый из этих разделов разбивается на группы:

А. Голый корпус.
Б. Оборудование помещений.
В. и Г. Системы.
Д. Устройства.
Е. Электрооборудование.
Ж. Связь и управление.

Каждая из групп может быть разбита на подгруппы, например:

А. Голый корпус:
– наружная обшивка;
– верхняя палуба;
– двойное дно и т.д.

Существует много различных способов построения кривой веса судна. При построении ступенчатой кривой сил веса необходимо помнить, что, очевидно, центр тяжести ступенчатой кривой сил веса должен также находиться на одной вертикали с центром тяжести судна.

КРИВАЯ СИЛ ПОДДЕРЖАНИЯ

Кривая сил поддержания корпуса судна строится с использованием масштаба Бонжана при известном положении ватерлинии судна.

Ординаты кривой сил поддержания имеют масштаб в т/м и строятся вниз (рис. 75б).

Расчет кривых сил поддержания производится с учетом:

– случай судна на тихой воде;

– случай судна на взволнованной поверхности.

С целью упрощения дальнейших расчетов полученную кривую сил поддержания заменяют ступенчатой кривой, как и в случае расчета сил веса, так, чтобы площади, ограниченные плавной и ступенчатой кривыми были равны.

Принимается, как и со ступенчатой кривой сил веса, что центр тяжести ступенчатой кривой сил поддержания находится на одной вертикали с центром тяжести судна.

КРИВАЯ НАГРУЗОК

Так как силы веса и силы поддержания, приведенные к ступенчатым кривым и вычерченные в одном масштабе, в отдельных из 20 теоретических шпаций не равны между собой, то в отдельных теоретических шпациях будет избыток сил веса, а в других – сил поддержания.

Если ступенчатую кривую сил веса наложить на ступенчатую кривую сил поддержания (учтя, что эти силы действуют в противоположных направлениях), то будет видно в каких теоретических шпациях имеется избыток сил веса (вверх) или сил поддержания (вниз), рис.76.

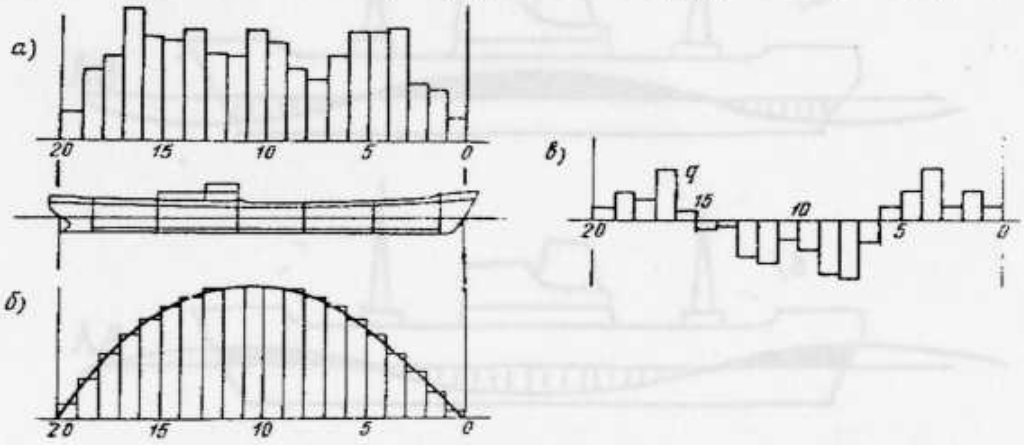


Рис. 76. Построение ступенчатой кривой нагрузки: а - кривая сил веса; б - кривая сил поддержания; в - кривая нагрузки.

Если распределение и подсчет сил веса и сил поддержание был произведен правильно, то общий избыток сил веса и общий избыток сил поддержания должны быть равны между собой, а центр тяжести результирующей кривой должен лежать на одной вертикали с центром тяжести и центром величины судна.

Новая ступенчатая кривая называется - кривой нагрузки (рис.76-в).

Величина ординат в каждой теоретической шпации кривой нагрузки определяется разностью ординат кривой веса и кривой сил поддержания:

$$q = p - \gamma - \omega \text{, где } \omega = \frac{\omega_i + \omega_{i+1}}{2}$$

p – ордината ступенчатой кривой веса, т/м;

γ – удельный вес воды, н/м^3;

ω – средняя, для каждой теоретической шпации, погруженная площадь шпангоута, м^2.

Очевидно, при плавании судна на волнении кривая нагрузки будет непрерывно изменяться с изменением волновой ватерлинии.

Характер кривой нагрузок сильно влияет на форму изгиба корпуса. Так, если избыток сил веса имеет место в оконечностях, а сил поддержания в средней части судна, то изгиб корпуса будет иметь форму перегиба, и наоборот, при избытке сил веса в средней части корпуса, а сил поддержания в оконечностях корпуса, то корпус судна будет иметь деформацию прогиба (рис. 77).

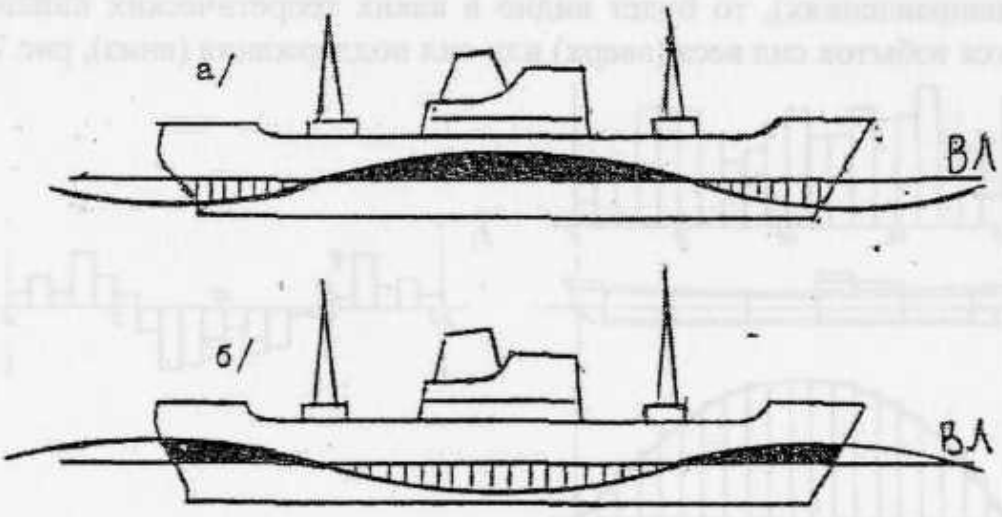


Рис.77. Изменение распределения сил поддержания по длине судна на взволнованной поверхности моря: *а)* - на вершине волны; *б)* – на подошве волны; *ВЛ* – ватерлиния на тихой воде; заливкой обозначены вошедшие объемы, штриховкой – вышедшие

ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ

По кривой нагрузок, представляющей кривую изгибающих сил веса и сил поддержания, вызывающих изгиб корпуса, легко определить перерезывающие силы и изгибающие моменты, действующие в любом поперечном сечении корпуса судна.

Перерезывающая сила в любом сечении корпуса равна сумме всех внешних сил, действующих на корпус с одной стороны от сечения, а изгибающий момент равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, лежащих по одну сторону от сечения.

При действии на корпус распределенной нагрузки величина перерезывающей силы определяется площадью, ограниченной кривой нагрузки, лежащей с одной стороны от сечения.

Кривая перерезывающих сил является первой интегральной кривой от нагрузки, а кривая изгибающих моментов – первой интегральной кривой от кривой перерезывающих сил и второй интегральной кривой от кривой нагрузки (рис.78).

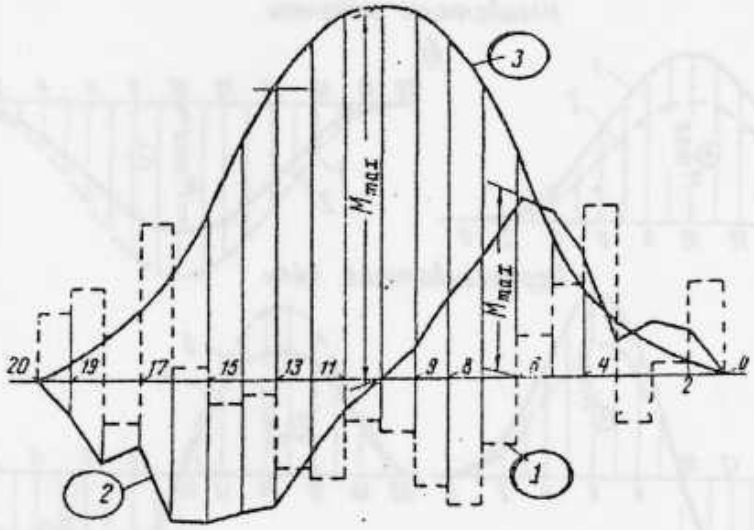


Рис. 78. Кривые нагрузки перерезывающих сил и изгибающих моментов
1 — нагрузка; 2 — перерезывающие силы; 3 — изгибающие моменты

Как следует из выше сказанного, наибольшие изгибающие моменты возникают в районе миделя, когда судно находится на вершине или подошве волны.

В оконечностях судна наибольшие изгибающие моменты могут получиться при сдвинутых по отношению к миделю вершины или по-

дошвы волны, однако они отличаются незначительно от моментов, определенных при положении судна на вершине или подошве волны.

Максимальные значения перерезывающие силы обычно имеют место в двух сечениях, расположенных на расстоянии около *1/4 L* от оконечностей судна.

Для упрощения вычислений и наглядности, вначале строят кривую нагрузок и вычисляют перерезывающие силы и изгибающие моменты для судна на тихой воде. Затем производят постановку судна на вершину и подошву волны и вычисляют дополнительные перерезывающие силы и изгибающие моменты.

С целью определения, как распределяются дополнительные силы поддержания по длине корпуса на масштабе Бонжана наносят волновой профиль и определяют погруженную площадь для каждого шпангоута. Вычитая эти площади из погруженных площадей шпангоутов на тихой воде, получают дополнительные погруженные и оголившиеся площади шпангоутов, после чего определяют дополнительные силы поддержания и строят кривую добавочной нагрузки (рис.79).

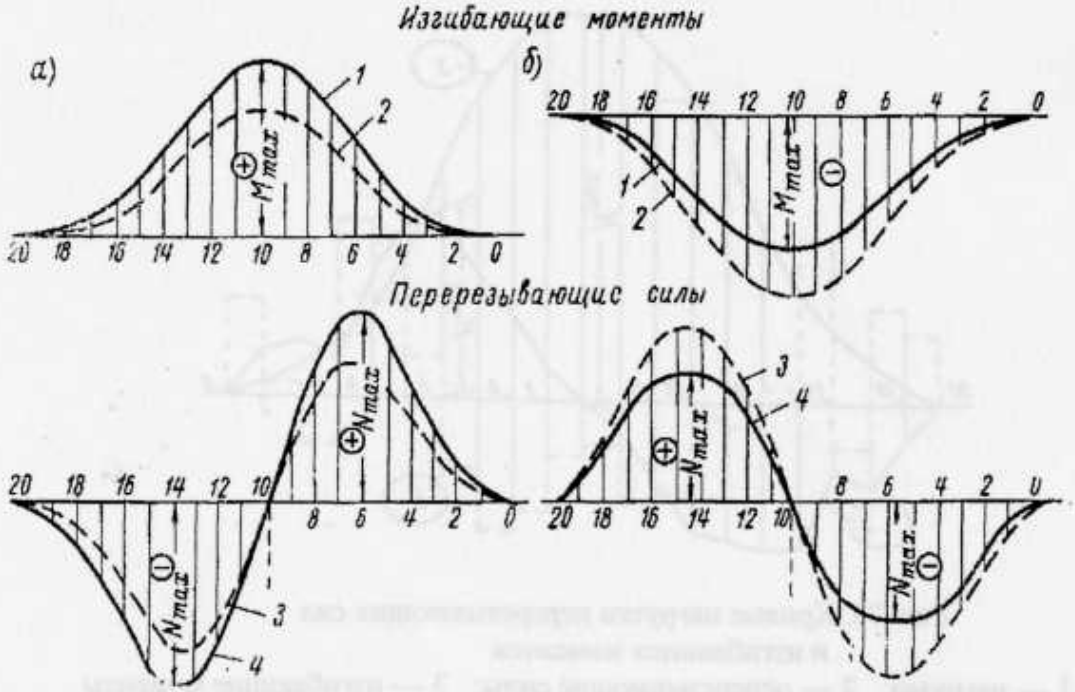


Рис. 79. Дополнительные и суммарные перерезывающие силы и изгибающие моменты на вершине (а) и подошве (б) волны:

1 – суммарный изгибающий момент;

2 – дополнительный изгибающий момент;

3 – дополнительная перерезывающая сила;

4 – суммарная перерезывающая сила.

Интегрируя эту кривую, получают дополнительные перерезывающие силы и дополнительные изгибающие моменты, вызванные волнением.

Суммируя соответствующие ординаты кривой перерезывающих сил и изгибающих моментов для случая судна на тихой воде с ординатами дополнительных кривых перерезывающих сил и изгибающих моментов для случая судна на вершине, или на подошве волны, получают суммарные перерезывающие силы и изгибающие моменты для этих двух случаев.

При непосредственном определении суммарных изгибающих моментов и суммарных перерезывающих сил на волне нет необходимости приводить кривую веса и кривую сил поддержания к ступенчатым кривым.

При построении кривых перерезывающих сил и изгибающих моментов следует обращать внимание на правильность построения промежуточных кривых.

Следующие условия дают возможность контролировать правильность построения этих кривых (рис.80).

1. Площади, ограниченные кривой веса и кривой сил поддержания, равны между собой.

2. Центры тяжести площади, ограниченной кривой веса, и площади, ограниченной кривой сил поддержания, лежат на одной вертикали.

3. Части площади, ограниченные кривой нагрузки и расположенные ниже и выше оси сравнения, равны между собой.

4. Перерезывающая сила достигает экстремального значения там, где кривая нагрузки пересекает ось абсцисс.

5. Изгибающий момент имеет наибольшее значение там, где кривая перерезывающих сил пересекает ось абсцисс.

6. Кривая изгибающих моментов имеет точки перегиба там, где ординаты кривой перерезывающих сил достигают максимальной величины.

7. Крайние ординаты кривой перерезывающих сил и кривой изгибающих моментов равны нулю (если не учитывается свешивающиеся оконечности).

Для случая плавания судна на взволнованной поверхности с целью проверки выполняемых расчетов можно воспользоваться дополнительными характерными свойствами:

а) вошедшие в воду объемы равны объемам, вышедшим из воды;

б) алгебраическая сумма моментов, вошедших и вышедших объёмов должна равняться нулю.

