МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА

Навигационные, или ***мореходные***, свойства являются специфическими для плавучих сооружений. В отличие от эксплуатационных свойств, именно мореходные свойства определяют судно как плавучее инженерное сооружение. Изучение этих свойств лежит в основе судостроительной науки.

Главнейшими ***навигационными***, или ***мореходными свойствами*** считают

- плавучесть,
- остойчивость,
- непотопляемость,
- ходкость,
- управляемость,
- плавность и малые амплитуды (размахи) качки.

Совокупность навигационных свойств судна часто называют ***мореходностью***.

Плавучесть судна — способность плавать в определённом положении относительно поверхности воды при заданном количестве находящихся на нём грузов. Из определения следует, что плавучестью должны обладать надводные и подводные суда.

Остойчивость — способность судна, отклонённого внешними силами от положения равновесия и предоставленного самому себе, вновь возвращаться к положению равновесия, после прекращения действия этих сил. Судно должно обладать такой остойчивостью, чтобы ветер, волнение и другие внешние силы, воздействующие на него, не могли бы привести к его опрокидыванию.

Непотопляемость — способность судна сохранять в достаточной степени плавучесть, остойчивость и другие мореходные свойства после вызванного повреждением затопления забортной водой части его помещений. Неправильно с точки зрения непотопляемости спроектированное судно может затонуть или опрокинуться от сравнительно небольших повреждений его корпуса. Наоборот, судно, обладающее хорошей непотопляемостью, способно выдержать затопление весьма большого числа его отсеков. Многочисленные случаи гибели судов от сравнительно небольших повреждений корпуса часто объясняются неудовлетворительным обеспечением их непотопляемости.

Ходкость — способность судна поддерживать заданную скорость хода при наименьшей затрате мощности.

Управляемость — способность судна как изменять направление движения (поворотливость), так и сохранять выбранное направление движения (устойчивость на курсе).

Плавность и малые амплитуды качки — важное навигационное свойство судна, обеспечивающее удобство, а иногда и принципиальную возможность его эксплуатации в условиях морского волнения. Стремительная, порывистая с большими амплитудами качка препятствует нормальной эксплуатации судна, снижает скорость хода, уменьшает дальность плавания, создает угрозу опрокидывания судна. Плавность и малые амплитуды качки достигаются рациональным проектированием судна, а также установкой на нём специальных устройств (успокоителей качки), умеряющих качку.

Плавучесть

Плавучестью называют способность судна плавать в определенном положении относительно поверхности воды при заданном количестве находящихся на нем грузов.

По закону Архимеда вес или водоизмещение (масса) плавающего тела равны весу или массе вытесненной им воды:

$$P = \gamma V \quad \text{или} \quad D = \rho V$$

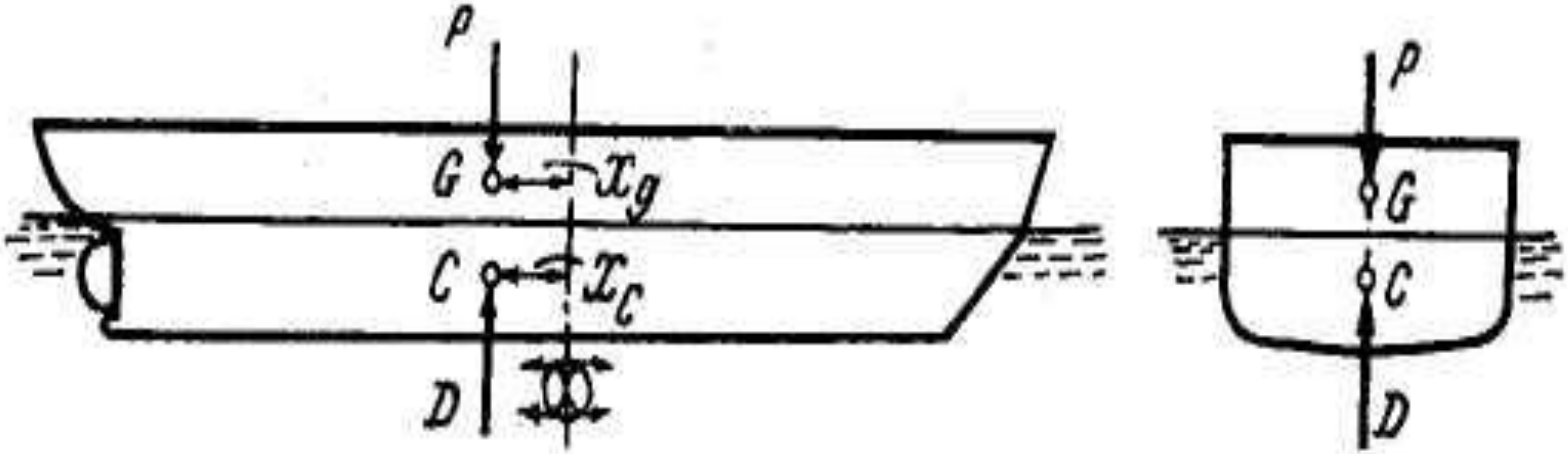
где P — вес судна, тс; V — объем подводной части судна (объемное водоизмещение), м^3; γ — удельный вес воды, кг/м^3; D — масса судна, т; ρ — плотность воды (для соленой морской воды принимают обычно ρ = 1,025 т/м^3).

Так как объем подводной части корпуса можно выразить через главные размерения и коэффициент общей полноты, т. е. V=δLBT, то водоизмещение (массу) судна можно представить в виде D=ρδLBT. Т.е. уравнение плавучести принимает вид

$$D=\rho\delta LBT$$

Вес судна ***P*** определяется как сумма весов всех его частей (корпуса, механизмов, оборудования, запасов, груза, экипажа и пр.). Равнодействующая сил веса приложена в *центре тяжести* (ЦТ) судна и направлена вертикально вниз.

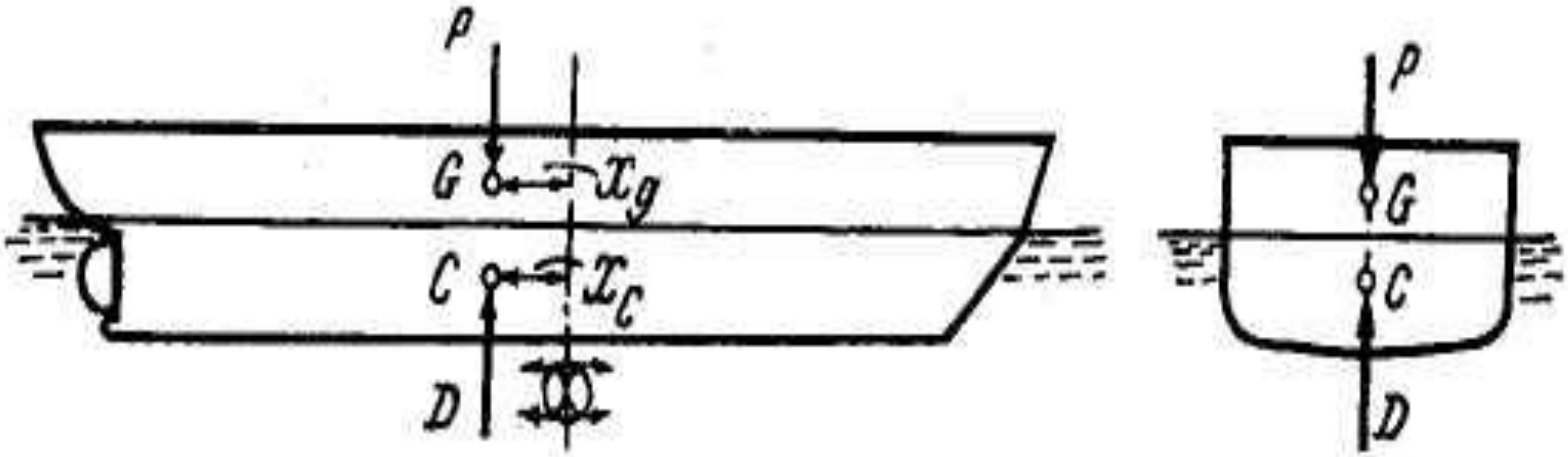
Равнодействующая сил давления воды (сил поддержания) на погруженную поверхность судна, равная водоизмещению судна ***D,*** приложена в ЦТ погруженного объема корпуса, называемом *центром величины* (ЦВ), и направлена вертикально вверх.



Действие на судно силы тяжести и силы поддержания: x_g, x_c - расстояния от плоскости мидель-шпангоута до центра тяжести и центра величины.

У судна, плавающего в положении равновесия, центр тяжести **G** всегда располагается на одной вертикали с центром величины **C**: $X_g = X_c$, $Y_g = Y_c$.

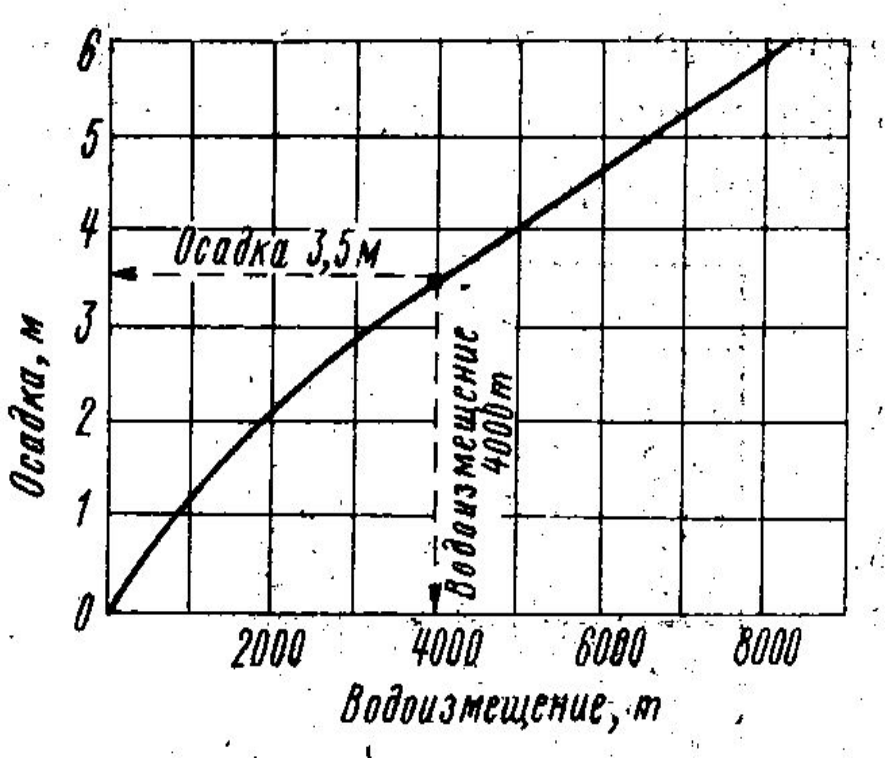
При смещении центра тяжести **ЦТ** судна, плавающего в положении равновесия, в какую-либо сторону (в нос или в корму, к одному или другому борту), появляется момент сил, наклоняющий судно в сторону смещения центра тяжести **ЦТ**. Продольный наклон судна называется ***дифферентом***, поперечный – ***креном***. При наклоне изменяется форма подводной части корпуса, а вместе с ней изменяется и положение центра величины **C** – он начинает смещаться в сторону наклона судна. Наклон судна будет увеличиваться до тех пор, пока центр величины не окажется на одной вертикали с новым положением центра тяжести. Т.е., до тех пор, пока судно не окажется в новом положении равновесия.