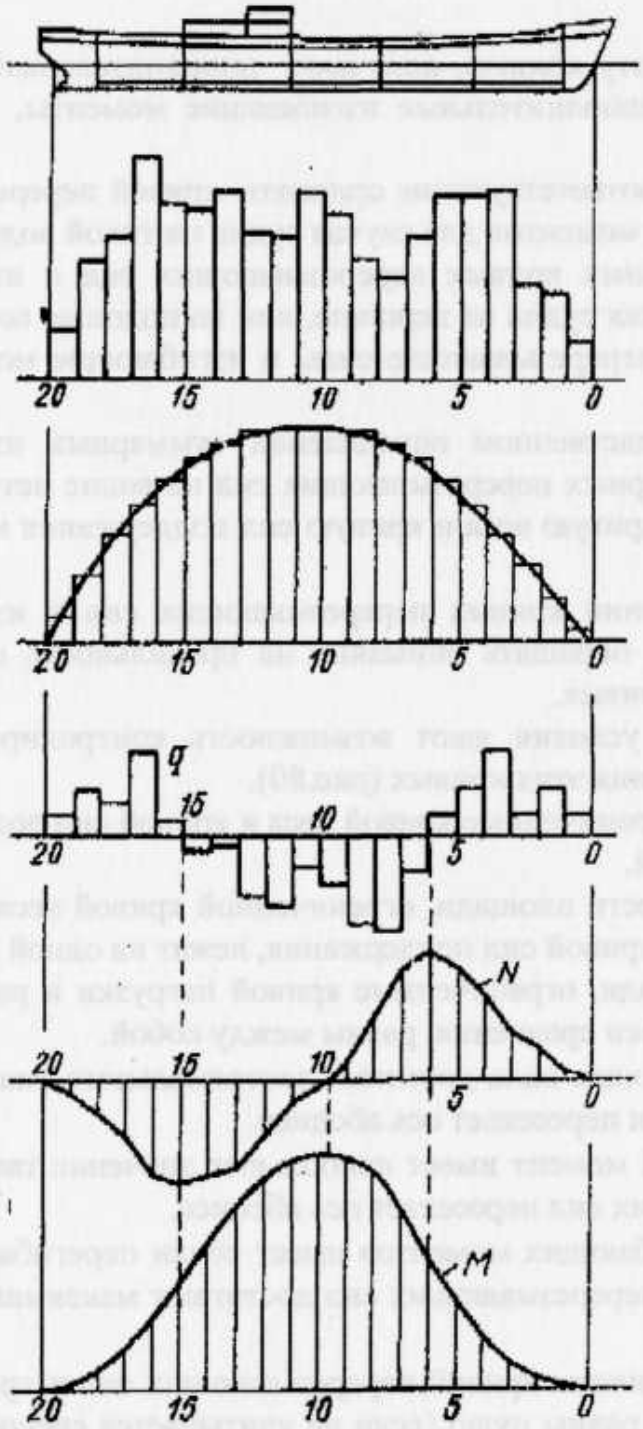


Рис 80. Случай судна на тихой воде

а) – кривая весов; *б)* – кривая сил поддержания; *в)* – кривая нагрузки; *г)* – кривая перерезывающих сил; *д)* – кривая изгибающих моментов

Построением эпюр перерезывающих сил и изгибающих моментов заканчивается отыскание расчетных значений статической составляющей внешних усилий.

Максимальные величины изгибающих моментов в миделевом сечении при статической постановке судна на волну зависят от типа и размеров корпуса судна, и сильно изменяются в зависимости от изменения ряда характеристик, определяющих конструктивный тип судна.

На основании исследований и приближенных расчетов были получены зависимости для определения максимальной величины изгибающих моментов на миделе для случая судна на тихой воде и для определения дополнительных моментов на волне.

Говоря об общей прочности корпуса, обычно понимают его прочность при изгибе в продольном направлении.

Главное значение для безопасности судна имеет обеспечение общей продольной прочности, так как ее нарушение может привести к разлому корпуса и гибели судна. Поэтому прочность корпуса судна является предметом рассмотрения и контроля со стороны Российского морского Регистра судоходства. Требования к прочности корпуса транспортных судов изложены в части *II* "Корпус" Правил Регистра.

В Правилах установлены минимально допустимые значения моментов сопротивления W и моментов инерции I поперечных сечений корпуса в средней части и в оконечностях судна. В соответствии с этими нормативными документами проектируется конструкция корпуса судна, и рассчитываются допустимые значения изгибающих моментов и перерезывающих сил для всех реально возможных в эксплуатации случаев распределения весовой нагрузки по длине судна, включая состояние судна в полном грузу и балласте, в начале и в конце рейса.

Правила классификации, и постройки морских судов Регистра России требуют, чтобы на судах длиной 150 м имелось средство для контроля загрузки судна, с помощью которого можно оперативно установить, что изгибающие моменты и перерезывающие силы, действующие на судно на тихой воде, не превышают допустимых значений. С 1 января 1999 г. вступила в силу глава *XII СОЛАС-74* "Дополнительные меры безопасности для навалочных судов" в Правиле 10 которого сказано, что навалочные суда длиной 150 м, и более оборудуются прибором, способным предоставить информацию о перерезывающих силах и изгибающих моментах.

Рекомендации по этим приборам изложены в Резолюции № 5 Конференции 1997 года.

В обычных условиях судна изгибающие моменты и перерезывающие силы могут быть рассчитаны в соответствии с требованием и рекомендациями, изложенными в части *II*. "Корпус" Правил Российского морского Регистра судоходства.

ЧАСТЬ IV
НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Непотопляемостью называется способность судна сохранять плавучесть и остойчивость при затоплении одного или нескольких отсеков, образованных внутри корпуса водонепроницаемыми переборками и палубами.

Поступление забортной воды в поврежденный корпус судна приводит к изменению характеристик плавучести и остойчивости, управляемости и ходкости. Перераспределение сил по длине судна вызывает дополнительные напряжения в корпусе, который должен сохранять при этом достаточную прочность.

Непотопляемость судна обеспечивается за счет запаса его плавучести, под которым понимается объем всех водонепроницаемых помещений, расположенных выше действующей ватерлинии. При обеспечении непотопляемости предпочтение отдается обеспечению остойчивости, поэтому в основе непотопляемости лежит требование о том, чтобы судно теряло остойчивость только после потери плавучести, т.е. чтобы оно тонуло не опрокидываясь, так писал академик А.Н. Крылов.

Судно признается непотопляемым в том случае, если после затопления отсека (отсеков) минимальная высота надводного борта остается не менее 76 мм, т. е. когда судно сидит не ниже чем по, так называемую, предельную линию погружения. Правило 2, Гл.11-1, СОЛАС-74.

В России непотопляемость гражданских морских судов регламентируется Правилами Российского морского Регистра судоходства, часть V.

В соответствии с требованиями Правил Регистра судно должно иметь как можно более эффективное деление на отсеки, с учетом характера эксплуатации, для которой они предназначены, а степень деления на отсеки должна изменяться в зависимости от района плавания размеров судов и числа людей на борту.

КРИВЫЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЛИН ОТСЕКОВ

В процессе проектирования транспортных судов вопрос о их непотопляемости, в конечном счете, сводится к проверке правильности выбора количества и мест установки водонепроницаемых переборок.

Для морских транспортных судов нормирование посадки, после затопления одного или группы отсеков, производится по предельную линию погружения. Таким образом, критерием непотопляемости суд-

на после затопления одного или группы отсеков является положение ватерлинии ниже предельной линии погружения.

Удовлетворение этого критерия сводится к установлению такой предельной длины затопления в различных частях корпуса судна, при которой указанное выше условие будет соблюдено.

Предельной длиной затопления называется длина некоторого условного отсека, при затоплении которого действующая ватерлиния касается предельной линии погружения. При этом считается, что середина отсека располагается в рассматриваемой точке длины судна (рис. 81).

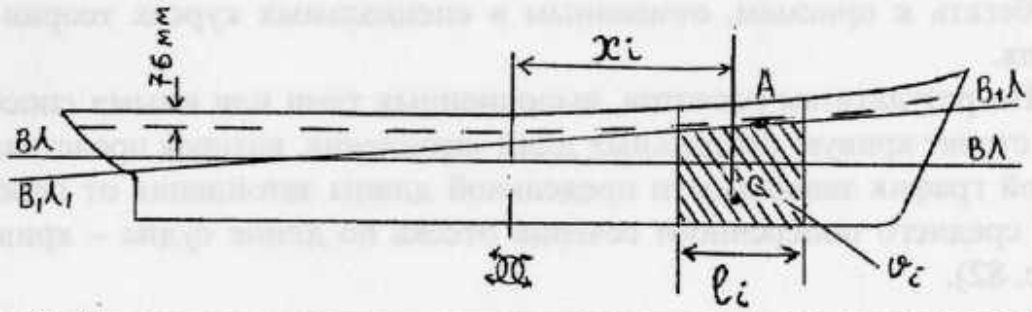


Рис. 81. Предельная линия погружения и предельная длина затопляемого отсека

Допустим, что после затопления отсека судно получило посадку по ватерлинию $B_1Л_1$, которая касается предельной линии погружения в точке A. Это значит, что судно приняло какое-то количество воды. Объем влившейся воды определяется по формуле:

$$v_i = \nabla_i - \nabla$$

где v_i – объём влившейся воды;

∇_i – объем погруженной части корпуса судна после затопления отсека;

∇ – объем погруженной части корпуса до затопления.

Абсциссу центра тяжести x_i затопленного объема v_i находим следующим образом. После затопления отсека судно находится в равновесии, т.е. центр тяжести и центр величины судна находятся на одной вертикали. Это условие при малости угла дифферента можно записать как:

$$M_i = M + v_i \cdot x_i ,$$

где M_i - статический момент объема относительно плоскости мидель- шпангоута;

M – статический момент объема ∇ относительно плоскости мидель- шпангоута.

Отсюда определяем значение $X_i = \dfrac{M_i - M}{\vartheta_i}$.

Наметив на чертеже корпуса судна ряд точек касания ватерлинии с предельной линией погружения по выше написанным формулам, можем вычислить значения x_i и ϑ_i.

Найденные значения ϑ_i определяют предельный объем отсека, соответствующий посадке судна по предельную линию погружения.

Если объем отсека предельной длины вычисляется достаточно легко, например, с помощью масштаба Бонжана, то для определения длины предельных отсеков l_i с одновременным учетом x_i приходится прибегать к приемам, описанным в специальных курсах теории корабля.

По результатам расчетов, выполненных теми или иными способами, строят кривую предельных длин затопления, которая представляет собой график зависимости предельной длины затопления от положения среднего поперечного сечения отсека по длине судна – кривая *I* (рис. 82).

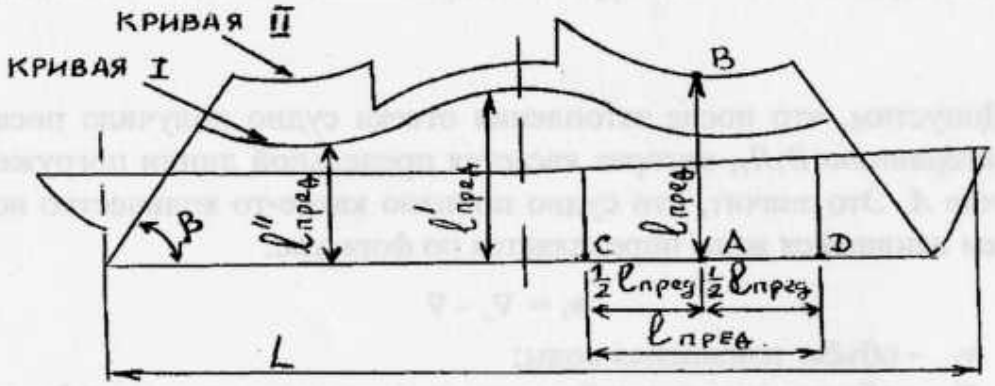


Рис. 82. Кривая предельных длин затопления

По кривой *I* видно, что там, где дифферентующий момент от затопления отсека близок к нулю, т.е. около середины судна, предельные отсеки имеют наибольшую длину, например в районе миделя предельная длина отсека затопления $l'_{пред}$.

Предельная длина затопления, что видно по кривой *I*, уменьшается от середины длины судна к его оконечностям $l''_{пред}$, поскольку при затоплении отсеков, удаленных от миделя, дифферент играет все большую роль.

Необходимо помнить, что кривая I справедлива тогда, когда все отсеки на судне пустые. Но в действительности таких отсеков на судне не бывает, так как в каждом отсеке находятся непроницаемые для

воды предметы: грузы, оборудование, механизмы, набор, мебель и т.д. В результате этого фактический объем влившейся воды в отсек будет меньше теоретического объема вычисленного по формуле:

$$\vartheta_i = \nabla_I - \nabla$$

Для учета находящегося в отсеках груза и определения количества влившейся воды в расчет вводят условный коэффициент – коэффициент проницаемости μ. Этот коэффициент представляет собой отношение объема воды, которая фактически может влиться в отсек, заполненный грузом или оборудованием, к теоретическому объему этого отсека при том же уровне воды.

Коэффициенты проницаемости для различных судовых помещений будут различны и в соответствии с Правилами Регистра России приняты:

Помещения		Коэффициент проницаемости, μ
1	Жилые помещения и кладовые	0.95
2	Машинные отделения	0.85
3	Пустые цистерны, порожние не рефрижераторные трюмы	0.98
4	Рефрижераторные трюмы порожние	0.93
5	Трюмы с генеральными грузами	0.60
6	Трюмы с лесными грузами	0.35
7	Трюмы с рудами на неспециализированных судах	0.80
8	Заполненные жидкими грузами цистерны и танки	0.0
9	Грузовые помещения накатных судов	0.80

Поэтому, с учетом коэффициента проницаемости, новая кривая предельных длин затопления (рис.82) кривая *II*, не совпадает с кривой *I*, так как будет иметь уступы в сечениях, где значения коэффициентов проницаемости μ претерпевают изменения.

В носовой и кормовой оконечностях судна кривые предельных длин отсеков переходят в наклонные прямые, проведенные под углом $\beta = arctg\ 2 = 63{,}5^{o}$ к горизонту.

Имея кривые предельных длин затопления, мы можем определить в любом месте по длине судна предельную длину отсека, следующим образом.

Из произвольно выбранной точки *A*, восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой *II*, отрезок *AB* – это и есть искомая величина $l_{пред}$ – длина затопления отсека. Для определения границ длины

отсека из точки *А* в обе стороны откладываем величину *1/2* $l_{пред.}$ *(СД)* и есть предельная длина отсека затопления в данном районе.

В процессе проектирования судов допустимая длина отсека определяется как произведение предельной длины затопления на ФАКТОР ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ.

Фактором подразделения называется условный коэффициент, зависящий от длины судна, а при данной длине – от характера эксплуатации и типа судна. Этот коэффициент никогда не превышает единицы.