Действие на судно силы тяжести и силы поддержания: Xg, Xc - расстояния от плоскости мидель-шпангоута до центра тяжести и центра величины.

Если для разных осадок определить объем погруженной части корпуса и соответствующее этим осадкам водоизмещение судна, то можно построить график, называемый ***грузовым размером***.

По грузовому размеру можно легко определить, какой будет осадка при заданном водоизмещении судна и, наоборот, каким должно быть водоизмещение судна при заданной осадке. А так как водоизмещение состоит из неизменяемой части (водоизмещение порожнего судна) и переменной части (дедвейт), то, определив с помощью грузового размера водоизмещение судна при данной осадке, можно узнать общую массу принятых судном грузов и запасов. Точно так же по количеству принимаемого груза (включая запасы) можно узнать, какой будет осадка судна.



Грузовой размер

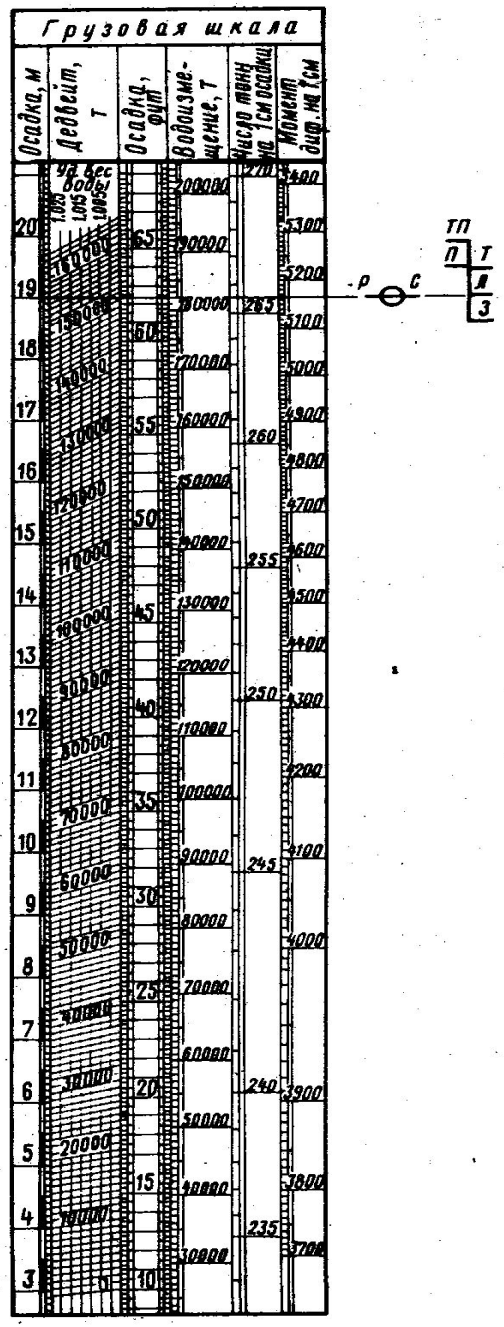
Осадки и соответствующие им водоизмещения обычно сводят в таблицу, называемую ***грузовой шкалой***, которая позволяет по осадке определять сразу и водоизмещение, и дедвейт. С помощью грузового размера или грузовой шкалы можно также легко установить, как изменится средняя осадка судна при приёме или расходовании известного количества груза. Таким образом, грузовая шкала и грузовой размер позволяют решать большое количество практических задач и являются важнейшими документами, которыми должен располагать капитан судна.

При приёме или снятии малого груза, т. е. груза, вес которого не превышает 5–10 % водоизмещения, изменение осадки можно приближённо определить по формуле

$$\Delta T = \frac{p}{\rho S},$$

где ΔT — изменение осадки, м; p — масса принимаемого или снимаемого груза, т; ρ — плотность воды, т/м^3; S — площадь грузовой ватерлинии, м^2.

При переходе судна из солёной воды в пресную, его осадка увеличивается пропорционально изменению солёности воды. И, наоборот, при переходе судна из пресной воды в солёную осадка его соответственно уменьшается. На грузовой шкале, в средней её части, прочерчивают наклонные прямые линии, позволяющие учесть поправку на солёность воды.



Грузовая шкала

Для обеспечения безопасности плавания каждое судно должно обладать ***запасом плавучести***, который представляет собой объём водонепроницаемого корпуса выше грузовой ватерлинии. Этот объём образуется помещениями под водонепроницаемой (обычно верхней) палубой, а также надстройками, имеющими водонепроницаемые закрытия. В случае попадания воды внутрь корпуса при аварии судно погрузится глубже (увеличится осадка), но благодаря запасу плавучести останется на плаву.

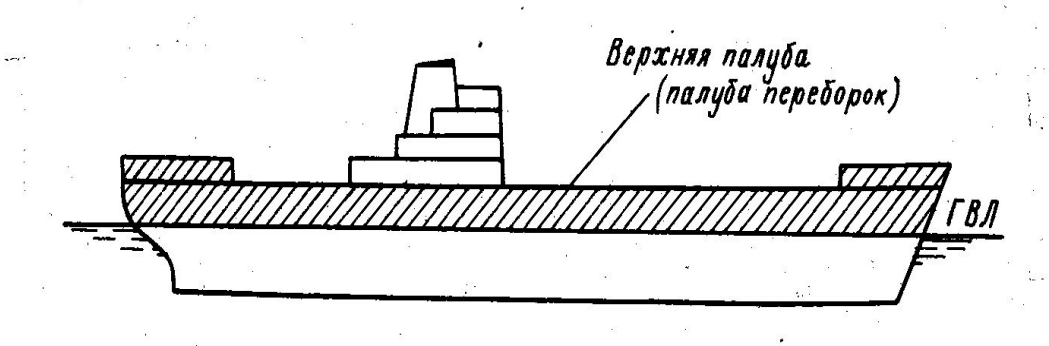


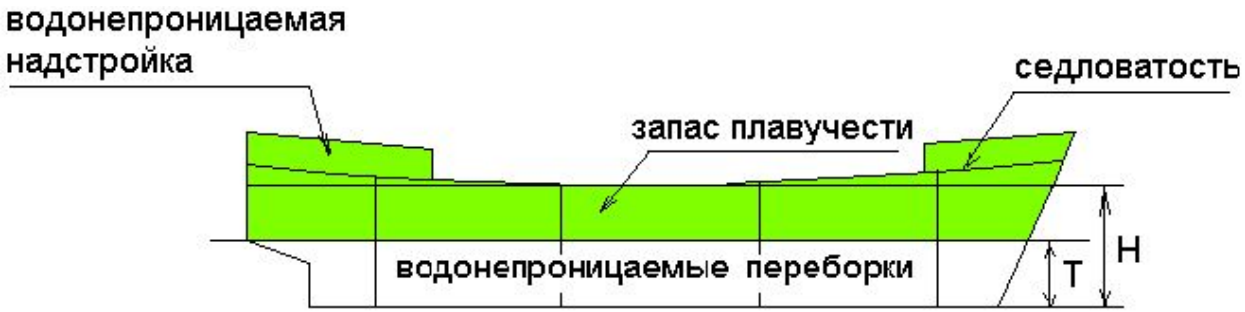
Схема к определению запаса плавучести

Запас плавучести– это объем надводной водонепроницаемой части корпуса судна или то дополнительное количество грузов или воды (после допустимой нагрузки), которое судно может принять до утраты способности держаться на плаву.
Запас плавучести судна можно определить по следующей формуле:

$$V_{зп} = S_{квл}\,(H-T)(1+k)$$

где $V_{зп}$ – запас плавучести; $S_{квл}$ – площадь грузовой ватерлинии; H – высота борта; T – осадка судна; k – эмпирический коэффициент, учитывающий развал бортов, седловатость палубы, наличие водонепроницаемых надстроек и рубок.

Величина запаса плавучести определяется отношением (Н-Т), седловатостью верхней палубы и наличием водонепроницаемых надстроек и рубок на верхней палубе. У обычных транспортных судов величина запаса плавучести в наибольшей степени зависит от высоты надводного борта, который может быть описан также отношением Н/Т.



Запас плавучести

Степень непотопляемости судна тем выше, чем выше относительный запас плавучести судна, который определяется как **отношение запаса плавучести к расчетному водоизмещению судна.**

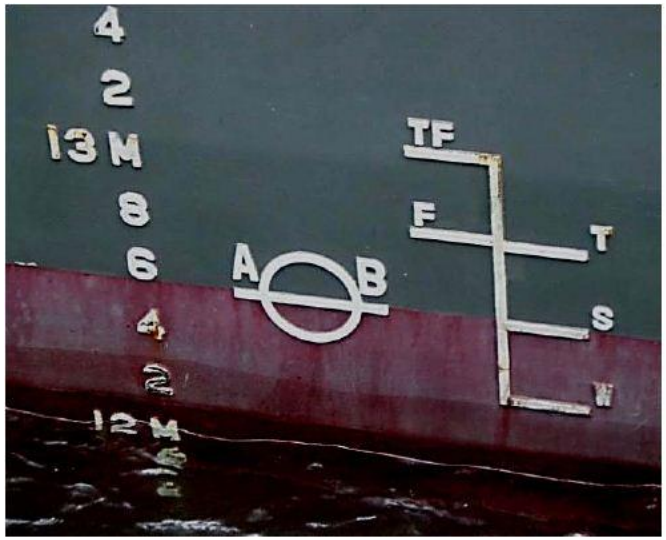
Судно, имеющее запас плавучести, обладает *положительной плавучестью*. При аварии забортная вода поступает внутрь судна, осадка увеличивается и запас плавучести уменьшается. Запас плавучести утрачивается, когда судно полностью погружается в воду, т.е. приобретает *отрицательную плавучесть*.

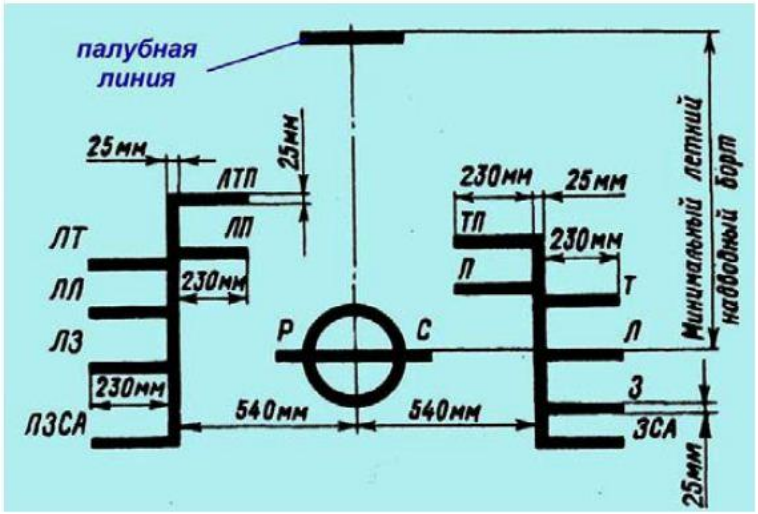
Запас плавучести выражается в процентах от водоизмещения судна в полном грузу. Обычно на транспортных сухогрузных и промысловых судах запас плавучести составляет 30–50% водоизмещения, на танкерах — 15–25 (до 40–45% на супертанкерах с чисто балластными танками), на пассажирских судах — до 100 %, на речных судах — 10–15 *%.* На гражданских судах запас плавучести обеспечивается назначением судну минимально допустимой высоты надводного борта.