Для судов различных типов фактор подразделения устанавливается Правилами Российского морского Регистра судоходства. Так, принимают фактор подразделения равный единице для грузовых транспортных судов длиной 120 м и более, танкеров и судов класса *УЛА* и *УЛ*.

Это означает, что на перечисленных судах аварийная ватерлиния не должна пересекать предельную линию погружения.

Все условия, определяющие выбор фактора подразделения, составляют особую характеристику судна, которую принято называть КРИТЕРИЕМ СЛУЖБЫ. Значения критерия службы вычисляются по Правилам Регистра (рис. 83).

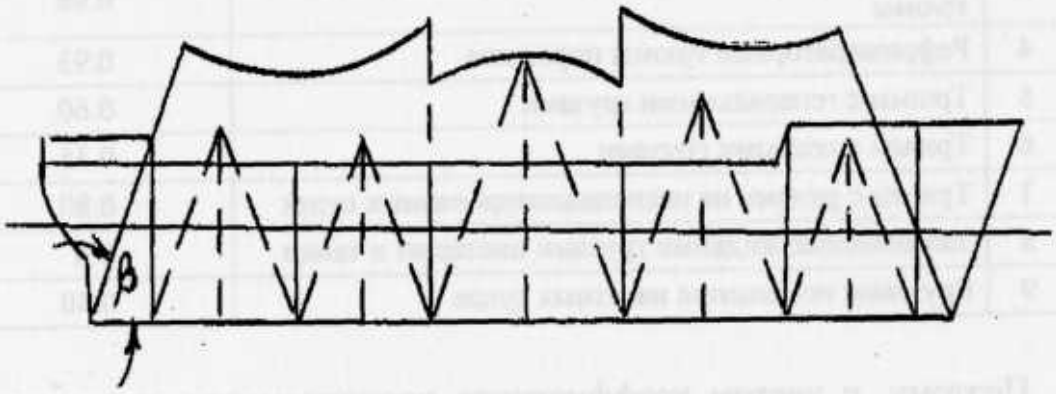


Рис. 83. Кривая допустимых длин отсеков и проверка расположения поперечных переборок

На рис.83 показана кривая допустимых длин отсеков, которая представляет собой график зависимости допустимой длины отсека от положения его среднего сечения по длине судна.

Ординаты кривой получены в результате умножения ординат кривой предельных длин затопления на фактор подразделения.

По кривой допустимых длин отсеков, нанесенной на продольный разрез судна, производят проверку правильности расположения поперечных водонепроницаемых переборок, которые на начальной стадии

проектирования судна размещаются исходя из конструктивных особенностей.

Для проведения проверки из точек пересечения линий переборок с основной линией проводят наклонные линии под углом $\beta = arctg\ 2 = 63{,}5°$ к основной линии. Если точки пересечения этих прямых располагаются ниже кривой допустимых длин, то принятые данные длин отсеков не превышают допустимых и непотопляемость судна считается удовлетворяющей Правилам.

Если же точка пересечения прямых расположена выше кривой допустимых длин отсеков, то расстояние между водонепроницаемыми переборками уменьшается.

Всю эту работу проводят КБ на стадии проектирования и постройки судов, под контролем Регистра.

ЧАСТЬ V
РАСЧЕТ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

ОЦЕНКА СИТУАЦИИ

Поступление забортной воды в корпус судна в результате повреждения приводит к изменению характеристик плавучести и остойчивости, управляемости и ходкости.

Для принятия грамотных, технически обоснованных решений в аварийной ситуации командованию судна необходимо иметь объективные характеристики состояния судна и предвидеть тенденцию развития ситуации и возможные пределы их изменения.

При оценке состояния поврежденного судна очень важно знать параметры его остойчивости, особенно если оно получило крен.

Меры, которые принимаются для спрямления судна, должны выбираться в зависимости от его состояния. В случае несимметричного затопления отсеков и достаточной начальной остойчивости крен может быть устранен за счет перекачки жидких запасов или принятия балласта в танки противоположного борта. Эти же меры при недостаточной либо отрицательной начальной остойчивости судна могут привести только к ухудшению его состояния и получению еще большего крена на противоположный борт.

Рекомендации по таким операциям изложены в Информации об аварийной остойчивости и посадки судна.

Состояние аварийного судна определяется характером и размерами полученных повреждений и исходным состоянием судна до аварии. Определяющее значение при этом имеет количество и род находящегося на судне груза и его распределение по судовым помещениям. Поэтому до выхода судна в рейс должны выполняться расчеты аварийной посадки и остойчивости для всех возможных случаев затопления отсеков и комбинаций для двух смежных отсеков с учетом конкретной загрузки судна.

В зависимости от характера затопления различают три категории затопления отсеков:

1-я категория – отсек заполнен полностью, забортная вода в отсеке может рассматриваться как дополнительный груз, имеющий постоянную массу, а координаты центра тяжести этой забортной воды совпадают с координатами центра тяжести отсека;

2-я категория – отсек заполнен частично и не сообщается с забортной водой, вода в таком отсеке рассматривается как дополни-

тельный жидкий груз с постоянной массой, имеющий свободную поверхность;

3-я категория – отсек заполнен частично и сообщается с забортной водой; масса и координаты центра тяжести этой воды изменяются при изменении осадки, крена и дифферента судна.

Затопления 1-й и 2-й категорий не вызывают сложности при производстве расчетов непотопляемости. Затопление же 3-й категории наиболее сложно при производстве этих расчетов.

При проведении расчетов необходимо помнить, что объем и количество забортной воды, которая может влиться в поврежденный отсек, зависит от количества и рода находящегося там непроницаемого для воды груза, механизмов, оборудования, снабжения и т.д. Даже в пустых отсеках имеется металлический набор. В результате этого фактический объем влившейся v в отсек воды будет меньше теоретического объема, вычисленного по формуле:

$$v = \nabla_i - \nabla ,$$

где ∇ – объем погруженной части корпуса судна до затопления;

∇_i – объем погруженной части корпуса судна после затопления.

Поэтому для определения количества влившейся воды в зависимости от наличия в отсеках грузов, оборудования, снабжения и т.д. в расчет вводят, так называемый, коэффициент проницаемости μ, который определяется:

$$\mu = v / v_m ,$$

где v – количество воды, которое может влиться в отсек;

v_m – теоретический объем отсека.

Тогда масса воды, влившейся в поврежденный отсек, определяется как $v = \mu \cdot v_m$, ее масса $m = \mu \cdot \rho \cdot v_m$, а равнодействующая сил тяжести этого объема и сил веса как

$$p = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot v_m ,$$

где g – ускорение свободного падения, 9.81 *м/с* ^{2};

μ – коэффициент проницаемости;

ρ – плотность воды.

ДВА МЕТОДА РАСЧЕТА НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Наиболее распространенными методами расчета непотопляемости судов являются:

1. Метод приема груза.
2. Метод постоянного водоизмещения.

При расчетах по методу приема грузов забортную воду, влившуюся в аварийный отсек, рассматривают как случай приема на судно груза, масса которого равна массе влившейся воды. В этом случае изменение посадки и остойчивости судна может быть вычислено так:

$$m = \mu \cdot \rho \cdot v_m, \qquad m = \rho \cdot \delta V, \qquad \delta V = S \cdot \delta d,$$

где S – площадь действующей ватерлинии.

откуда $$\delta d = \frac{m}{\rho \cdot s}; \qquad h = Z_m - Z_g,$$

а $$\delta h = \frac{m}{\Delta_0 + m}\left(d + \frac{\delta d}{2} - h - Z_p - \frac{\rho \cdot i_x}{p}\right),$$

где $Z_p = d \pm \frac{\delta d}{2} - h$;

i_x – момент инерции свободной поверхности влившейся в отсек воды. При затоплении первой категории $i_x = 0$.

Но при этом методе расчета используется метод последовательных приближений, который заключается в следующем.

В первом приближении производим расчет нового значения водоизмещения с учетом массы принятой воды по уровень исходной ватерлинии *ВЛ* (рис. 84).

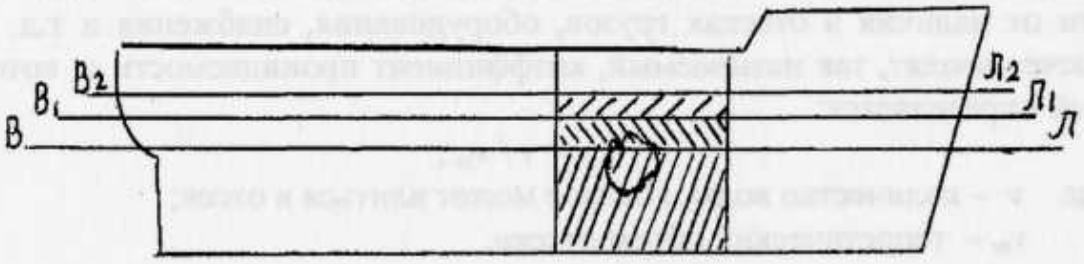


Рис. 84. Определение, аварийной посадки судна методом приема груза

Рассчитав новые значения водоизмещения и посадки судна, строим новую ватерлинию $B_1Л_1$. Но при этом оказывается, что в нашем расчете не учтен объем v_1 забортной воды в аварийном отсеке, заключенный между ватерлиниями *ВЛ* и $B_1Л_1$.

После этого с учетом объема v_1 вторично рассчитываем водоизмещение и посадку судна, после чего строим новую ватерлинию $B_2Л_2$, и т.д. до тех пор, пока расчетные параметры посадки судна не будут отличаться от параметров предыдущего расчета на пренебрежительно малую величину. Наиболее просто осуществляется расчет при затоплении отсеков 1-й и 2-й категорий.

При применении второго метода расчета, метод постоянного водоизмещения, считается, что объем воды в затопленном отсеке ис-

ключается из погруженного объема судна, т.е. изменяется форма погруженной частя корпуса, а объемное водоизмещение остается прежним за счет увеличения осадки, но при этом принимается допущение, что водоизмещение судна и координаты центра тяжести судна остаются одинаковыми до и после затопления. Этот метод разработан академиком А.Н Крыловым и называется МЕТОДОМ ПОСТОЯННОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ.

Рассмотрим подробно случай затопления отсека третьей категории, так как он является наиболее общим. При этом учитывают, что в этом методе при затоплении отсека водоизмещение и положение *ЦТ* судна остаются неизменными, а изменяется только форма подводного объема за счет исключения поврежденного отсека. В этом случае потерянная плавучесть возмещается за счет дополнительного объема заключенного между первоначальной ватерлинией *ВЛ* и новой действующей ватерлинией $B_1Л_1$ (рис, 85).

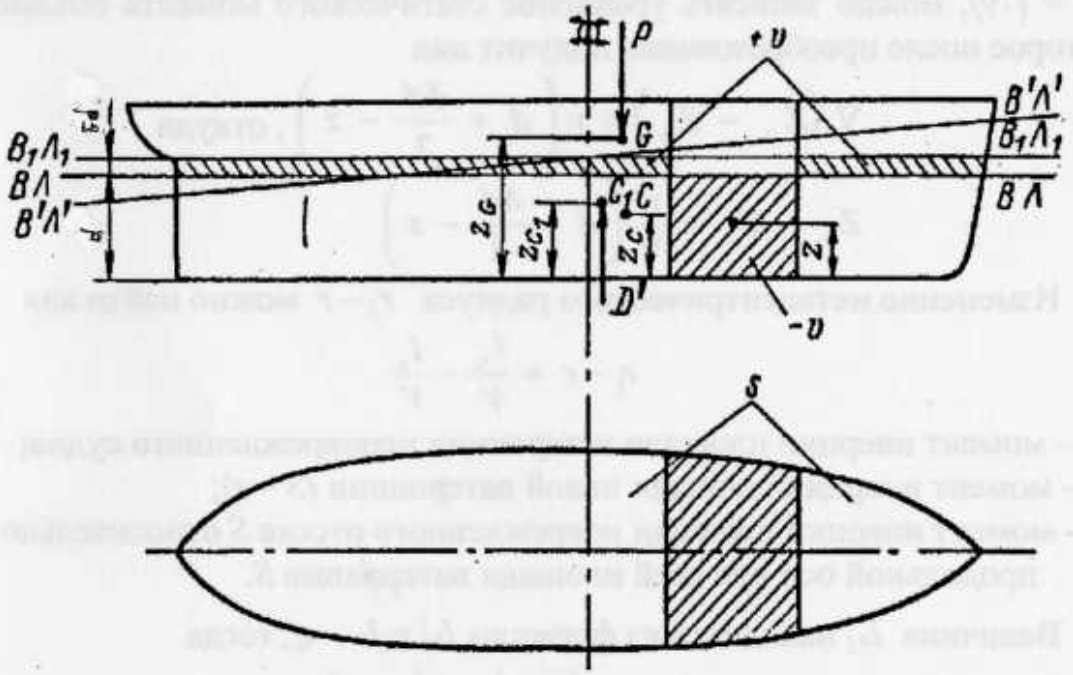


Рис. 85. Затопление отсека, сообщающегося с забортной водой.

Если принять, что борта судна прямостенные, то дополнительный объем до новой ватерлинии будет равен:

$$\delta v = \delta d \cdot (S - s)$$

где S – площадь действующей ватерлинии до повреждения судна;
s – площадь поврежденного отсека.

Принимая во внимание равенство объемов поврежденного отсека v и объема заключенного между ватерлиниями $ВЛ$ и $В_1Л_1$ можно записать, что $v = \delta d \cdot (S - s)$, откуда $\delta d = \dfrac{v}{(S - s)}$.

В этом случае изменение метацентрической высоты можно определить как

$$\delta h = h_1 \cdot h \cdot (Z_{c_1} - Z_c) + (r_1 - r) - (Z_{G_1} - Z_G)$$

а т.к. мы выше приняли положение о постоянстве значений координат центра тяжести судна, то разность его аппликат

$$Z_{G_1} - Z_G = 0 .$$

Но ввиду изменения формы объема погруженной части корпуса судна после повреждения, изменяется положение центра величины и $ЦВ$ ($С$) переместится в точку $С_1$.

Считая потерянный объем поврежденного отсека величиной отрицательной v, а приобретенный дополнительный объем положительной $\delta V = (+v)$, можно записать уравнение статического момента объемов, которое после преобразования получит вид

$$\nabla \left(Z_{c_1} - Z_c\right) = v\left(d + \frac{\delta d}{2} - z\right), \text{ откуда}$$

$$Z_{c_1} - Z_c = \frac{v}{\nabla}\left(d + \frac{\delta d}{2} - z\right)$$

Изменение метацентрического радиуса $r_1 - r$ можно найти как

$$r_1 - r = \frac{I_{x_1}}{V} - \frac{I_x}{V}$$

I_x – момент инерции площади ватерлинии неповрежденного судна;

I_{x_1} – момент инерции площади новой ватерлинии $(S - s)$;

i_x – момент инерции площади поврежденного отсека S относительно продольной оси для всей площади ватерлинии S.

Величина I_{x_1} находится из формулы $I_{x_1} = I_x - i_x$, тогда

$$r_1 - r = \frac{I_x - i_x}{\nabla} - \frac{I_x}{\nabla} = \frac{i_x}{\nabla}$$

Подставив значения $(Z_{G_1} - Z_G)$ и $(r_2 - r)$ получим h_1

$$h_1 = h + \frac{v}{\nabla}\left(d + \frac{\delta d}{2} - Z - \frac{i_x}{v}\right)$$

Как показывают результаты расчетов аварийная посадка, полученная при использовании обоих методов расчета должна быть одинакова, а метацентрическая высота различна и заключается в следующем:

– остойчивость поврежденного судна и возникающий, при малом его накренении, восстанавливающий момент не зависит от принятой методики расчета параметров остойчивости, что видно из уравнений

$$M_в = g \cdot \Delta \cdot h_\Delta \cdot Sin\,\theta$$
$$M_{вG} = g \cdot \Delta_G \cdot h_G \cdot Sin\,\theta$$

h_Δ – МЦВ поврежденного судна рассчитанная по способу постоянного водоизмещения;

h_G – МЦВ поврежденного судна рассчитанная по способу приема груза.

Так как $M_в = M_{вG}$, то

$$g \cdot \Delta \cdot h_\Delta \cdot Sin\,\theta = g \cdot \Delta_G \cdot h_G \cdot Sin\,\theta .$$

Решая это уравнение относительно h_Δ, получим

$$h_\Delta = h_G \cdot \frac{\Delta_G}{\Delta}$$

Δ – водоизмещение судна до получения повреждения;

Δ_G – водоизмещение поврежденного судна, рассчитанное по методу приема груза.

Таким образом, *МЦВ* поврежденного судна, рассчитанная по способу приема груза, всегда меньше ее значения, рассчитанного методом постоянного водоизмещения.

При затоплении больших отсеков третьей категории, хотя оба метода расчета и дают одинаковые результаты, трудоемкость их использования различна.

Метод постоянного водоизмещения применяется обычно при расчетах производимых береговыми проектно конструкторскими организациями.

В судовых условиях этот метод применим, если есть комплект диаграмм плавучести и начальной остойчивости аварийного судна, рассчитанных для случаев повреждения каждого из судовых отсеков с учетом коэффициента проницаемости.

Если на судне в документации отсутствуют характеристики подводной части корпуса поврежденного судна, то оперативный расчет непотопляемости рекомендуется производить по методу приема груза.

Этот же метод может быть рекомендован при затоплении сравнительно небольших отсеков с применением метацентрических формул остойчивости:

– масса влившейся воды $p = \mu \cdot v \cdot \rho$

– изменение средней осадки $\delta d = \dfrac{p}{\rho \cdot S}$,

где S – площадь действующей ватерлинии;

– изменение *МЦВ* $\delta h = \dfrac{p}{\Delta + p}\left(d + \dfrac{\delta d}{2} - h - Z - \dfrac{\rho \cdot i_x}{p}\right)$;

– новое значение *МЦВ* $h_G = h + \delta h$;

– угол крена и дифферента судна после повреждения

$$\theta_{ав} = \frac{p \cdot y}{h_G(\Delta + p)}, \qquad \Psi_{ав} = \frac{m(x - x_i)}{\Delta \cdot H};$$

– осадка судна носом $d_{н.ав} = d_н + \delta d + \left(\dfrac{L}{2} - X_f\right) \cdot \Psi_{ав}$;

– осадка кормой $d_{к.ав} = d_к + \delta d - \left(\dfrac{L}{2} + X_f\right) \cdot \Psi_{ав}$.

При затоплении небольших отсеков третьей категории расчет целесообразно производить по методу постоянного водоизмещения:

– изменение средней осадки рассчитываем как $\delta d = \dfrac{v}{(S_0 - s)}$;

– рассчитываем координаты *ЦТ* действующей ватерлинии поврежденного судна

$$\xi = X_f - \frac{(a - Xf) \cdot s}{(S_0 - s)}, \qquad \eta = \frac{-bs}{(S_0 - s)};$$

– рассчитываем потерянные при затоплении аварийного отсека моменты инерции этой ватерлинии

$$\delta I_x = i_x + s \cdot b^2 + (S_0 - s) \cdot \eta^2,$$

$$\delta I_{yf} = i_y + s \cdot (a - Xf)^2 + (S_0 - s) \cdot (\xi - Xf)^2;$$

– определяем изменения метацентрической высоты

$$\delta h = \frac{v\left(d + \dfrac{\delta d}{2} - Z - \dfrac{\delta I_x}{v}\right)}{\nabla},$$

$$\delta H = \frac{-\delta I \cdot y_f}{\nabla};$$

– рассчитываем угол крена и дифферента поврежденного судна

$$\theta_{ав} = \frac{57.3 \cdot v \cdot (y - \eta)}{\nabla(h + \delta h)}, \qquad \Psi_{ав} = \frac{v(x - \xi)}{\nabla(H + \delta H)};$$

– рассчитываем осадку судна носом и кормой

$$d_{н.ав} = d_н + \delta d + \left(\frac{L}{2} - \xi\right) \cdot \Psi_{ав},$$

$$d_{к.ав} = d_к + \delta d - \left(\frac{L}{2} - \xi\right) \cdot \Psi_{ав}.$$

Принимаемые обозначения:

ρ – плотность забортной воды;
S_0 – площадь действующей ватерлинии неповрежденного судна;
X_f – абсцисса ЦТ действующей ватерлинии S_0;
x, y, z – координаты ЦТ влившегося объема воды v;
i_x – момент инерции площади поверхности воды в поврежденном отсеке относительно центральной оси s;
При затоплении первой категории $i_x = 0$;
H – продольная *МЦВ*;
s – потерянная площадь поврежденного отсека;
a и b – координаты *ЦТ* потерянной площади s;
i_x и i_y – моменты инерции потерянной площади относительно центральной оси;
$(S_0 - s)$ – площадь ватерлинии поврежденного судна;
v – объем затопленного отсека;
ξ, η – координаты *ЦТ* поврежденного судна.

При производстве расчетов необходимо учитывать, что точность результатов расчетов зависит не только от выбранной методики, но и от точности принятых исходных данных и в первую очередь от принятых значений коэффициентов проницаемости.

РАСЧЕТ АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУДОВОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Использование метацентрических формул для расчета аварийной посадки судна в случае затопления больших отсеков третьей категории может привести к значительным погрешностям.

В судовых условиях приемлем метод расчета аварийной посадки судна предложенный В.Г. Сизовым. Этот метод является разновидностью метода приема груза.

При использовании метода В.Г. Сизова, используют диаграммы осадок судна носом и кормой и чертеж размещения грузов.

При отсутствии этих документов можно использовать любые другие, с помощью которых по водоизмещению и его статическому моменту относительно плоскости мидель-шпангоута можно определить осадку суда носом и кормой и по заданной осадке определить объем судового помещения по этот уровень.

Задавшись двумя произвольными, но мало отличающимися друг от друга, уровнями воды в поврежденном отсеке t_1 и t_2 определяют для каждого уровня объем помещения v и массу влившейся воды

$$p = \mu \cdot \rho \cdot v .$$

Затем методом приближений рассчитывают массу забортной воды, которую надо принять в аварийный отсек, чтобы уровень этой воды сравнялся с уровнем аварийной ватерлинии. Эта зависимость $m = \varphi(t)$ показана на рис. 86 и изображена прямой *1*.

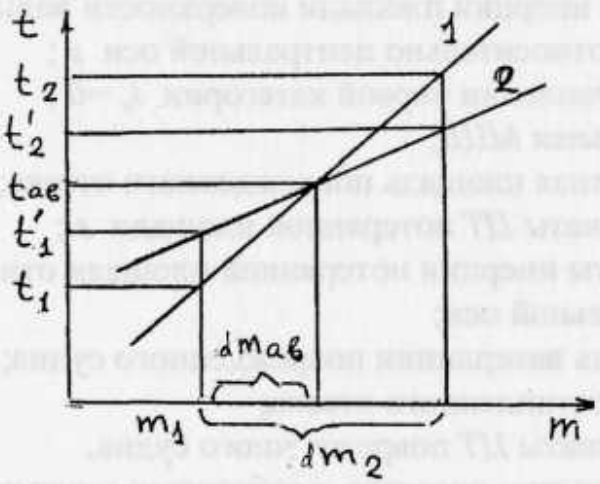


Рис 86.

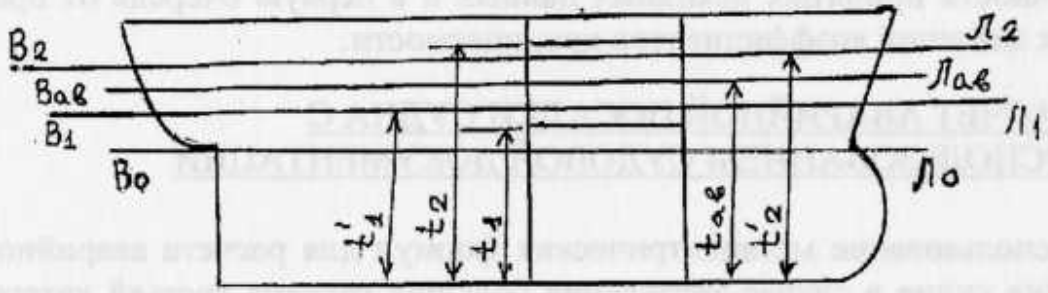


Рис. 87. Определение аварийной посадки с помощью судовой документации

Зависимость изменения осадки судна $\delta t'$ в районе аварийного отсека t' (точнее осадки, измеренной в поперечной плоскости, проходящей через ЦТ объема аварийного отсека) от изменения массы влившейся в отсек забортной воды, выраженная через

$$\delta t' = \frac{\delta m}{q} + \frac{\delta m \left(X - X_f\right)^2}{ML},$$

также может быть изображена прямой линией *2* (рис. 86).

Решая систему двух линейных уравнений изображенных прямыми 1 и 2, получают выражение для массы забортной воды δm_{ab} ,

которую надо принять в аварийный отсек поверх уровня t_1, чтобы уровень воды в аварийном отсеке сравнялся с уровнем аварийной ватерлинии:

$$\delta m_{ab} = \frac{\delta m_2 \cdot \delta t_1}{\delta t_2 - \delta t_1}, \text{ где}$$

δm_2 – изменение массы воды в аварийном отсеке при переходе от уровня t_1 к уровню t_2;

δt_1; δt_2 – невязки между уровнями воды t_1 и t_2 в аварийном отсеке и уровнем соответствующих им ватерлиний t' в районе аварийного отсека.

Положение расчетных ватерлиний на корпусе судна и их уровней в районе аварийного отсека показано на рис. 87.

Расчет аварийной посадки судна при повреждении заданного отсека удобно выполнять на типовом бланке в форме таблицы.

Для упрощения расчета предварительно определяются относительные расстояния *ЦТ* объемов судовых помещений от кормового перпендикуляра (в долях длины судна):

$$\zeta = 0.5 + \frac{X}{L}.$$

Исходными данными для производства расчета служат:

Δ – водоизмещение неповрежденного судна;

M_x – статический момент относительно мидель-шпангоута;

M – коэффициент проницаемости аварийных помещений.

При расчетах в первом приближении задаются уровнем забортной воды в аварийном отсеке t_1 и по шкале f чертежа размещения грузов определяют объем помещения по этот уровень v_1.

Вычисляют массу m_1 забортной воды, которая может влиться в аварийный отсек по уровень t_1.

Учитывая невысокую точность определения μ при вычислении m_1, можно принять $\rho = 1$ *т/м*^{3}.

Уровень t_1 может быть выбран произвольно. Если судно двухпалубное, то t_1 рекомендуется принимать на уровне твиндечной палубы.

Затем рассчитывают Δ_1 и M_{x1} судна в первом приближении и для них по диаграмме осадок носом и кормой определяют $d_{н1}$ и $d_{к1}$.

Вычисляют уровень ватерлинии в районе аварийного отсека t'_1 и невязку δt_1.

Для расчета во втором приближении задаются уровнем t_2, который выбирают на 1-1,5 м. выше исходного уровня t_1, если $\delta t_1 < 0$; либо

ниже его, если $\delta t_1 > 0$ и повторяют расчет, определив по чертежу размещения грузов приращение объема δv_2 при переходе от уровня t_1 к уровню t_2.

Если при расчетах в первом или втором приближении окажется, что невязка δt мала (в пределах $<0{,}05$ *м*), то расчет на этом может быть прекращен.

В последнем третьем приближении по формуле:

$$\delta m_{ab} = \frac{-\delta m_2 \cdot \delta t_1}{\delta t_2 - \delta t_1}$$

рассчитывают массу воды δm_{ab}, которая будет принята в аварийный отсек над уровнем t_1, вычисляют водоизмещение поврежденного судна Δ_1 и его статический момент Mx_{ab}, затем с помощью диаграммы осадок носом и кормой определяют аварийную посадку судна $d_{нав}$ и $d_{кав}$.

Так как диаграммы осадок судна носом и кормой строятся обычно в диапазоне реальных эксплуатационных величин, то точка, изображающая состояние поврежденного судна, может оказаться за пределами диаграммы.

В этом случае параметры посадки аварийного судна определяются методом линейной экстраполяции кривых постоянных значений осадок судна носом и кормой.

Для контроля расчетов можно выполнить следующую проверку:

– по массе δm_{ab} рассчитывают объем забортной воды δv_{ab}, который будет принят в аварийный отсек над уровнем t_1;

– по объему $\delta v_{ав}$ с помощью шкалы *f* чертежа размещения грузов определяем уровень забортной воды в аварийном отсеке $t_{ав}$;

– по параметрам посадки аварийного судна вычисляем уровень аварийной ватерлинии в районе поврежденного отсека $t'_{ав}$

Малая величина невязки $\delta t_{ав}$ будет свидетельствовать, что расчет аварийной посадки судна выполнен с достаточной точностью.

Расчет аварийной посадки судна при повреждении заданного отсека удобно выполнять на типовом бланке в форме таблицы, табл.1.

Таблица 1.

Типовой бланк расчета аварийной посадки т/х…

L =	Δ =	M_x =
ρ =	$d_н$ =	$d_к$ =

Аварийный отсек №...