Запас плавучести непосредственно связан с ***высотой надводного борта***. Высота надводного борта, обеспечивающая надлежащий запас плавучести, устанавливается Регистром. В средней части судна наносится специальный знак на оба борта в районе миделя, называемый ***грузовой маркой*.**

Грузовая марка состоит из трех элементов:

1. Палубная линия
2. Диск или круг Плимсоля
3. Гребенка осадок





Летняя грузовая марка (***Л***) наносится на уровне горизонтальной линии, проходящей через центр кольца и отмечает летний надводный борт.

Зимняя грузовая марка (*З*) отмечает зимний надводный борт, который больше летнего на $^{1}/_{48}$ летней осадки.

Зимняя грузовая марка для Северной Атлантики (***ЗСА***) отмечает надводный борт, который назначается для судов длиной не более 100 м и получается увеличением зимнего надводного борта на 50 мм.

Тропическая грузовая марка (***Т***) отмечает тропический надводный борт, который меньше летнего на $^{1}/_{48}$ летней осадки.

Грузовая марка для пресной воды летом (***П***) отмечает надводный борт в воде плотностью 1,000 т/м^3

Проверка аварийной плавучести.

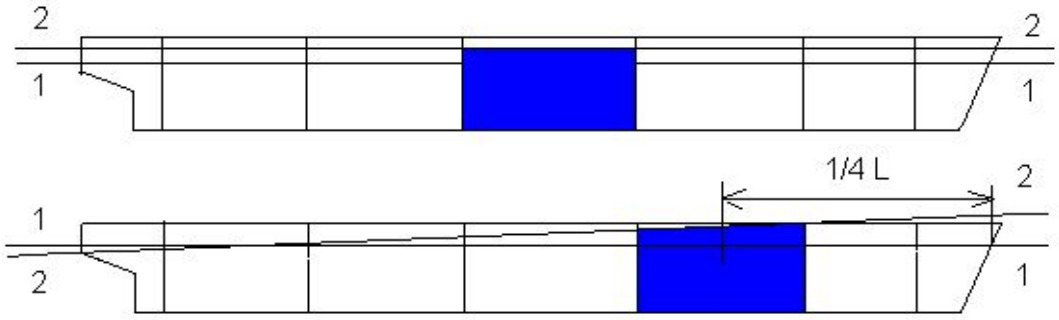
Вариант нагрузки.

Наиболее неблагоприятная ситуация с аварийной плавучестью - приближение аварийной ватерлинии к отверстиям в водонепроницаемой палубе, и переборках, через которые может происходить прогрессирующее затопление. Такие отверстия чаще всего находятся выше палубы переборок. Поэтому для ориентировочных расчетов следует считать опасным приближение аварийной ватерлинии к палубе переборок.

Для транспортных судов с большими грузовыми отсеками наиболее неблагоприятный случай нагрузки соответствует наименьшему запасу водоизмещения, который может быть на судне, т.е. варианту нагрузки «судно с полным грузом и полными запасами».

Затапливаемые отсеки.

Уменьшение запаса плавучести зависит от объема затапливаемого отсека. Наибольшие объемы обычно соответствуют отсекам, расположенным вблизи середины длины судна. Затопление таких отсеков приводит к достаточно большому увеличению средней осадки судна и уменьшению запас плавучести. Но благодаря отсутствию или малому дифференту аварийная ватерлиния не пересекает верхнюю палубу.



1 - 1 - ватерлиния неповрежденного судна
2 - 2 - аварийная ватерлиния

Затопление отсеков при проверке аварийной плавучести

Практика показывает, что более опасным является затопление отсеков, середина длины которых располагается на расстоянии примерно ¼ длины судна от оконечности. Благодаря достаточно большой полноте корпуса в этом месте такие отсеки имеют большие объемы и, следовательно, вызывают соответствующее изменение средней осадки и запаса плавучести. Но, кроме того, затопление этих отсеков создает большой дифферентующий момент. В результате этого аварийная ватерлиния может приблизится к верхней палубе в оконечностях судна. Опасность возрастает, если имеет место несимметричное затопление.

Остойчивость

Остойчивостью называется способность судна, наклонённого действием внешних сил из положения равновесия, возвращаться к состоянию равновесия после прекращения действия этих сил.

Наклонения судна могут происходить под действием таких внешних сил, как перемещение, приём или расходование грузов, давление ветра, действие волн, натяжение буксирного троса и пр.

В зависимости от характера действующих сил рассматривают статическую и динамическую остойчивость. Для статической остойчивости характерно медленное изменение угла наклонения, для динамической – быстрое изменение угла при внезапных (динамических) нагрузках с заметными скоростями и ускорениями.

Остойчивость, которую судно имеет при продольных наклонениях, измеряемых углами дифферента ψ, называют ***продольной***. Она, как правило, довольно велика, поэтому опасности опрокидывания судна через нос или корму никогда не возникает. Но изучение её необходимо для определения дифферента судна при воздействии внешних сил.

Остойчивость, которую судно имеет при поперечных наклонениях, измеряемых углами крена θ, называют ***поперечной***. Поперечная остойчивость является важнейшей характеристикой судна, определяющей его мореходные качества и степень безопасности плавания.

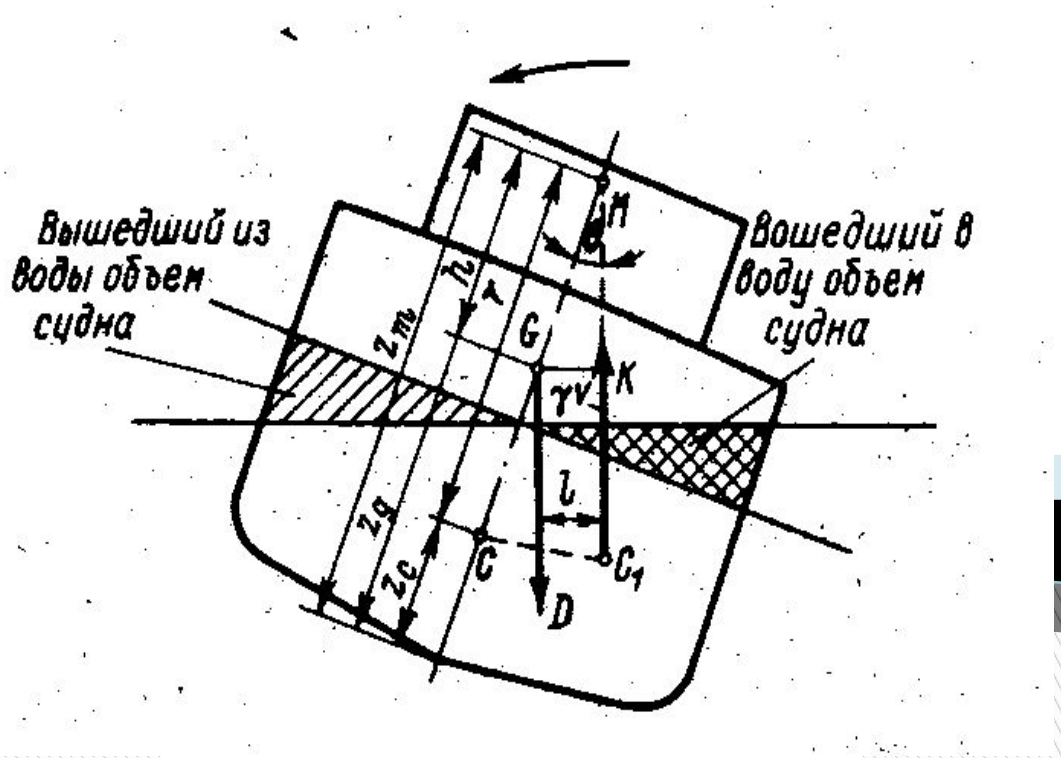
При изучении поперечной остойчивости различают ***начальную остойчивость*** (при малых наклонениях судна) и ***остойчивость на больших углах крена***.

При малых наклонениях остойчивость определяется поперечной метацентрической высотой. При больших наклонениях – площадью и формой диаграммы статической остойчивости.

Начальная остойчивость. Действие внешних сил на судно определяют моментом, т. е. произведением силы на плечо. При крене судна на малый угол под действием какой-либо из названных внешних сил происходит перемещение ЦВ за счёт перемещения подводного объёма. Величина образующегося при этом восстанавливающего момента зависит от величины плеча ***l*** между силами веса и поддержания наклонённого судна. Как видно из рисунка, восстанавливающий момент

$$M_в = Dl = Dh \sin \theta,$$

где *h* — возвышение точки *M* над ЦТ судна *G,* называемое ***поперечной метацентрической высотой*** судна. Точка *M* носит название ***поперечного метацентра*** судна.



Действие сил при крене судна

Метацентрическая высота является важнейшей характеристикой остойчивости. Она определяется выражением

$$h = z_c + r - z_g,$$

где z_c — возвышение (аппликата) ЦВ над ОЛ, r — начальный поперечный метацентрический радиус (возвышение метацентра над ЦВ) – величины, зависящие от формы корпуса судна; z_g — возвышение (аппликата) ЦТ судна над ОЛ, зависящая от распределения масс, составляющих нагрузку, по высоте судна.

Значение z_g определяют при расчёте нагрузки масс. Приближённо можно принять (для судна с полным грузом)

$$z_g = (0,65 \div 0,68)H,$$

где H — высота борта на миделе.

Значение z_c и r определяют по теоретическому чертежу или (для прикидочных расчётов) по приближённым формулам, например:

$$z_c = 0,5T\sqrt{\alpha / \delta}; \qquad r = K\left(\alpha^2 B^2 / \delta T\right),$$

где B — ширина судна, м; T — осадка, м; α — коэффициент полноты ватерлинии; δ — коэффициент общей полноты; K — коэффициент, зависящий от формы ватерлинии и её полноты и изменяющийся в пределах 0,086 ÷ 0,089.

Минимум параметров остойчивости называется «нижний предел остойчивости». Остойчивость, при которой качка судна приближается к чрезмерной, называется «верхний предел остойчивости». Нижний предел остойчивости определяется минимумом h_{min}, верхний предел остойчивости – максимумом h_{max}.