$v_{тр}$= $x_{тр}$= $\zeta_{тр}$= $\mu_{тр}$=

$v_{тв}$= $x_{тв}$= $\zeta_{тв}$= $\mu_{тв}$=

Расчётные величины	Величины, определяемые по судовым документам	
	по диаграмме осадок носом и кормой	по чертежу размещения грузов
t_1= $m_1=\rho\cdot\mu\cdot v_1$= $\Delta_1=\Delta+m_1$= $M_{x1}=M_x+m_1\cdot x$ = $t'_1=d_{к1}+\zeta(d_{н1}-d_{к1})$= $\delta t_1=t_1-t'_1$=	$d_{н1}$ = $d_{к1}$ =	v_1 =
t_2= $\delta m_2=\rho\,\mu\cdot\delta v_2$ = $\Delta_2=\Delta_1+\delta m_2$ = $M_{x2}=M_{x1}+\delta m_2\cdot x$ = $t'_2=d_{к2}+\zeta(d_{н2}-d_{к2})$= $\delta t_2=t_2-t'_2$=	$d_{н2}$ = $d_{к2}$ =	δv_2 =
$\delta m_{ав}=-\delta m_2\cdot\delta t_1/(\delta t_2-\delta t_1)$ = $\Delta_{ав}=\Delta_1+\delta m_{ав}$ = $M_{хав}=M_{x1}+\delta m_{ав}\cdot x$ =	$d_{нав}$= $d_{кав}$=	
Контроль: $\delta v_{ав}=\delta m_{ав}/(\rho\cdot\mu)$ = $t'_{ав}=d_{кав}+\zeta(d_{нав}-d_{кав})$= $t_{ав}=t_{ав}-t_{ав}$		$t_{ав}$ =

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР РАСЧЕТА АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ СУДНА

Таблица 2. Расчет аварийной посадки теплохода “Герои Панфиловцы”

Исходные данные до повреждения:

L = 144,6 м; Δ = 19750 т; M_x = -24400 тс·мм;

ρ = 1,025 т/м^3; $d_н$ = 8,20 м; $d_к$ = 8,80 м.

Аварийный отсек № 4, затопляются трюм и твиндек:
Считаем, что в районе двойного дна корпус судна не поврежден.
Объемы аварийных помещений: $v_{тр} = 5060$ м^3;
vтв = 3010 м3.
Координаты ЦТ объемов аварийных помещений: хтр = - 6,12 м;
хтв = - 6,35 м.
Коэффициенты проницаемости: μтр= 0.5;
μтв = 0.7;
Относительные расстояния ЦТ тр. и тв. №4 от КП: ζтр = 0,458;
ζтв = 0,456;

$$\zeta = 0{,}5 + \frac{X}{L}.$$

Расчётные величины		Величины, определяемые по судовым документам	
		по диаграмме осадок носом и кормой	по чертежу размещения грузов
1е приближение	$t_1 = 9{,}46$м $m_1 = \rho \cdot \mu \cdot v_1 = 2530$ т $\Delta_1 = \Delta + m_1 = 22280$ т $M_{x1} = M_x + m_1 \cdot x = -39890$ тм $t'_1 = d\kappa_1 + \zeta(d_{н1} - d\kappa_1) = 9{,}91$ м $\delta t_1 = t_1 - t'_1 = -0{,}45$ м	$d_{н1} = 9{,}56$ м $d\kappa_1 = 10{,}20$ м	$v_1 = 5060$ м^3
2е приближение	$t_2 = 11{,}0$ м $\delta m_2 = \rho \mu \cdot \delta v_2 = 700$ т $\Delta_2 = \Delta_1 + \delta m_2 = 22980$ т $M_{x2} = M_{x1} + \delta m_2 \cdot x = -44340$ тм $t'_2 = d\kappa_2 + \zeta(d_{н2} - d\kappa_2) = 10{,}17$ м $\delta t_2 = t_2 - t'_2 = 0{,}83$ м	$d_{н2} = 9{,}81$ м $d\kappa_2 = 10{,}48$ м	$\delta v_2 = 1000$ м^3
3е прибл.	$\delta m_{ав} = -\delta m_2 \cdot \delta t_1 / (\delta t_2 - \delta t_1) = 246$ т $\Delta_{ав} = \Delta_1 + \delta m_{ав} = 22526$ т $M_{xав} = M_{x1} + \delta m_{ав} \cdot x = -44340$ тм	$d_{нав} = 9{,}65$м $d\kappa_{ав} = 10{,}30$ м	
	Контроль: $\delta v_{ав} = \delta m_{ав} / (\rho \cdot \mu) = 351$ м^3 $t'_{ав} = d\kappa_{ав} + \zeta(d_{нав} - d\kappa_{ав}) = 10{,}0$ м $t_{ав} = t_{ав} - t_{ав} = 0{,}01$ м		$t_{ав} = 10{,}01$ м

Пример 2

Таблица 3. Расчет аварийной посадки теплохода
"Герои- Панфиловцы" при затоплении отсеков № 2 и 3.

До аварии:

$L = 144.6$ м; $\Delta = 17880$ т; $M_x = -17880$ т;
$\rho = 1.025$ т/м^3; $d_н = 8.0$ м; $d_к = 8.5$ м;
$\mu_{тр/тв3} = 0{,}50/0{,}70$; $\mu_{тр/тв2} = 0{,}65/0{,}75$;
$v_1 = 2025$м^3; $v_2 = 2595$м^3.

По чертежу размещения грузов определяем абсциссу *ЦТ* объемов аварийных помещений:

$x_{тр2} = 40.87$ м; $x_{тв2} = 40{,}97$ м;
$x_{тр3} = 21{,}58$ м; $x_{тв3} = 21{,}91$ м.

Так как аварийная ватерлиния предположительно должна пройти в районе твиндеков № 2 и № 3, определим площади их горизонтальных сечений по формуле:

$$S = (v''-v')\cdot\delta t'',$$

где v' *и* v'' – произвольные объемы, которыми задаемся для расчета $v' = 800$ м^3; $v'' = 1200$ м^3; δt – вертикальное расстояние между уровнями соответствующими этим объемам, определяемым по шкале *f*:

$$\delta t'_{тв2} = 12{,}2 - 11{,}3 = 0{,}9 \text{ м} \quad \text{и} \quad \delta t'_{тв3} = 13{,}1 - 11{,}9 = 1{,}2 \text{ м}$$

$$S_{тв2} = \frac{1200 - 800}{0{,}9} = 444\,м^2; \quad S_{тв3} = \frac{1200 - 800}{1{,}2} = 333\,м^2.$$

Вычисляем абсциссу общего для двух отсеков *ЦТ* приведенных площадей по выражению:

$$x = \frac{(\mu_1 \cdot S_1 \cdot x_1 + \mu_2 \cdot S_2 \cdot x_2)}{\mu_1 \cdot S_1 + \mu_2 \cdot S_2}$$

и его расстояние от кормового перпендикуляра в долях *L* по выражению:

$$\zeta = 0.5 + \frac{x}{L},$$

получаем: $x = 32{,}48$ м; $\zeta = 0{,}725$.

Дальнейший расчет осуществляем на стандартном бланке № 3.

	Расчётные величины	Величины, определяемые по судовым документам	
		по диаграмме осадок носом и кормой	по чертежу размещения грузов
1е приближение	$t_1 = 9{,}46$ м $m_1 = \rho \cdot \mu \cdot v_1 = 2700$ т $\Delta_1 = \Delta + m_1 = 20580$ т $M_{x1} = M_x + m_1 \cdot x_{тр} = 60750$ тм $t'_1 = d\kappa_1 + \zeta(dн_1 - d\kappa_1) = 10{,}24$ м $\delta t_1 = t_1 - t'_1 = -0{,}78$ м	$dн_1 = 11{,}30$м $d\kappa_1 = 7{,}46$м	$\Sigma_1 v_i = 2025\ м^3 + 2595\ м^3$
2е приближение	$T_2 = 11{,}0$ м $\delta m_2 = \rho \mu \cdot \delta v_2 = 830$ т $\Delta_2 = \Delta_1 + \delta m_2 = 21410$ т $M_{x2} = M_{x1} + \delta m_2 \cdot x = 8760$ тм $t'_2 = d\kappa_2 + \zeta(dн_2 - d\kappa_2) = 10{,}87$ м $\delta t_2 = t_2 - t'_2 = 0{,}13$ м	$dн_2 = 12{,}22$ м $d\kappa_2 = 7{,}33$ м	$\Sigma_2 \cdot \delta v_i = 650\ м^3 + 500\ м^3$
3е прибл.	$\delta m_{ав} = -\delta m_2 \cdot \delta t_1 / (\delta t_2 - \delta t_1) = 711$ т $\Delta_{ав} = \Delta_1 + \delta m_{ав} = 21290$ т $M_{хав} = M_{x1} + \delta m_{ав} \cdot x = 83840$ тм	$dн_{ав} = 12{,}07$м $d\kappa_{ав} = 7{,}37$м	
	Контроль: $t'_{ав} = d\kappa_{ав} + \zeta(dн_{ав} - d\kappa_{ав}) = 10{,}78$ м $\delta m'_{ав} = \Sigma \rho \cdot \mu_i \cdot \delta v_i = 708\ м^3$ $\delta m = \delta m_{ав} - \delta m'_{ав} = 3$ т		$\Sigma_{ав} \cdot \delta v_i = 550\ м^3 + 430\ м^3$

Из приведенных расчетов аварийной посадки судна видно, что невязка между уровнем воды в аварийном отсеке $t_{ав}$ и уровнем аварийной ватерлинии $t'_{ав}$ величина малая = 1 см, а это свидетельствует о том, что расчет выполнен с достаточной для эксплуатационных целей точностью и мы можем прекратить дальнейший расчет.

Таким же порядком определяют посадку аварийного судна при повреждении других, необходимых для контроля отсеков.

РАСЧЕТ АВАРИЙНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

После расчета аварийной посадки судна его метацентрическая высота может быть определена по схеме, принятой для расчёта параметров начальной остойчивости по грузовому плану. При расчете принимаем, что положение аварийной ватерлинии и масса влившейся воды уже определены.

Рассматривая влившуюся в аварийный отсек воду как принятый на судно дополнительный жидкий груз, определяем аппликаты ЦТ жидкого груза поврежденных отсеков и рассчитываем новое водоизмещение $\Delta_{ав}$, его $M_{Zав}$ с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидкого груза поврежденного отсека второй и третьей категории и исправленное значение аппликаты ЦТ аварийного судна $Z_{g_{ав}}$

$$\Delta_{ав} = \Delta + \Sigma m_{ав};$$

$$Mz_{ав} = Mz + \Sigma m_{авi} \cdot Z_{авi} + \rho_ф \cdot \Sigma i_{хав.i};$$

$$Z_{g_{ав}} = \frac{M_{z_{ав}}}{\Delta_{ав}}, \text{ где}$$

$\rho_ф$ – фактическая плотность забортной воды;

$i_{хав.i} = \frac{l_i \cdot b_i^3}{12}$ – это момент инерции площади свободной поверхности поврежденного отсека i и длиной l_i и шириной b_i относительно его продольной центральной оси.

Начальная поперечная метацентрическая высота судна, рассчитанная по методу приема груза:

$$h_g = Zm_{ав} - Z_{g_{ав}},$$

где $Zm_{ав}$ – аппликата метацентра, определенная по кривым плавучести и начальной остойчивости для водоизмещения $\Delta_{ав}$ или осадки $d_{ав}$. При необходимости, пользуясь выражением:

$$h_\Delta = \frac{h_g \cdot \Delta_g}{\Delta}, \text{где}$$

Δ – водоизмещение судна до повреждения;

Δ_g – водоизмещение поврежденного судна, рассчитанное, по методу приема груза.

Можно получить и значение МЦВ (h_Δ) определенной по методу постоянного водоизмещения.

Построение ДСО аварийного судна, имеющего поврежденные отсеки второй или первой категории с помощью обычного комплекта судовой документации на судне практически невозможно.

В случае затопления отсека третьей категории при изменении угла крена изменяется и масса воды в поврежденном отсеке, а соответственно меняются все характеристики загрузки, при производстве расчета по методу приема груза, и посадка судна. Таким образом, в этом случае для каждого накренения судна надо заново определять равновесное положение и вычислять действующий восстанавливающий момент.

При затоплении отсеков первой и второй категорий ДСО, без учета влияния свободной поверхности жидкого груза поврежденного отсека, может быть построена с помощью пантокарен или универсальной диаграммы статической остойчивости.

Сложность заключается в учете влияния свободной поверхности на плечи статической остойчивости.

Общее выражение для вычисления дополнительного кренящего момента от переливания жидкости в поврежденном отсеке выглядит как

$$\delta M_\theta = P_{ж}\left[Cos\theta \cdot \int_0^\theta i_x(\varphi)\cdot Cos(\varphi)\cdot d_\varphi + Sin\theta \int_0^\theta i_x(\varphi)\cdot Sin\varphi \cdot d_\varphi \right]$$

$i_x(\varphi)$ – момент инерции площади свободной поверхности жидкости в поврежденном отсеке в зависимости от угла крена φ.

Если приближенно определить положение свободной поверхности жидкости в поврежденном отсеке при накренении на 15° и 30° и вычислить для этих углов i_x, построить приближенную зависимость $i_x(\varphi)$ и по правилу трапеций рассчитать определенные интегралы, заключенные в скобках, то можно определить δM, для накренения на 15 и 30° и затем вычислить поправки к величинам плеч статической остойчивости:

$$\delta l_\theta = -\frac{\delta M_\theta}{\Delta}$$, а затем откорректировать ДСО.

Но даже такой упрощенный расчет для судовых условий слишком трудоемок.

Поэтому на судне приближенный вид аварийной ДСО может быть получен с помощью входящих в ОПЕРАТИВНУЮ информацию о непотопляемости универсальных диаграмм аварийной остойчивости при затоплении отдельных судовых помещений.

СУДОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО СУДНА.

В соответствии с требованиями Правил классификации и постройки морских судов Российского морского Регистра судоходства все суда, на которые распространяются требования к непотопляемости, должны иметь Информацию об аварийной посадке и остойчивости судна при затоплении отсеков, называемую также Информацией о непотопляемости.

Информация о непотопляемости предназначена для оказания помощи капитану в оценке состояния поврежденного судна и рекомен-

дации по выработке мер по ее сохранению. В нее включены сведения о судне, его размерениях, характеристиках судовых помещений, расположении водонепроницаемых переборок, данные о всех технических средствах, которые могут быть использованы в борьбе за живучесть судна.

В Информации даны рекомендации капитану по поддержанию остойчивости неповрежденного судна на таком уровне, чтобы при получении любого расчетного повреждения выполнялись требования к аварийной остойчивости.

Информация о непотопляемости содержит также результаты расчетов аварийной посадки и остойчивости судна при повреждении любого из водонепроницаемых отсеков для нескольких вариантов загрузки судна.

На судах последних лет постройки в Информации о непотопляемости включают сводные результаты расчетов непотопляемости судна при затоплении любого отсека и различных вариантов загрузки.