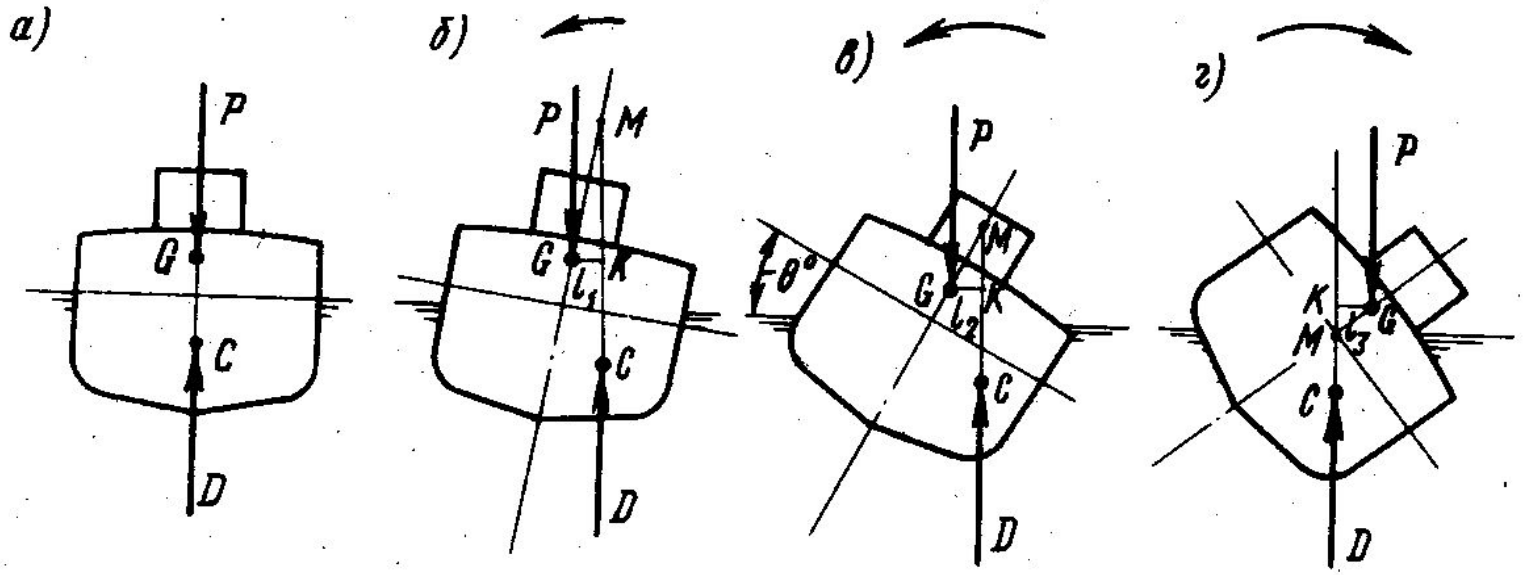
Из приведённых формул видно, что поперечная остойчивость судна повышается:

- с увеличением B и α;
- с уменьшением T и δ;
- с возвышением ЦВ z_c;
- с понижением ЦТ z_g.

Таким образом, более остойчивы широкие суда, а также суда с низким расположением ЦТ. При понижении ЦТ, т.е. при расположении более тяжёлых грузов — механизмов и оборудования — как можно ниже и при облегчении высокорасположенных конструкций (надстроек, мачт, труб, которые с этой целью иногда изготовляют из лёгких сплавов) метацентрическая высота увеличивается. И, наоборот, при приёме тяжёлых грузов на палубу, обледенении надводной части корпуса, надстроек, мачт и т. п., во время плавания судна в зимних условиях остойчивость судна уменьшается.

При помощи метацентрической формулы остойчивости в теории корабля решают ряд практических задач, в том числе, например, задачу об изменении посадки судна при переносе груза по горизонтали в продольном направлении.

Остойчивость на больших углах крена. По мере увеличения угла крена судна восстанавливающий момент сначала растёт (рис.***а—в***), затем уменьшается, становится равным нулю и уже не препятствует, а на рис. ***г,*** наоборот, способствует дальнейшему наклонению судна.



Действие сил при накренении на большие углы

Так как водоизмещение ***D*** для данного состояния нагрузки остается постоянным, то восстанавливающий момент $M_в$ изменяется пропорционально изменению плеча ***l*** поперечной остойчивости. Это изменение плеча остойчивости в зависимости от угла крена ***θ*** можно рассчитывать и изображать графически, в виде ***диаграммы статической остойчивости***, которую строят для наиболее характерных и опасных относительно остойчивости случаев нагрузки судна.

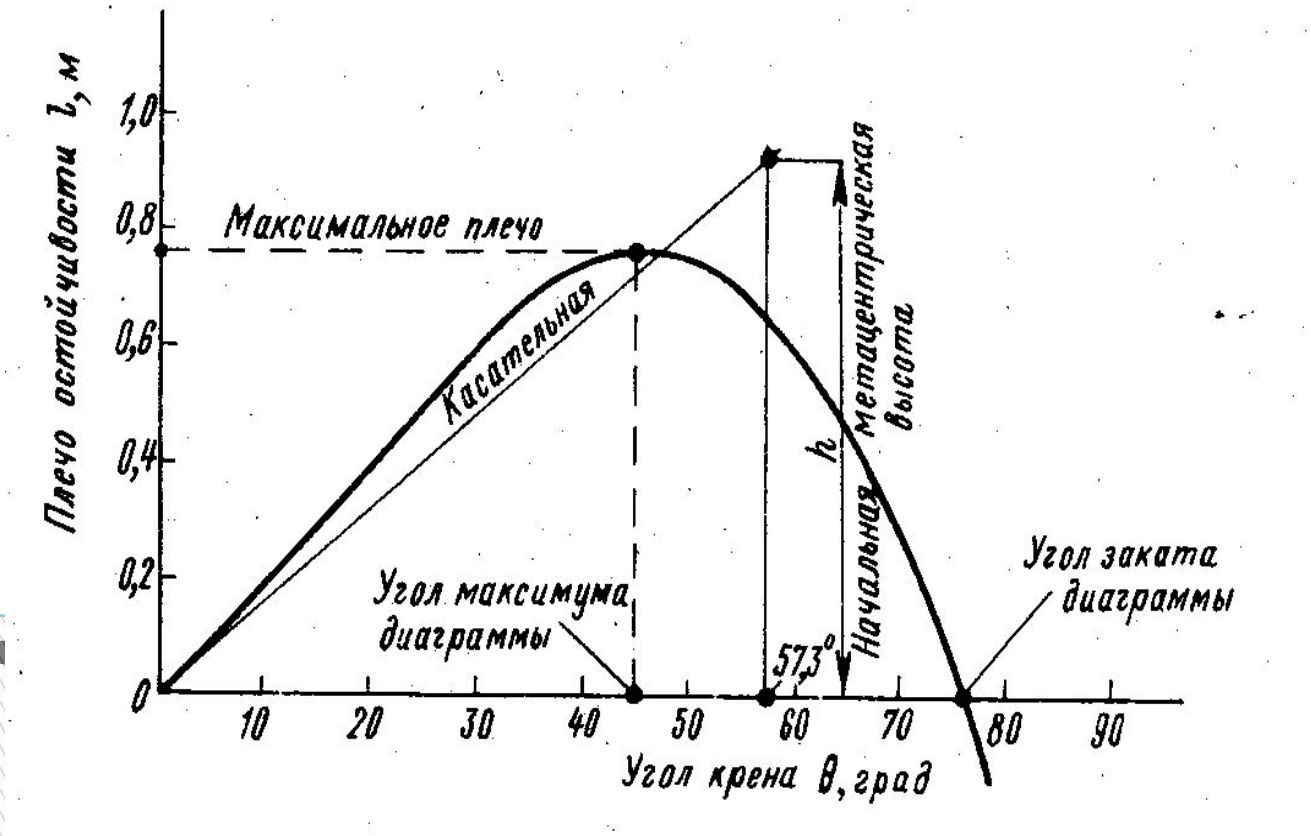


Диаграмма статической остойчивости

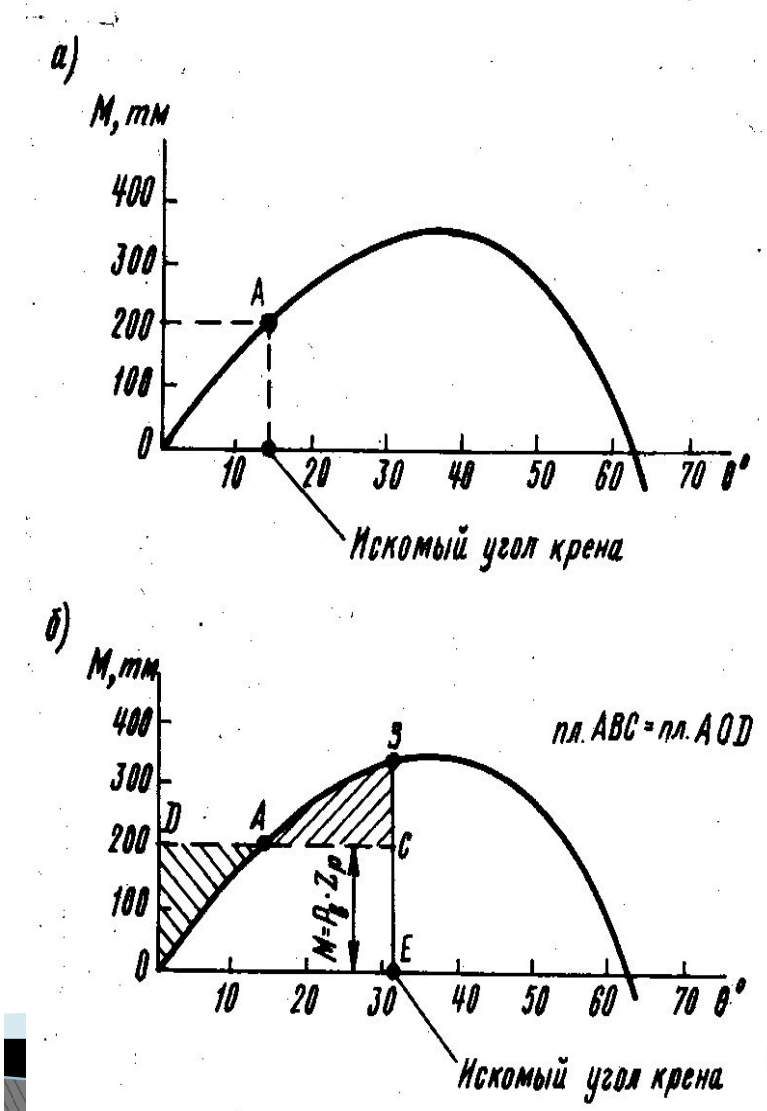
Диаграмма статической остойчивости является важным документом, характеризующим остойчивость судна. С её помощью можно, зная величину действующего на судно кренящего момента, например, от давления ветра, определяемого по шкале Бофорта, или от переноса на борт груза, от принятых несимметрично ДП водяного балласта или запасов топлива и т. п., — найти величину образующегося угла крена в том случае, если этот угол велик (более 10°). Малый угол крена вычисляют без построения диаграммы по приведённой выше метацентрической формуле.

Характеристики ветра и морского волнения

Скорость и давление ветра на высоте над уровнем моря (шкала Бофорта)						Морское волнение (шкала IV Гидрометслужбы, .)		
Балл	Наименование ветра	Скорость ветра, м/с		Давление ветра, МПа (кгс/м^2)		Балл	Характеристика волнения	Высота волн, м (при 3 %-ной обеспеченности
		средняя	при шквале	среднее	при шквале			
0	Штиль	0,0 – 0,5	1,0	0 (0,0)	1 (0,1)	0	Отсутствует	0
1	Тихий	0,6 – 1,7	3,2	2 (0,2)	8 (0,8)	I	Слабое	0,00 – 0,25
2	Лёгкий	1,8 – 3,3	6,2	9 (0,9)	30 (3,1)	II	Умеренное	0,25 – 0,75
3	Слабый	3,4 – 5,2	9,6	22 (2,2)	74 (7,5)	III	Значительное	0,75 – 1,25
4	Умеренный	5,3 – 7,4	13,6	44 (4,5)	147 (15,0)	IV	«	1,25 – 2,00
5	Свежий	7,5 – 9,8	17,8	77 (7,8)	252 (25,7)	V	Сильное	2,00 – 3,50
6	Сильный	9,9 – 12,4	22,2	123 (12,5)	392 (40,0)	VI	«	3,50 – 6,00
7	Крепкий	12,5 – 15,2	26,8	184 (18,8)	573 (58,4)	VII	Очень сильное	6,00 – 8,50
8	Очень крепкий	15,3 – 18,2	31,6	265 (27,0)	798 (81,3)	VII	« «	8,50 – 11,00
9	Шторм	18,3 – 21,5	36,7	366 (37,5)	1076 (109,7)	VIII	« «	Более 11,0
10	Сильный шторм	21,6 – 25,1	42,0	501 (51,1)	1407 (143,5)	IX	Исключительное	
11	Жестокий шторм	25,2 – 29,0	47,5	671 (68,4)	1800 (183,5)	IX	«	
12	Ураган	Более 29,0	53,0	878 (89,5)	2246 (229,0)			

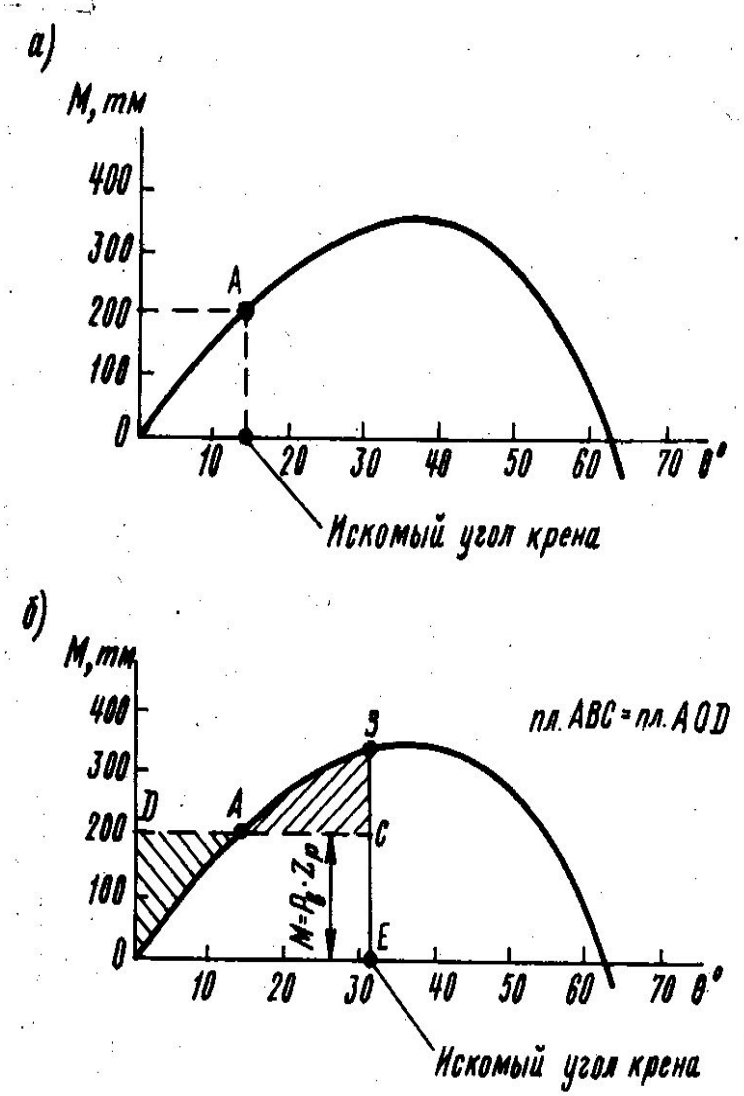
Если на судно действует какая-либо статически, т. е. плавно, без рывков, приложенная сила, то образуемый ею кренящий момент создаёт угол крена, который определяют по диаграмме статической остойчивости (построенной в форме кривой изменения восстанавливающих моментов от угла крена) в точке пересечения с кривой горизонтальной прямой, проведённой параллельно горизонтальной оси на расстоянии, равном значению кренящего момента **(рис. *а)***.

В этой точке (точка *А)* кренящий момент от действия статической силы равен восстанавливающему моменту, возникающему при накренении судна и стремящемуся возвратить накренённое судно в исходное, прямое, положение. Угол крена, при котором кренящий и восстанавливающий моменты равны, и является искомым углом крена от статически приложенной силы.



Определение угла крена от действия статически (*а*) и динамически (*б*) приложенной силы

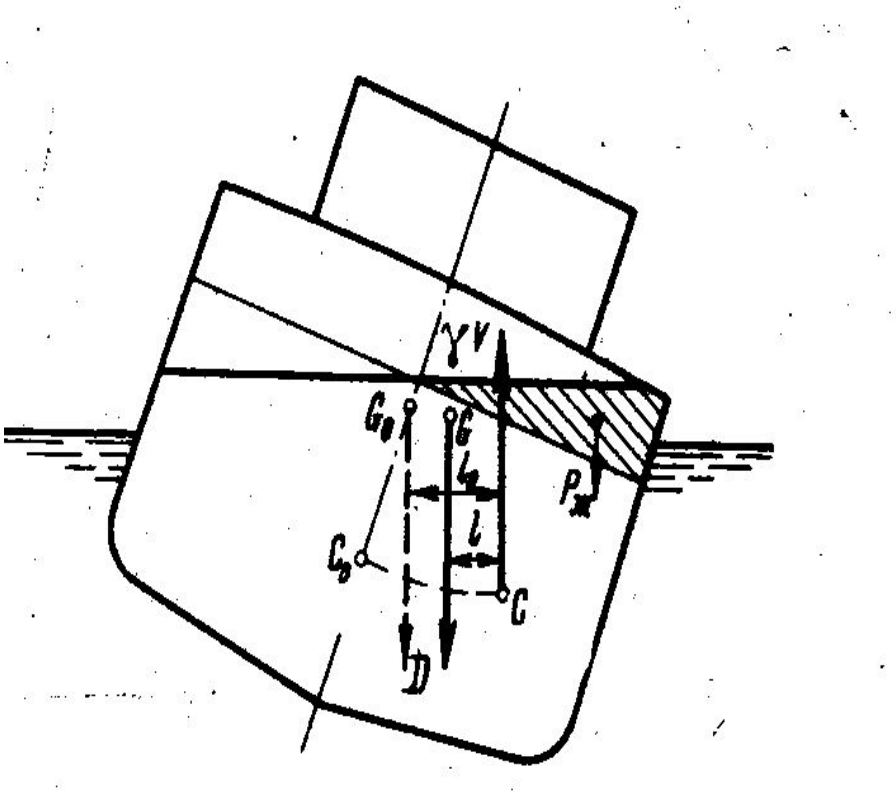
Если же кренящая сила действует на судно динамически, т. е. внезапно (порыв ветра, рывок буксирного троса и т. п.), то вызываемый ею угол крена определяют по диаграмме статической остойчивости иным образом. Горизонтальную линию кренящего момента, например от действия ветра при шквале, продолжают вправо от точки *A* **(рис. *б)*** до тех пор, пока отсекаемая ею площадь *ABC* внутри диаграммы не станет равной площади *AOD* вне её; при этом угол крена (точка *E*), соответствующий положению прямой *BC*, является искомым углом крена от действия динамически приложенной силы. Физически это соответствует углу крена, при котором работа кренящего момента (графически изображаемая площадью прямоугольника *ODCE*) оказывается равной работе восстанавливающего момента (площадь фигуры *OBE).* Если же площадь, ограниченная кривой восстанавливающих моментов, окажется недостаточной, чтобы сравняться с площадью фигуры, ограниченной кренящим моментом вне её, то судно опрокинется. Поэтому одной из главных характеристик диаграммы, свидетельствующих об остойчивости судна, является её площадь, ограничиваемая кривой и горизонтальной осью.



Определение угла крена от действия статически (*а*) и динамически (*б*) приложенной силы

Влияние жидких грузов на остойчивость.

Имеющиеся в цистернах жидкие грузы при неполном заполнении цистерн в случае наклонения судна перемещаются в сторону наклонения. Из-за этого в ту же сторону перемещается ЦТ судна (из точки G_o в точку G), что приводит к уменьшению плеча восстанавливающего момента. На рис. показано, как плечо остойчивости l_0 при учёте смещения жидкого груза уменьшается до l. При этом, чем шире цистерна или отсек, имеющие свободную поверхность жидкости, тем значительнее, перемещение ЦТ и, следовательно, больше уменьшение поперечной остойчивости. Поэтому для уменьшения влияния жидких грузов стремятся уменьшить ширину цистерны, а во время эксплуатации — ограничить число цистерн, в которых образуются свободные уровни, т. е. расходовать запасы не сразу из нескольких цистерн, а поочерёдно.



К определению влияния свободной поверхности жидкого груза на остойчивость

Влияние сыпучих грузов на остойчивость. К сыпучим грузам относят зерно всех видов, уголь, цемент, руду, рудные концентраты и др.

Свободная поверхность жидких грузов всегда остается горизонтальной. В отличие от них сыпучие грузы характеризуются углом *естественного откоса*, т. е. наибольшим углом между поверхностью груза и горизонтальной плоскостью, при котором груз ещё находится в покое и при превышении которого начинается пересыпание. У большинства сыпучих грузов этот угол находится в пределах 25—35°.

Сыпучие грузы, погруженные на судно, характеризуются также *пористостью*, или *скважистостью*, т. е. соотношением объёмов, занятых непосредственно частицами груза, и пустот между ними. Эта характеристика, зависящая как от свойств самого груза, так и от способа его погрузки в трюм, определяет степень его усадки (уплотнения) во время транспортировки.

При перевозке сыпучих грузов (особенно зерна) в результате образования пустот по мере их усадки от тряски и вибрации корпуса во время рейса, при резких или больших наклонениях судна под действием шквала (превышающих угол естественного откоса) они пересыпаются на один борт и уже не возвращаются полностью к исходному положению после выпрямления судна. Количество пересыпавшегося таким образом груза (зерна) постепенно увеличивается и вызывает крен, который может привести к опрокидыванию судна. Особая опасность возникает при перевозке рудных концентратов, которые при изменении их влажности во время рейса, например при оттаивании или отпотевании, приобретают высокую подвижность и легко смещаются к борту. Это свойство рудных концентратов стало причиной ряда тяжелых аварий судов Статистика показывает, что более половины судов, погибших из-за опрокидывания, перевозили сыпучие грузы.

Показатели остойчивости судна определяют его поведение на взволнованном море – параметры качки.

Качка приводит к следующим последствиям:

1. Увеличиваются инерционные усилия, воздействующие на конструкции судна, оборудование и перевозимый груз. При этом возможно их повреждение или разрушение, либо смещение груза.

2. Увеличивается заливаемость судна и снижается связанный с этим уровень безопасности плавания.

3. Вынуждает уменьшать скорость или изменять курс судна.

4. Ухудшает самочувствие людей, снижает работоспособность, повышает вероятность совершения ошибок при управлении судном.

Волны вызывают собственные и вынужденные колебания судна.

Таким образом, задача по обеспечению надлежащей остойчивости проектируемого судна формулируется так:

Остойчивость должна быть достаточной (не ниже нижнего предела остойчивости), чтобы судно было безопасным с точки зрения противодействия внешним кренящим моментам, и **остойчивость не должна быть избыточной** (не выше верхнего предела остойчивости), чтобы качка на взволнованном море судна была умеренной.

Проверка аварийной остойчивости.