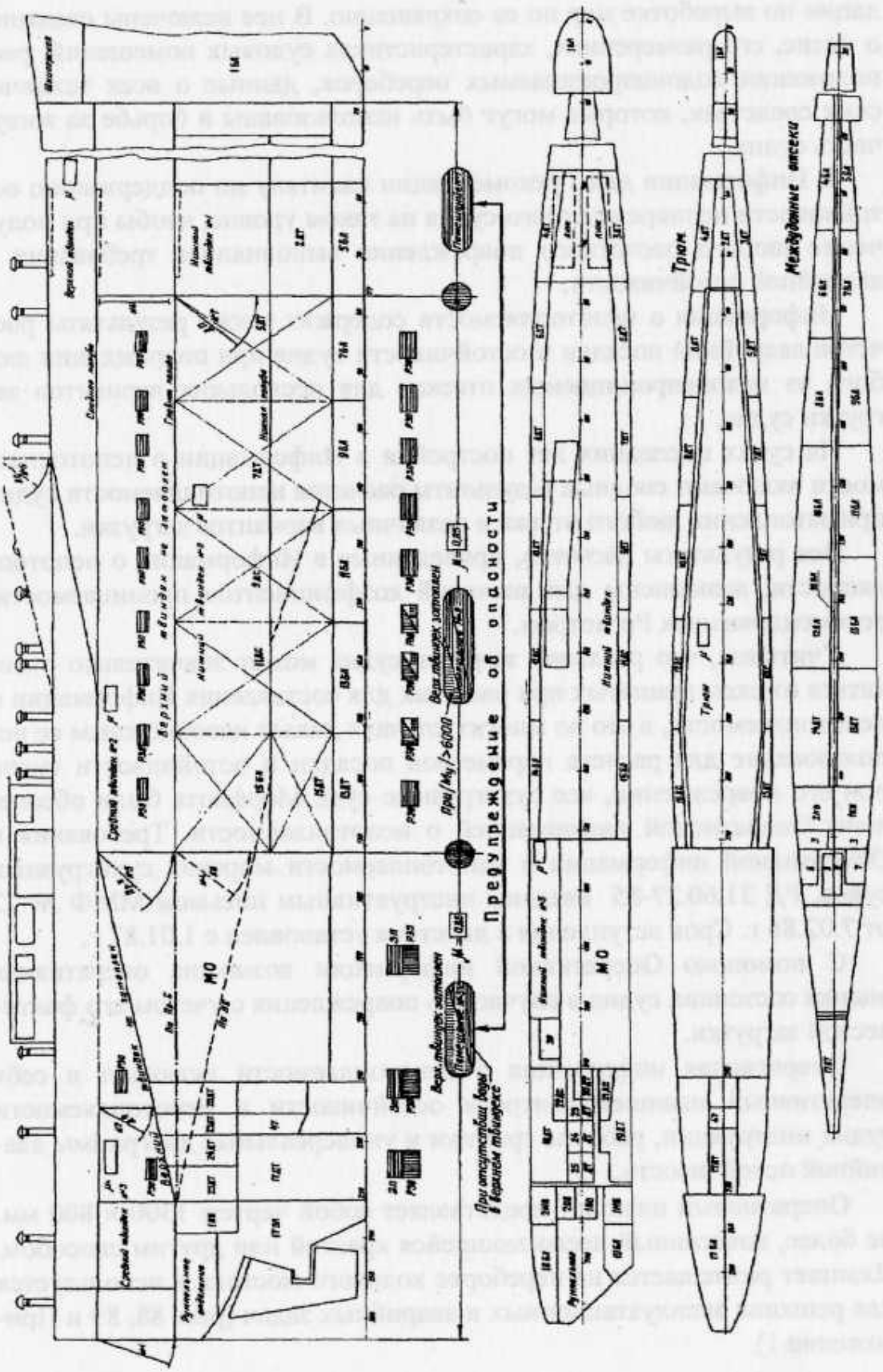
Все результаты расчетов, приведенные в Информации о непотопляемости, выполнены для значений коэффициентов проницаемости, рекомендованных Регистром.

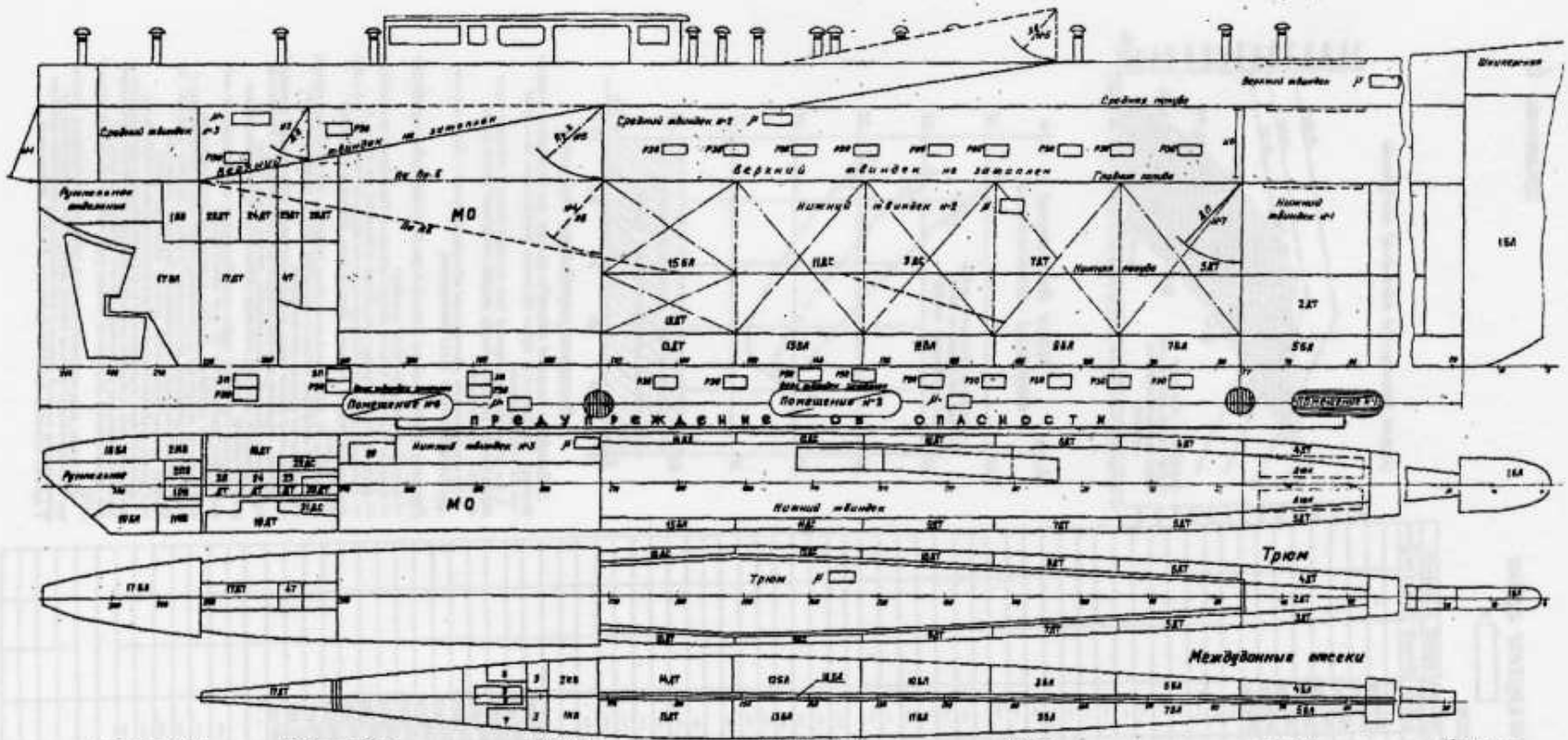
Учитывая, что реальная загрузка судна может значительно отличаться от схем принятых при расчетах для составления Информации о непотопляемости, а это во многих случаях делает невозможным ее использование для расчета параметров посадки и остойчивости судна при его повреждении, все сухогрузные суда Морфлота были обеспечены Оперативной информацией о непотопляемости. Требования к Оперативной информации о непотопляемости морских сухогрузных судов, РД 31.60.27-85 введены инструктивным письмом ММФ № 22 от 7.02.86 г. Срок вступления в действия установлен с 1.01.87 г.

С помощью Оперативной информации возможна оперативная оценка состояния судна в случае его повреждения с учетом его фактической загрузки.

Оперативная информация о непотопляемости включает в себя оперативный планшет контроля остойчивости и непотопляемости судна, инструкции, рабочие графики и универсальные диаграммы аварийной остойчивости.

Оперативный планшет представляет собой чертеж 1300 × 800 мм. не более, нанесенный несмывающейся краской или другим способом. Планшет размещается на переборке ходового мостика и используется для решения эксплуатационных и аварийных задач (рис. 88, 89 и Приложение 1).


Предупреждение об опасности
Трюм
Междудонные отсеки


Средний тоннель
Верхний тоннель
Нижний тоннель №2
Нижний тоннель №1
Нижний тоннель №3
Помещение №6
Помещение №5
Помещение №4
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБ ОПАСНОСТИ
Трюм
Межбортные емкости

Приложение 1

Состояние нагрузки судна

Груз ☐ т

Запасы и балласт

Код	Наименование	Объем, м³	Плотность, т/м³	Масса в тоннах: Отход	Приход	Момент
	Топливо ДТ					
5	Диптанк ДТ №1	1284	3800/1026			
8	Диптанк ДТ №2	327	1500/1290			
9	Цистерна ДТ №3	384	1300/1265			
10	Цистерна ДТ №4	445	1750/1220			
32	Цистерна ДТ №5	349	1300/1265			
33	Цистерна ДТ №6	362	1300/1000			
34	Цистерна ДТ №7	374	1400/1000			
35	Цистерна ДТ №8	378	1400/1000			
36	Цистерна ДТ №9	316	—			
37	Цистерна ДТ №10	330	—			
40	Цистерна ДТ №13	292	—			
41	Цистерна ДТ №14	508	—			
42	Цистерна ДТ №15	171	—			
57	Цистерна ДТ №17	252	—			
58	Цистерна ДТ №18	430	—			
59	Цистерна ДТ №19	288	—			
60	Цистерна ДТ №20	110	—			
61	Цистерна ДТ №23	113	—			
62	Цистерна ДТ №24	124	—			
63	Цистерна (запасная) ДТ №25	124	—			
4	Цистерна ДТ №28	658	—			
55	Цистерна шлейфовая труб. №12	103	—			
	Топливо ДС					
38	Цистерна ДС №11	332	—			
39	Цистерна ДС №12	336	—			
43	Цистерна ДС №16	196	—			
64	Цистерна (запасная) ДС №21	87	—			
65	Сепарайная ДС №22	86	—			
66	Цистерна ДС №28	198	—			
	Масло					
52	Цистерна	15,9	—			
53	Цистерна	15,9	—			
72	Цистерна	14,2	—			
54	Цистерна	14,2	—			
72	Цистерна	30,5	—			
73	Цистерна	30,1	—			
74	Цистерна	18,5	—			
	Пресная вода					
49	Цистерна питьевой воды №1	51,1	—			
50	Цистерна питьевой воды №2	57,1	—			
67	Цистерна питьевой воды №1	76,3	—			
68	Цистерна питьевой воды №2	76,3	—			
69	Цистерна питьевой воды №3	53,8	—			
70	Цистерна питьевой воды №5	46,3	—			
71	Цистерна противопожарной воды №4	24,5	—			
	Балласт					
1	Цистерна (форпик) №1	858				
6	Цистерна №4	88	400/1000			
7	Цистерна №5	33	400/1000			
20	Цистерна №6	172	420/1350			
19	Цистерна №7	138	800/1400			
22	Цистерна №8	238	800/1400			
21	Цистерна №9	316	800/1400			
24	Цистерна №10	313	-400/1400			
23	Цистерна №11	324	-400/1400			
26	Цистерна №12	347	-400/1400			
25	Цистерна №13	359	-800/1400			
28	Цистерна №14	158	400/1400			
27	Цистерна №15	241	400/1400			
15	Балластный коридор №16	165	800/1400			
29	Цистерна №17	175	1400/1400			
31	Цистерна №18	158	-400/1400			
30	Цистерна №19	62				
	Цистерны разные					
47	Цистерна сточных вод (ПК)	21,8	—			
48	Цистерна сточных вод (ЛК)	21,8	—			
51	Цистерна сточных вод	14,3	—			
56	Цистерна [illegible] фекалий	4,8	—			
75	Цистерна [illegible] фекалий	13,8	—			
76	Цистерна [illegible]	8,3	—			
	Состояние судна					
	Водоизмещение, т					
	Средняя осадка, м					
	Дифферент, м					
	Метацентрическая высота, м					

График достаточной аварийной плавучести

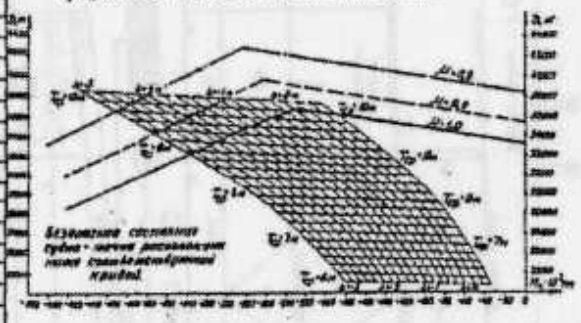
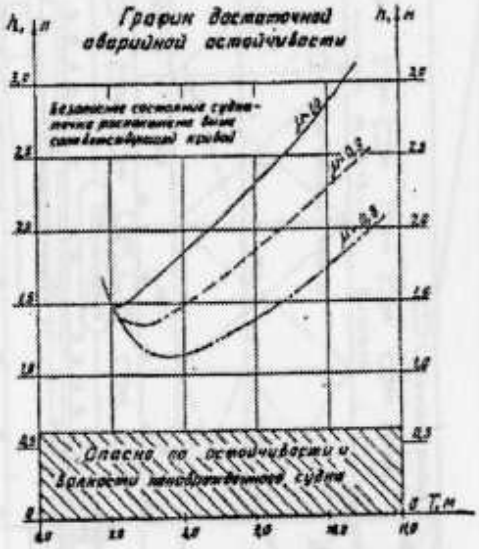


График достаточной аварийной остойчивости



Указания разработчика Информации

(Затопление концевых и бортовых цистерн при сохранении непроницаемости 2-го дна и 2-го борта является безопасным для судна (см. 8.1.1. Инструкции).

2. При одновременном затоплении воды танков 1 (верхний твиндек через иллюминаторы верхней палубы руководствоваться указаниями п.п. 8.1.8. Инструкции.

3. При необходимости уточненной аварийной оценки и дифферента руководствоваться 4.8.1.5 Инструкции.