Вариант нагрузки

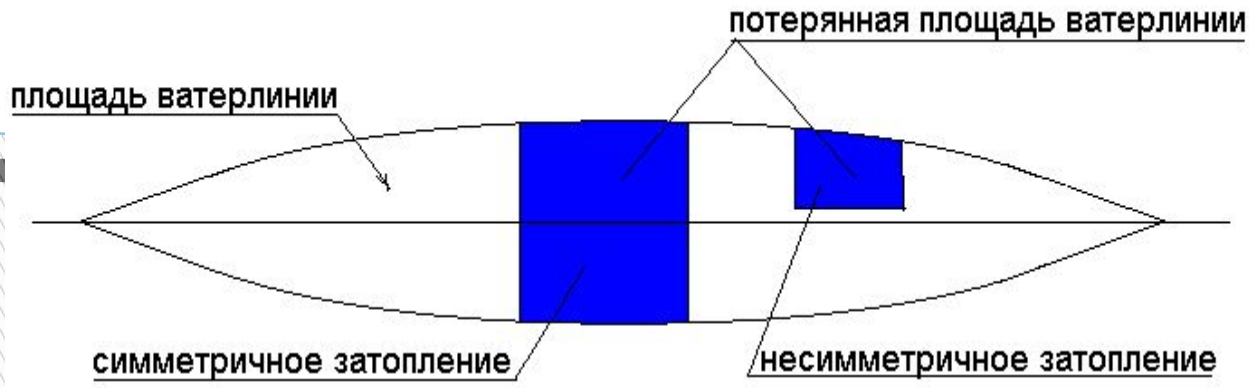
Проверку аварийной остойчивости следует проводить при варианте нагрузки, соответствующем наименьшей остойчивости судна в неповрежденном состоянии.

При затоплении забортной водой части корпуса происходит также изменение остойчивости судна. Причем наиболее опасное изменение – изменение поперечной остойчивости:

$$\Delta h = \Delta z_c + \Delta r - \Delta z_g$$

Чаще всего затопленные отсеки открыты сверху, т.е. уровень воды в них соответствует уровню забортной воды. В этом случае расчет аварийной остойчивости производят методом постоянного водоизмещения. При расчете остойчивости методом постоянного водоизмещения изменение поперечной метацентрической высоты Δh связано с изменением формы подводной части корпуса $\Delta z_c + \Delta r$. Аппликата центра масс судна остаётся неизменной $\Delta z_g = 0$.

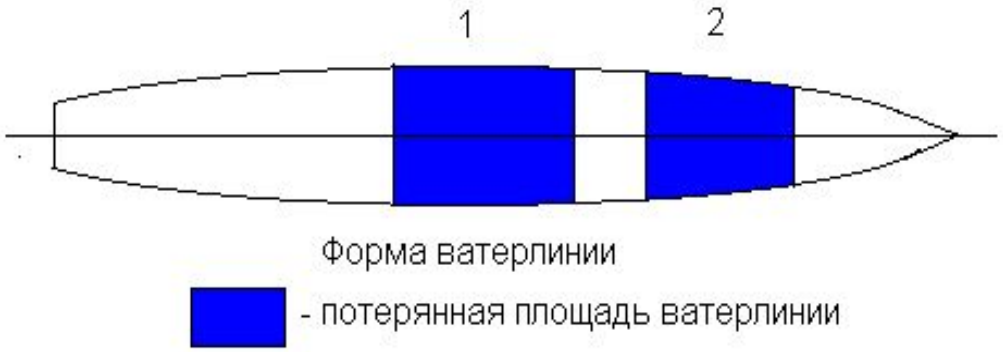
Площадь действующей ватерлинии судна уменьшается на величину площади поверхности воды в затопленном отсеке - «потерянной площади ватерлинии».



Уменьшение площади действующей ватерлинии при затоплении отсеков.

Затапливаемые отсеки.

При расчете аварийной остойчивости методом постоянного водоизмещения начальная остойчивость и форма диаграммы статической остойчивости будут больше всего изменяться за счет уменьшения поперечного метацентрического радиуса. Уменьшение поперечного метацентрического радиуса связано с потерей момента инерции площади действующей ватерлинии в затопленном отсеке. Наибольшая потеря площади действующей ватерлинии образуется при затоплении отсеков с наибольшей шириной, т.е. отсеков, расположенных вблизи середины длины судна. Поэтому для проверки выполнения требований к аварийной остойчивости следует рассматривать затопление отсеков, расположенных около середины длины судна.



Затопление отсеков при проверке аварийной остойчивости.

Окончательные выводы о выполнении требований Правил Регистра к делению судна на отсеки можно делать только после проведения расчетов всех возможных комбинаций вариантов нагрузки и схем затапливаемых отсеков с учетом нормативных размеров повреждения.

Непотопляемость

Непотопляемость судна – способность судна оставаться на плаву после затопления части помещений оставаться на плаву и сохранять остойчивость, а также некоторый запас плавучести. Непотопляемость – единственное мореходное качество судна, не проявляющееся реально в обычных условиях эксплуатации. Но оно очень важно, так как от степени непотопляемости зависит безопасность людей, находящихся на судна, сохранность самого судна и груза.

Основные причины, по которым приходится рассматривать меры по предотвращению аварий судна, связанных с его возможной гибелью от потери плавучести или остойчивости:

- разрушения наружной обшивки, связанные с касанием грунта, столкновением судов, навалом на лед и т.п.;
- разрушение наружной обшивки, вызванные нарушением общей прочности судна;
- поступление воды внутрь корпуса судна через неплотности люковых закрытий, дверей или через разрушенные волнами палубные конструкции, например, вентиляционные каналы;
- смещение груза или иные причины, вызывающие значительный крен или создающие условия для опрокидывания судна.

Обеспечение непотопляемости усложняется, если имеет место совокупность указанных причин.

Гибель судна может являться следствием двух факторов, касающихся различных мореходных качеств:

- потери плавучести;
- потери остойчивости.

Непотопляемость конкретного судна при аварии зависит от двух факторов:

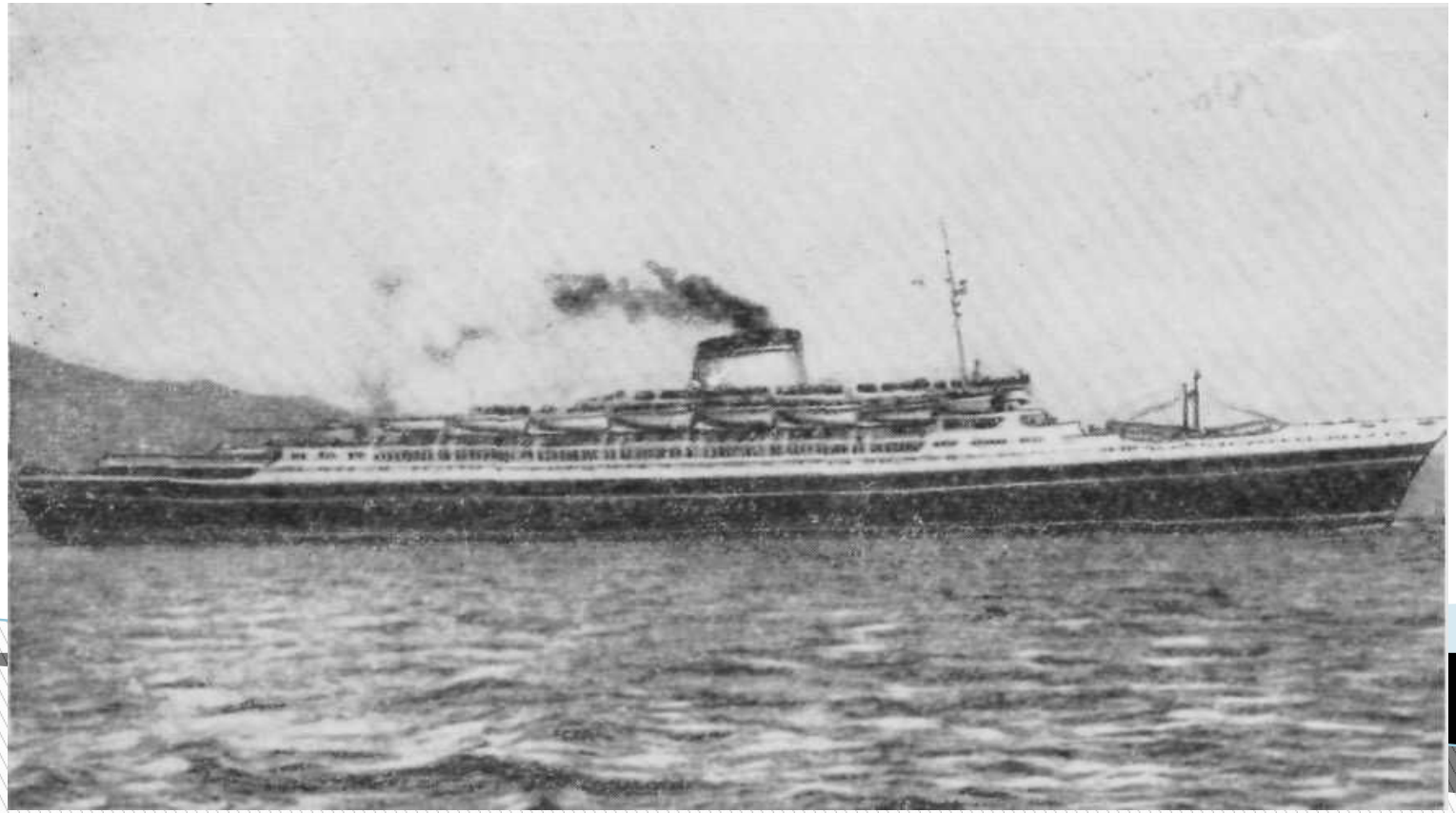
- конструктивного обеспечения;
- профессиональных действий экипажа судна по борьбе за непотопляемость (человеческий фактор).

Конструктивный недостаток и человеческий фактор.

В июле 1956 года в Атлантическом океане в 200 милях на восток от Нью-Йорка произошло столкновение пассажирских лайнеров: итальянского - «Андреа Дориа» и шведского - «Стокгольма».

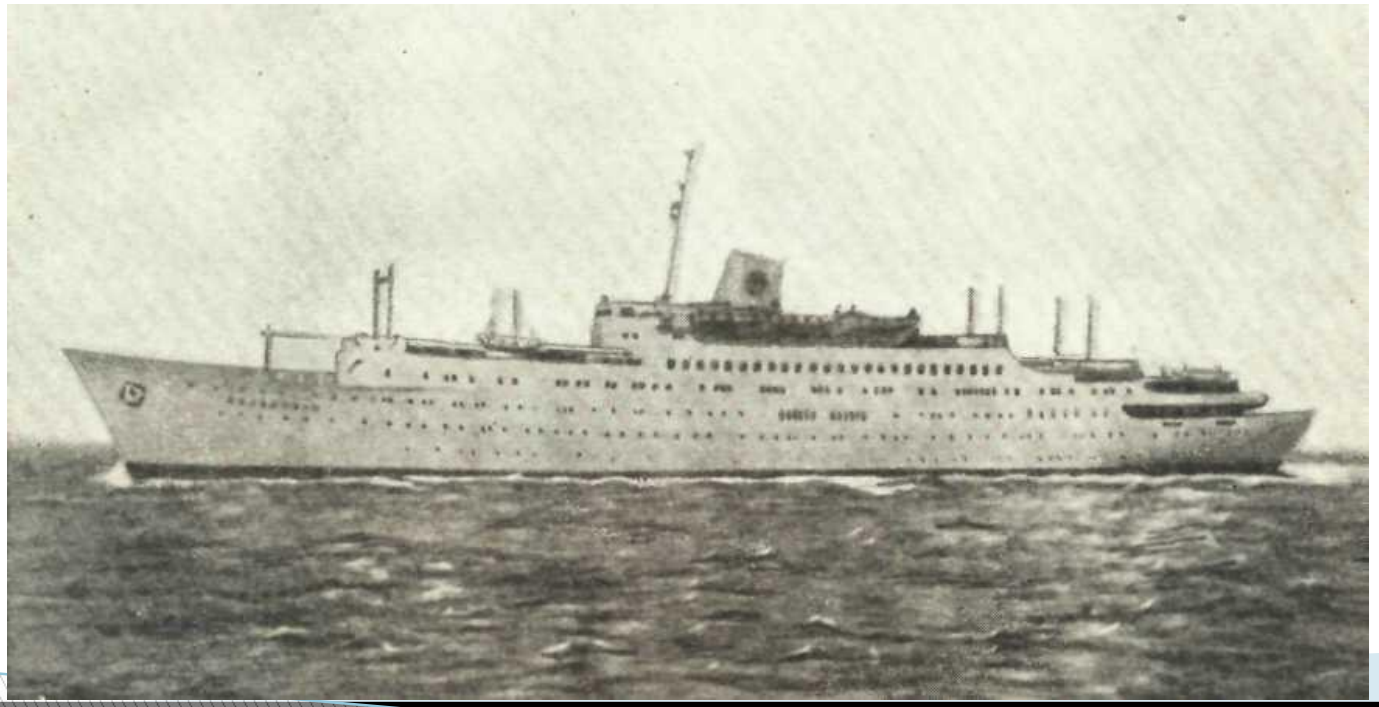
«Андреа Дориа»: - пассажировместимость 1250 человек;

- длина 212 метров;
- скорость 26 узлов.



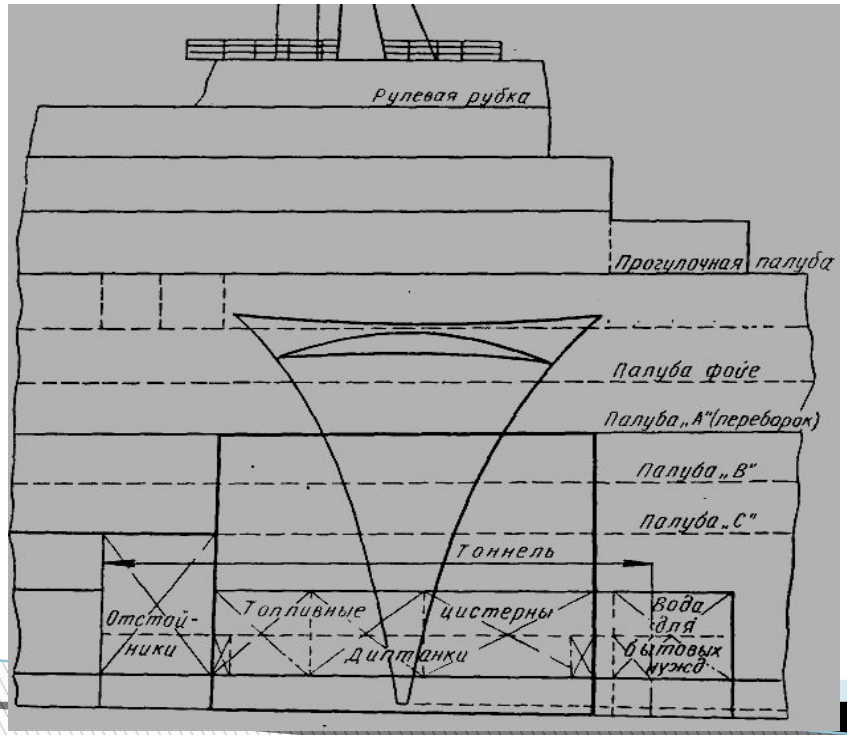
Итальянский пассажирский лайнер «Андреа Дориа».

«Стокгольм»: - пассажировместимость 534 человек;
- длина 160 метров;
- скорость 19 узлов.



Шведский пассажирский лайнер «Стокгольм»

«Андреа Дориа» шел из Средиземного моря в Нью-Йорк. Навстречу ему, из Нью-Йорка в Северную Европу двигался «Стокгольм». В результате нарушений правил плавания суда столкнулись. «Стокгольм» на скорости 19 узлов ударил в борт «Андреа Дория» под прямым углом в район носовых топливных цистерн (рисунок 3).



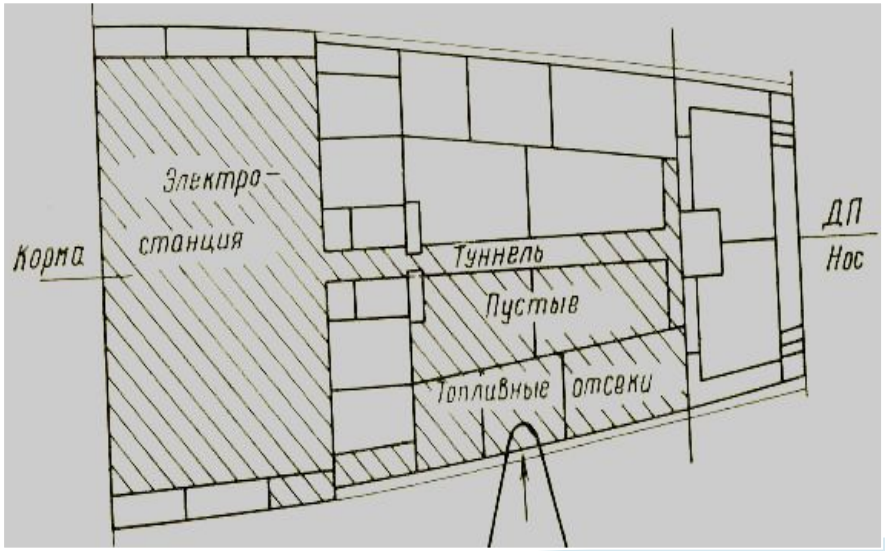
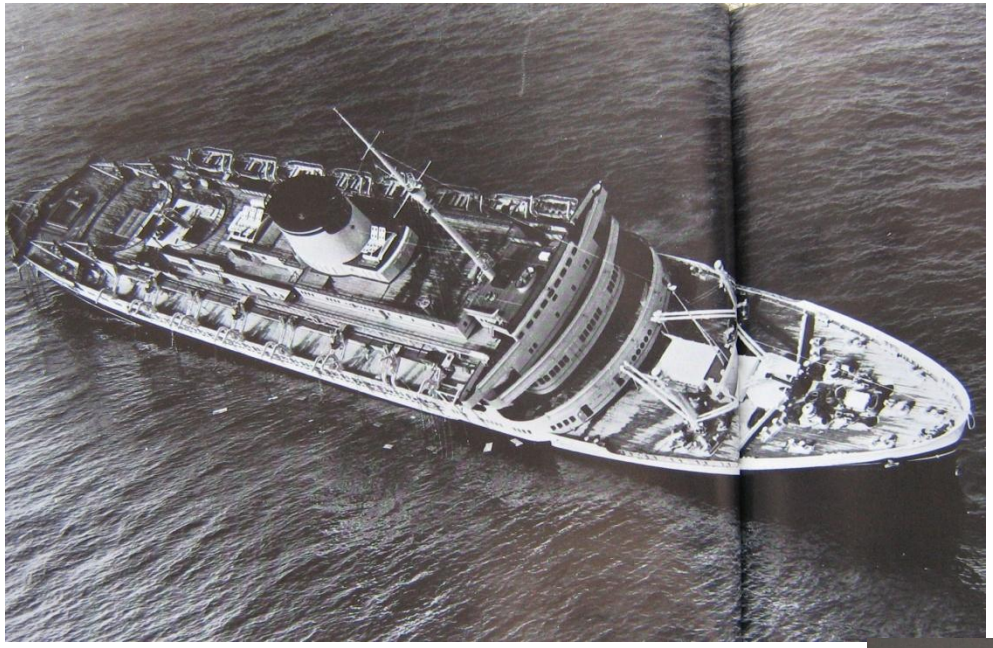
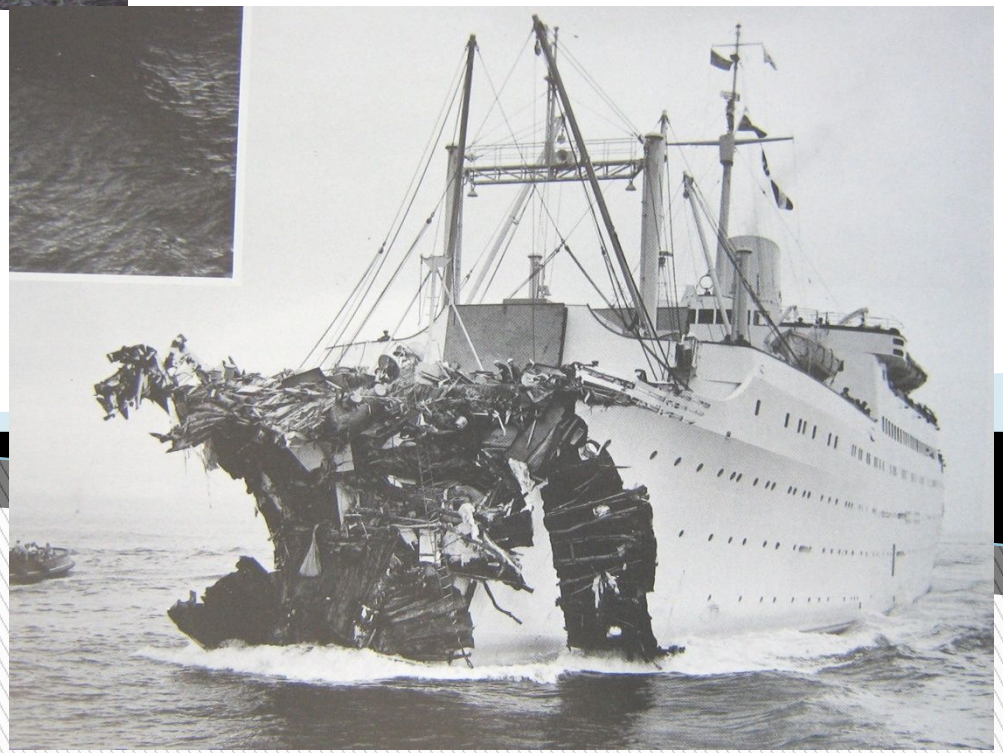


Схема корпуса «Андреа Дориа» в районе удара «Стокгольма»



Утро 26 июля. Крен «Андреа Дориа» достиг 45 градусов.