Перечень первоочередных действий при получении судном пробоины

— Объявить общесудовую тревогу.
— Членам экипажа занять места согласно Расписанию по тревогам.
— Выявить пострадавших при аварии и оказать им помощь.
— Проверить состояние водонепроницаемых закрытий переборок 2-го и вышележащих палуб, которые должны быть закрыты до выхода судна в рейс.
— Закрыть все водонепроницаемые двери, кингстоны, горловины, люки, лазы, иллюминаторы.
— Сообщить об аварии судовладельцу.
— Сообщить по внешним каналам связи о случившемся капитану, в частности:
а) место, характер, размеры повреждения, расположение и количество затопленных отсеков, интенсивность поступления воды;
б) состояние внешней, сложных конструкций, трюмов, помещений (заполненных) воды;
в) посадку и положение судна - крен, дифферент и статический метацентрический борт, предполагаемое их время изменения;
г) наличие подводных предметов у места их расположения.
— С помощью аварийных средств использовать информацию, предоставленную в связи с "Порядком действий по снижению риска возникновения судна аварии и загрязнения окружающей среды нефтью" для принятия решения о борьбе за живучесть судна, аварии и загрязнения окружающей среды.
Решение об этом принимает только командир судна.
— В случае, когда принятие решения о спасении судна, необходимо:
а) приготовить спасательные средства к спуску на воду, а также к немедленному использованию;
б) обеспечить пострадавших питанием, теплой одеждой, медикаментами, перевязочными средствами, установить щиты и подпорки из брусьев.
При безопасности необходимо начать откачивание фильтрующихся вод;
в) в случае, если метацентрическая высота обеспечивается только при положительной средней осадке, предусмотреть наблюдение за перемещением судовых запасов и приемлемости фильтрующихся вод в верхний твиндек, руководствуясь п.п. 8.1.4. Инструкции.*

В верхней части планшета схематически показан продольный разрез судна, а при необходимости и планы грузовых палуб. Под ними в табличной форме приведены характеристики всех судовых помещений, используемых при составлении грузового плана. В отдельную таблицу заносятся данные о фактической загрузке судна в рейсе.

На чертеж продольного разреза судна в специально нанесенные прямоугольники записывают коэффициенты проницаемости соответствующих грузовых помещений, рассчитанные с учетом их загрузки.

Под чертежом продольного разреза судна, под каждым водонепроницаемым отсеком, нанесены овалы, а под водонепроницаемыми переборками круги. Ниже этих обозначений нанесена надпись "Предупреждение об опасности".

В зависимости от результатов оценки аварийных посадки и остойчивости судна, при затоплении каждого из водонепроницаемых отсеков или пары смежных отсеков, круги и овалы закрашиваются красным или зеленым цветом.

Красный цвет предупреждает судоводителя о том, что при данной загрузке затопление соответствующего отсека или пары смежных отсеков приведет к гибели судна.

Если при повреждении есть некоторая вероятность сохранения судна, то соответствующий круг или овал закрашиваются частично красным и частично зеленым цветами.

Если при затоплении отсека судно сохраняет достаточный запас плавучести и остойчивости, то соответствующие овалы или круги закрашиваются зеленым цветом.

В правой части планшета расположены графики достаточной аварийной плавучести и остойчивости судна, перечень первоочередных действий при получении пробоины.

Таким образом, Оперативный планшет содержит все необходимые сведения по загрузке судна в рассматриваемом рейсе, а также сведения о состоянии судна при повреждении и затоплении отсеков.

Оперативный планшет заменяет информационную доску нагрузки и остойчивости судна, требуемую НБЖС.

В инструкции по работе с Оперативной информацией о непотопляемости включены описание планшета и вспомогательных материалов для оценки аварийной посадки и остойчивости судна, рекомендации по расчету коэффициентов проницаемости грузовых помещений при перевозке различных грузов, основные положения по борьбе за живучесть судна и рекомендации по его спрямлению.

В инструкции даны методические указания по самостоятельному выполнению расчетов непотопляемости и приведены примеры таких

расчетов.

В качестве вспомогательных материалов в инструкцию включены графики достаточной плавучести и остойчивости при затоплении одиночных отсеков, расположенных на планшете и прилагается набор рабочих графиков аварийной плавучести и аварийной остойчивости, построенных для случаев затопления каждого из отсеков судна и каждой пары смежных отсеков и набор универсальных диаграмм аварийной остойчивости.

Все графики аварийной плавучести (рис. 90) построены по принципу:

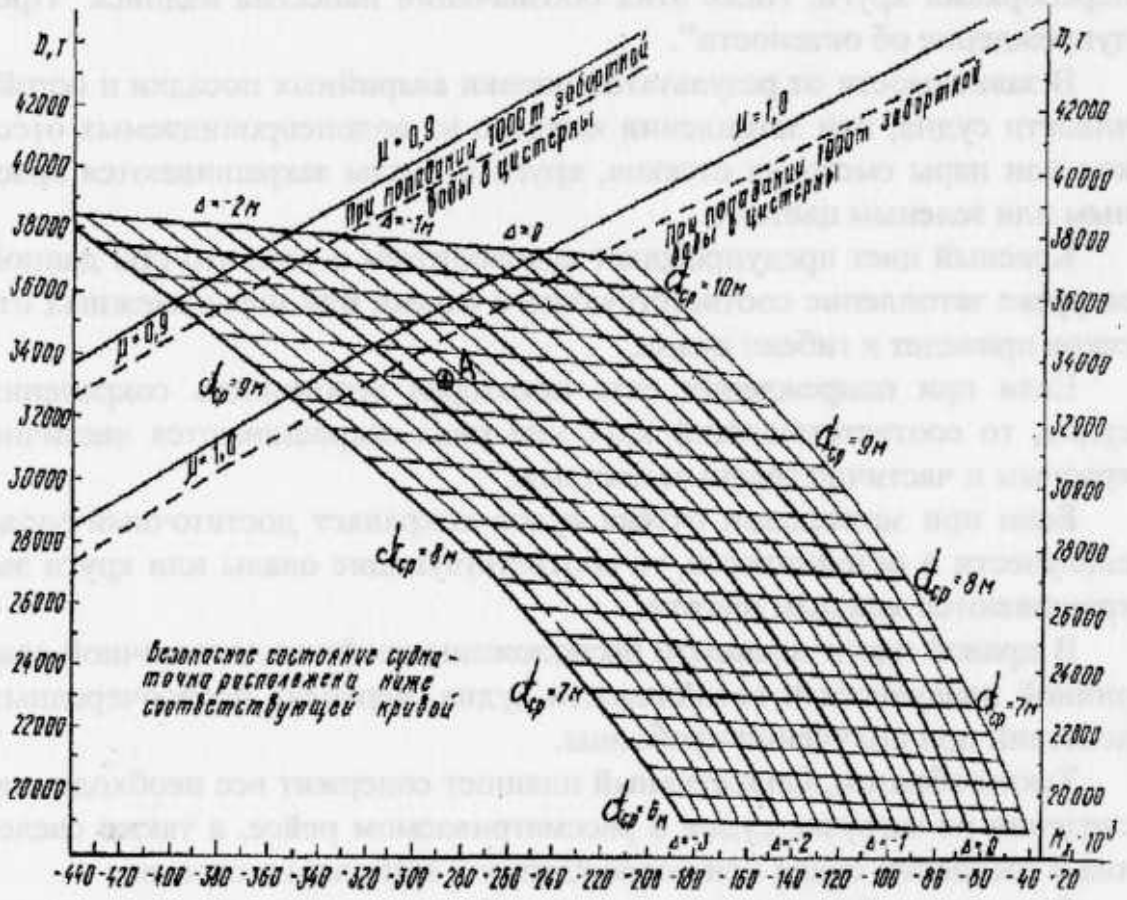


Рис. 90. График достаточной аварийной плавучести

– по осям координат отложены водоизмещение судна и его статический момент относительно плоскости мидель-шпангоута;

– на поле графика нанесены кривые постоянных значений средних осадок судна, постоянных дифферентов и предельные кривые, соответствующие фиксированным значениям коэффициента проницаемости отсека, $\mu = 0{,}8;\ 0{,}9;\ 1.0$.

График достаточной аварийной плавучести судна отличается от рабочих графиков аварийной плавучести только формой предельных кривых.

Для работы на Графике достаточной аварийной плавучести нам необходимо знать значения коэффициента проницаемости μ.

Табличные значения коэффициентов проницаемости грузов являются средними и содержат погрешности, которые оцениваются величинами ± 0,1 для средних значений μ от 0,7 до 0,8 и величиной близкой к нулю для значений μ от 1,0 и от 0,4.

Наибольшее и наименьшее значения μ определяются по его среднему значению с помощью имеемой. Диаграммы погрешностей коэффициента проницаемости (Рис. 91).

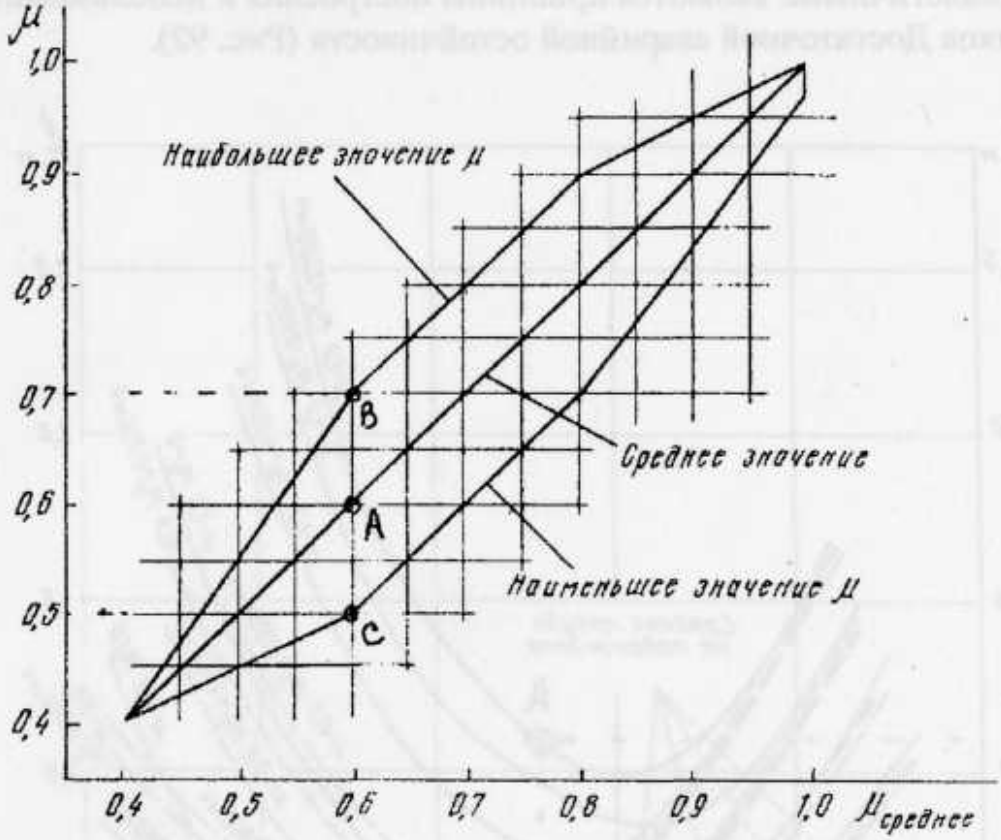


Рис. 91. Диаграмма погрешностей коэффициента проницаемости

Выбрав табличное (среднее) значение μ входим в диаграмму погрешностей коэффициентов проницаемости.

Нанеся значение μ на Диаграмму, точка *A*, снимаем значения наибольшего (точка *B*) и наименьшего (точка *C*) значения μ.

Определив значение μ переходим на График достаточной аварийной плавучести (рис. 90).

На графике по значению средней осадки $d_{ср}$ (допустим $d_{ср}$ = 9,2 м)

и дифференту (допустим = -1,8 м) наносим точку *A*.

Если нанесенная точка находится ниже предельной кривой, соответствующей большему из возможных значений μ, определенному с помощью Диаграммы погрешностей коэффициентов (точка *B*, μ = 0,7), то в случае повреждения судно будет иметь положительный запас плавучести ЗП и все прямоугольники ЗП на Оперативном планшете окрашиваются в зеленый цвет.

Если нанесенная точка *A* будет расположена выше предельной кривой, которая соответствует меньшему значению μ, то это означает, что в случае затопления рассматриваемого отсека судно потеряет плавучесть и на Планшете соответствующий прямоугольник ЗП и овал "Предупреждение об опасности" закрашиваются в красный цвет.

Аналогичными являются принципы построения и использования графиков Достаточной аварийной остойчивости (Рис. 92).

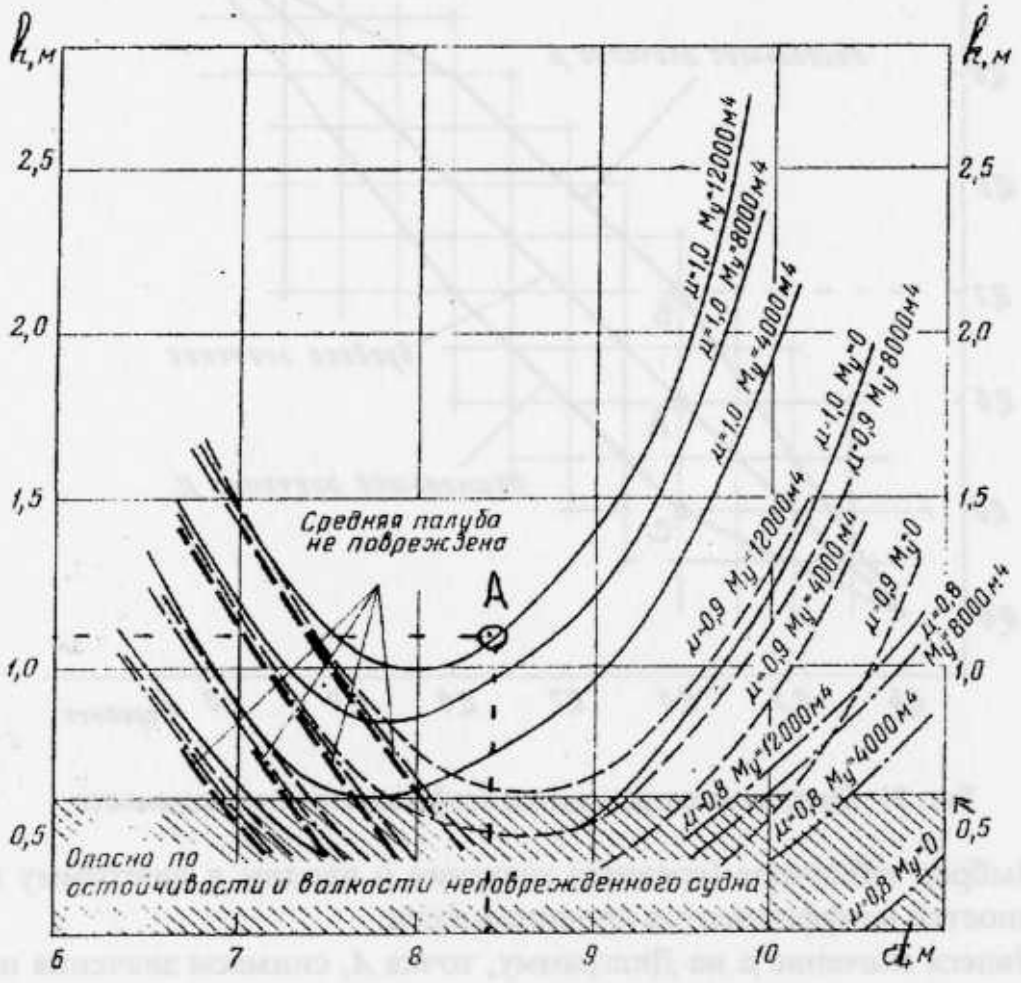


Рис. 92. График достаточной аварийной остойчивости

На этом графике по значениям средней осадки $d_{ср}$ и метацентрической высоте h наносится точка A, соответствующая нагрузке "Судно на отход" ($d_{ср}$ = 8.4 м; h = 1.1м, точка A).

Если эта точка окажется, расположена выше кривой соответствующей наибольшему значению μ, то аварийная остойчивость судна при затоплении одного любого отсека обеспечена. В этом случае все прямоугольники расчетного значения остойчивости РЗО отсеков на Планшете закрашиваются в зеленый цвет и никаких других действий производить не надо.

Если точка A окажется расположенной ниже кривой значения μ, то это значит, что аварийная остойчивость недостаточна и ее следует проверить для каждого возможного случая затопления.

Для приближенного построения диаграммы статической остойчивости поврежденного судна предназначены Универсальные диаграммы аварийной остойчивости, построенные в координатах угла крена и плеч статической остойчивости (рис. 93).

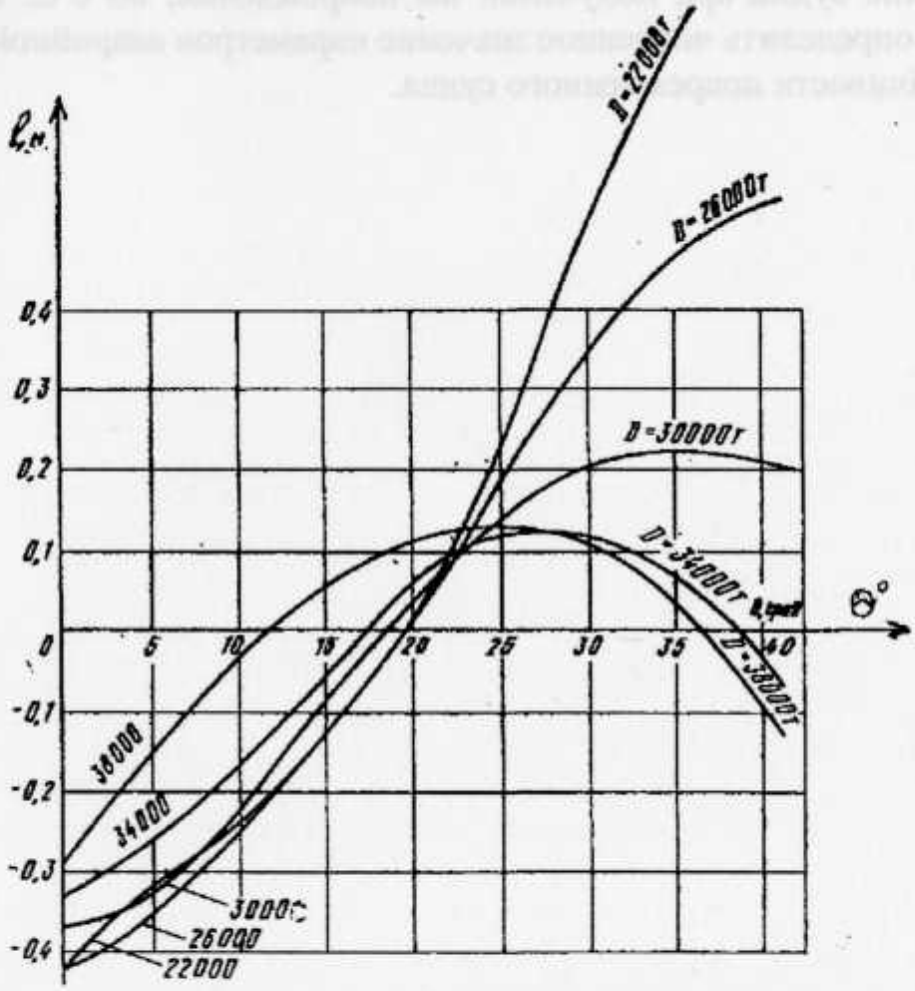
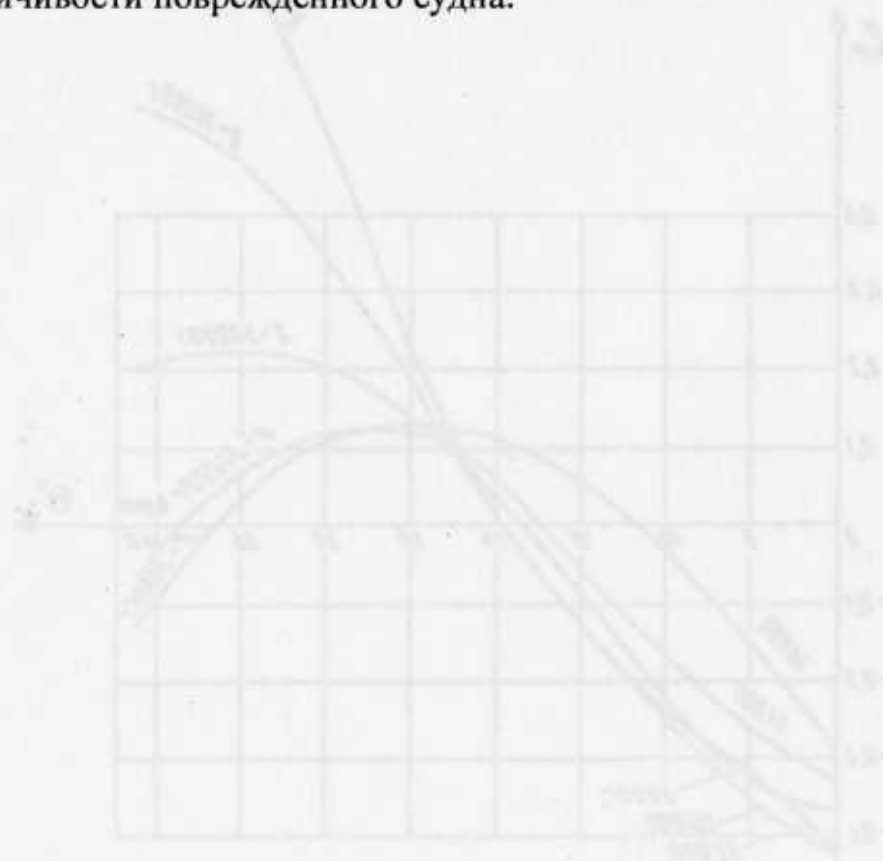


Рис. 93. Универсальная диаграмма аварийной остойчивости

На диаграмме нанесено семейство кривых, рассчитанных для различных постоянных значений водоизмещения. Такие диаграммы выполняются для каждого судового отсека и для различных значений коэффициентов проницаемости и фиксированных величин кренящего момента, $M_{кр} = M_y$, от несимметричного затопления цистерн.

При построении *ДСО* поврежденного судна последовательно выполняют графическую интерполяцию по водоизмещению, коэффициенту проницаемости отсека и моменту M_y координируя положение оси диаграммы с учетом запаса аварийной остойчивости, под которым понимают превышение *МЦВ* неповрежденного судна над ее минимально допустимым значением.

Судоводители в повседневной своей работе должны руководствоваться требованиями и рекомендациями, изложенными в РД 31.60.27-85. "Требования к оперативной информации о непотопляемости морских сухогрузных судов". Необходимо также помнить, что Оперативная информация о непотопляемости позволяет качественно оценить состояние судна при получении им повреждений, но с ее помощью нельзя определить численное значение параметров аварийной посадки и остойчивости поврежденного судна.



ЧАСТЬ VI
ОСТОЙЧИВОСТЬ ПОВРЕЖДЕННОГО СУДНА

ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕМЕНТАМ ОСТОЙЧИВОСТИ ПОВРЕЖДЕННОГО СУДНА

При нормировании остойчивости поврежденного судна принимаются допущения по размерам повреждений и коэффициентам проницаемости, предусмотренные в части 5 Правил Регистра, п.п 3.1; 3.2; 3.3.

Требования к остойчивости поврежденного судна считаются выполненными, если при повреждении и затоплении одного или более отсеков в зависимости от фактора деления на отсеки, предусмотренного проектом распределения груза, размера повреждения и коэффициента проницаемости, будут выполнены требования, изложенные в части V "Деление на отсеки" Правил Российского морского Регистра судоходства:

1. Начальная метацентрическая высота судна в конечной стадии затопления для ненакрененного положения, определенная методом постоянного водоизмещения, до принятия мер по ее увеличению, должна быть не менее *0,05 м*.

2. Угол крена при несимметричном затоплении отсеков до принятия мер по спрямлению судна и до срабатывания перетоков, не должен превышать *20°*.

3. Угол крена при несимметричном затоплении отсеков, после принятия мер по спрямлению судна и после срабатывания перетоков, не должен превышать *12°*.

4. Аварийная ватерлиния до, в процессе и после спрямления судна должна проходить, по крайней мере, на *0,3 м* или в $0.1+\frac{L_1-10}{150}$, в зависимости от того, что меньше, ниже отверстий в переборках, палубах и бортах, через которые возможно дальнейшее распространение воды по судну.

5. Для НЕПАССАЖИРСКИХ судов, по согласованию с Российским морским Регистром судоходства для ненакрененного судна в конечной стадии затопления, может быть допущена положительная метацентрическая высота, МЕНЬШАЯ *0,05 м*, с тем условием, что диаграмма статической остойчивости поврежденного судна будет иметь характеристики удовлетворяющие следующим требованиям:

– диаграмма статической остойчивости поврежденного судна должна иметь достаточную площадь участка с положительными пле-

чами, при этом, в конечной стадии затопления, после спрямления судна, без учета срабатывания перетоков, при симметричном затоплении отсеков, протяженность участка диаграммы с положительным плечом (с учетом угла заливания), должка быть не менее *30°*;

– в конечной стадии затопления, после спрямления судна, без учета срабатывания перетоков, при несимметричном затоплении отсеков, протяженность положительного участка диаграммы с положительным плечем (с учетом угла заливания) должна быть не менее *20°*;

– значение максимального плеча диаграммы статической остойчивости, в пределах протяженности указанной выше, должна быть не менее *0,1 м*;

– в промежуточных стадиях затопления максимальное плечо диаграммы статической остойчивости должно быть не менее *0,05 м*, а протяженность ее положительной части – не менее *7°*.

ТРЕБОВАНИЯ К ОСТОЙЧИВОСТИ ПОВРЕЖДЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА

Для пассажирского судна аварийная остойчивость должна проверяться в предположении, что все пассажиры стоят на наиболее высоко расположенных доступных им палубах.

Требования к остойчивости поврежденного судна должны выполняться при затоплении одного любого отсека для судов у которых значение N меньше или равно 600, а при затоплении любых двух смежных отсеков, у которых значение N равно или больше 1200.

Требования к остойчивости поврежденного пассажирского судна считаются выполненными при условии:

1. Начальная метацентрическая высота судна в конечной стадии затопления для ненакрененного положения, определенная методом постоянного водоизмещения, до принятия мер по ее увеличению, должна быть не менее *0,05 м*, или *0,015* B_2/F_1 .

2. Угол крена, при несимметричном затоплении отсеков судна, до принятия мер по его спрямлению и до срабатывания перетоков, не должен превышать *15°*.

3. Угол крена, при несимметричном затоплении отсеков судна, после принятия мер к спрямлению судна и после срабатывания перетоков, не должен превышать *7°* при затоплении одного отсека и не более *12°* при затоплении двух и более смежных отсеков.

4. Время спрямления поврежденного судна, необходимое для выполнения указанных выше условий, не должно превышать *10 мин*.

5. В промежуточных стадиях затопления или спрямления, крен не должен превышать *20°*, а максимальное плечо диаграммы статической

остойчивости должно быть не менее *0,05 м* при протяженности положительного участка диаграммы не менее *7°* .

6. Аварийная ватерлиния после спрямления судна, а для случаев, когда спрямление не производится после затопления, должна проходить ниже палубы переборок вне района затопления.

7. Диаграмма статической остойчивости поврежденного судна при несимметричном затоплении должна иметь участок с положительными плечами протяженностью не менее 20°, измеряемыми от положения равновесия как до, так и после принятия мер по спрямлению и /или/срабатывания перетоков.

8. Площадь участка диаграммы с положительными плечами должна быть не менее *0,015 м.рад*. Эта площадь измеряется на участке диаграммы между углом крена, соответствующего положению равновесия судна, и углом заливания или углом 22° при затоплении одного отсека, или углом 27° при затоплении двух или более смежных отсеков, смотря по тому, какой из этих углов меньше.

9. Плечо диаграммы статической остойчивости в пределах протяженности, указанных в п.п. 7, 8 должна быть не менее большей из величин:

а). 0,1 м или б). $l = \frac{M_{кр}}{\Delta} + 0{,}04\ м.$

Правила Регистра требуют, чтобы при проектировании судна была разработана "Информация об аварийной остойчивости и посадке судна" с помощью которой капитан сможет учитывать требования к непотопляемости и принимать необходимые меры по сохранению поврежденного судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ансютин Л. Р. Контроль остойчивости морского судна. М.: Транспорт, 1974. – 110 с.
2. Барабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1959. – 694 с.
3. Беккенский Б. В. Расчеты мореходных качеств судна. Л.: Морской транспорт, 1959. – 370 с.
4. Белан Ф. Н., Чудновский А. М. Основы теории судна. Л.: Судостроение, 1978. – 252 с.
5. Горячев А. М., Подругин Е. М. Устройство и основы теории морских судов. Л.: Судостроение, 1983. – 224 с.
6. Данилов С. С., Катин И. И. Использование кривых теоретического чертежа в судовых условиях. Л.: Морской транспорт, 1959. – 39 с.
7. Дорогостайский Д. В., Кацман Ф.М., Коннов А.В. Об остойчивости морского судна. М: Мортехинформреклама , 1987. – 34 с.
8. Кулагин В. Д. Теория и устройство промысловых судов. Л.: Судостроение, 1986. – 391 с.
9. Мельник В.Н. Эксплуатационные расчеты мореходных характеристик судов. М.: Транспорт, 1990. – 137 с.
10. Нунупаров С.М. Требования к оперативной информации и непотопляемости морских сухогрузных судов. М.: Мортехинформреклама, 1986. – 41 с.
11. Правила классификации и постройки морских судов. СПб.: Российский морской Регистр судоходства, 1999. – 4 с.