«Стокгольм» возвращается своим ходом в Нью-Йорк



Выводы из этого случая:

1. Гибели «Андреа Дориа» способствовали две причины:

- недостаточное конструктивное обеспечение непотопляемости – отсутствие водонепроницаемой двери в кормовом конце туннеля;

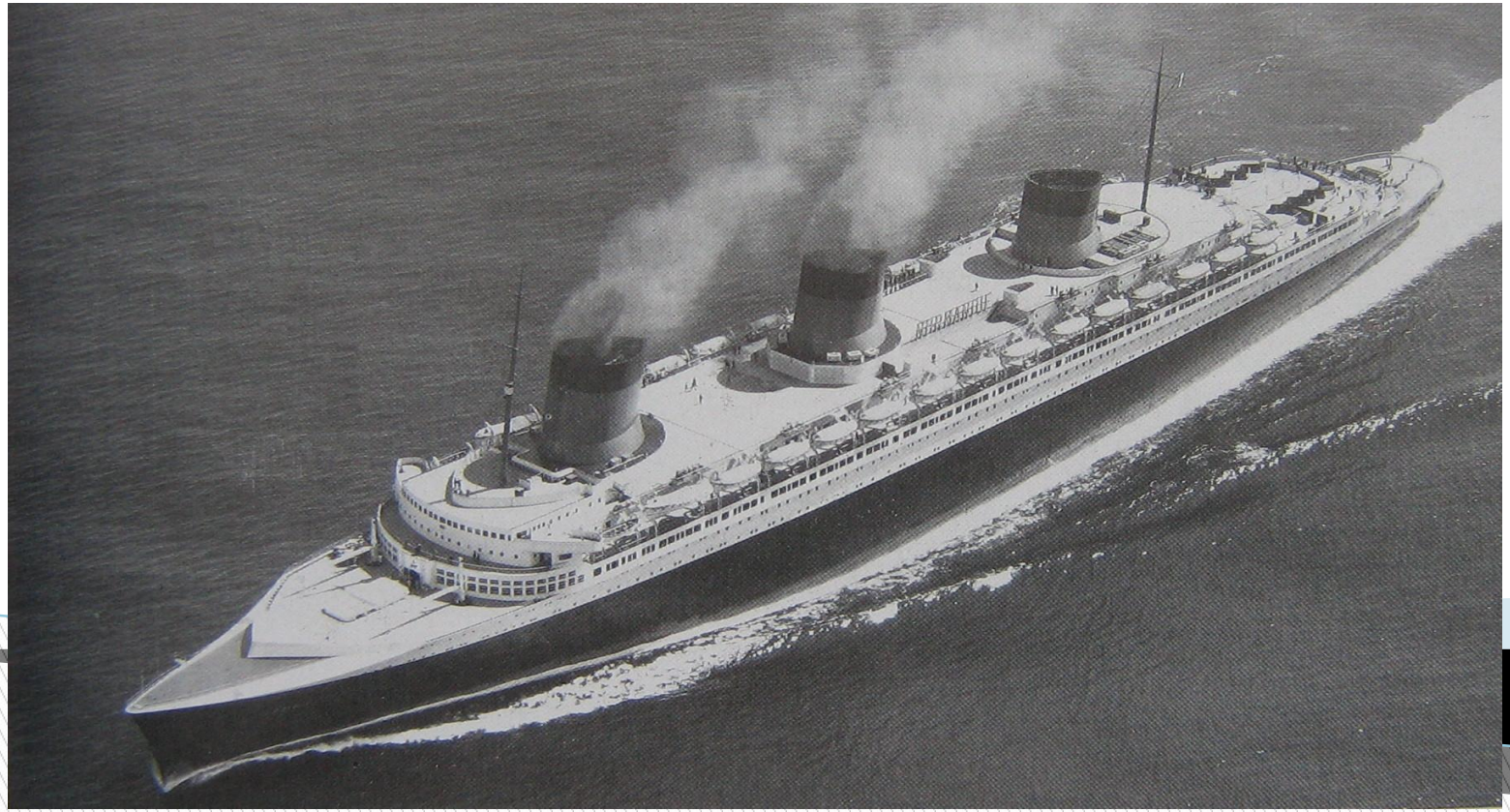
- человеческий фактор - неправильные действий экипажа в период, предшествовавший столкновению судов, – не был принят балласт в носовые топливные цистерны для создания запаса остойчивости и исключения несимметричного затопления.

2. Конструктивное обеспечение непотопляемости «Стокгольма» позволило сохранить судно.

Достаточность конструктивного обеспечения непотопляемости и человеческий фактор (опрокидывание французского пассажирского лайнера «Нормандия» в порту Нью-Йорка).

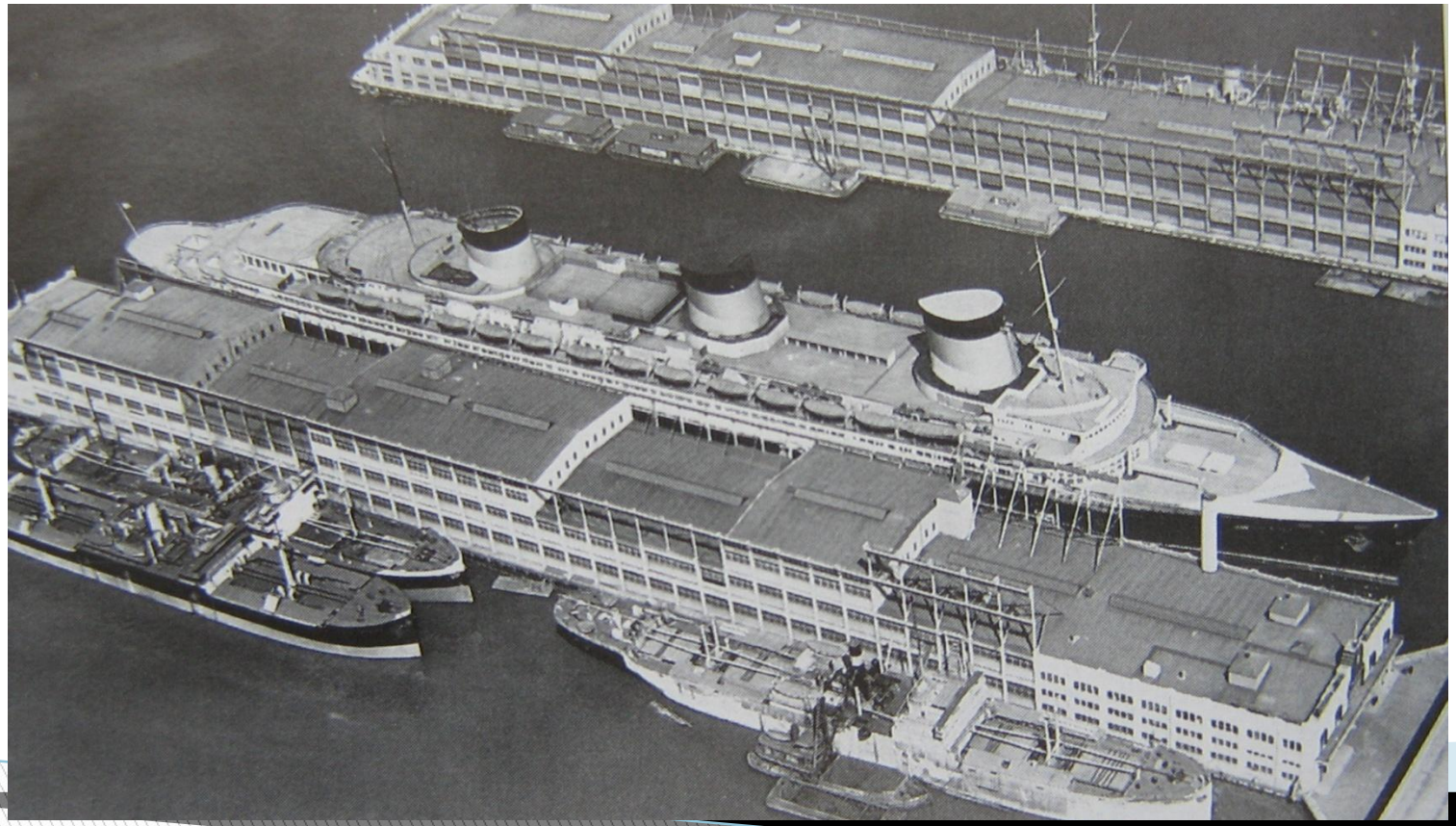
«Нормандия» - один из лучших пассажирских лайнеров, построенных до Второй мировой войны : - пассажировместимость – 1972 чел.;

- длина – 313,75 метра;
- скорость – около 31 узла.



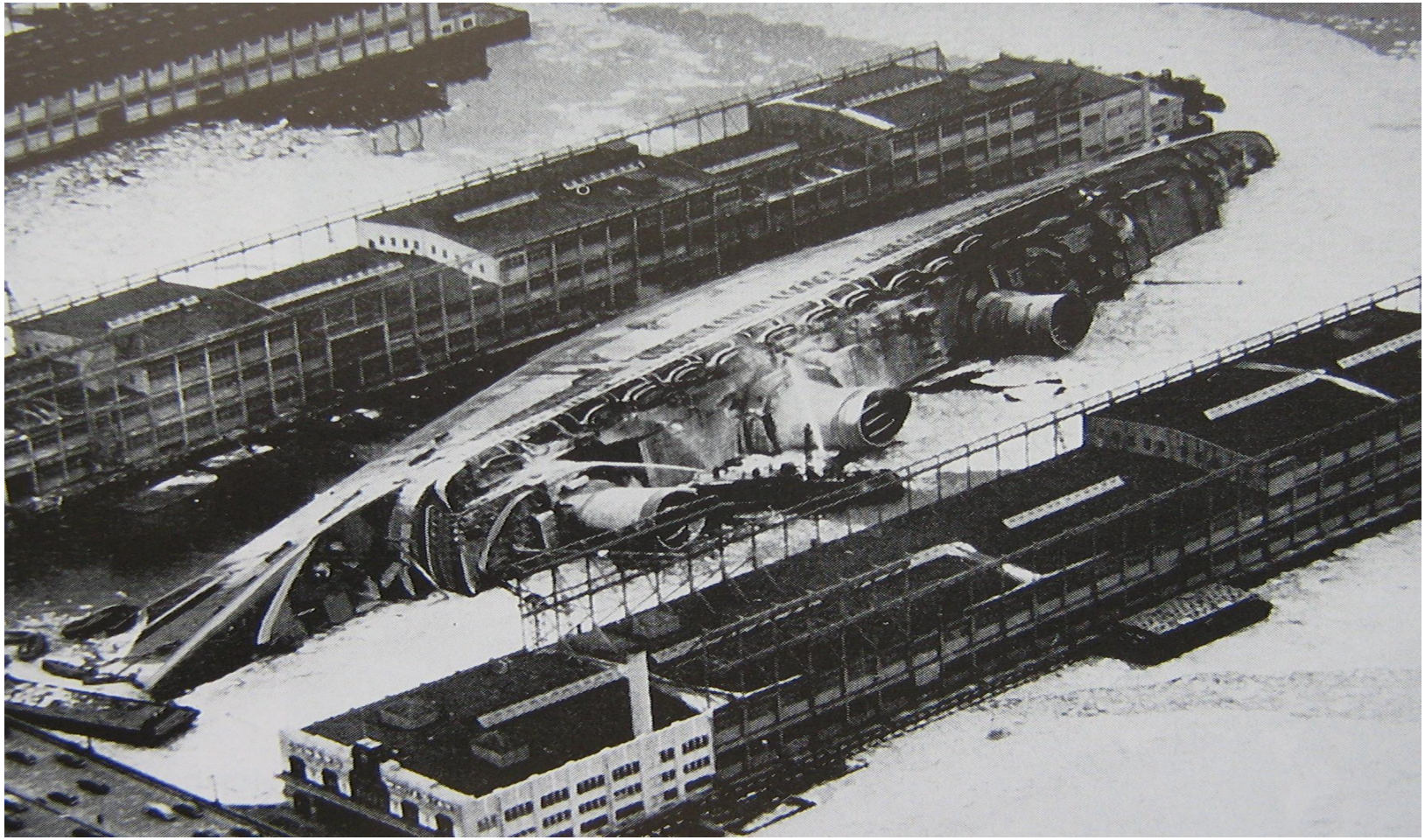
Французский пассажирский лайнер «Нормандия»

Во время Второй мировой войны лайнер оказался в Нью-Йорке, где его начали переоборудовать для перевозки войск.



«Нормандия» в порту Нью-Йорка.

Пожар на лайнере «Нормандия» в порту Нью-Йорка



Пассажирский лайнер «Нормандия» опрокинувшийся в результате неправильных действий пожарных

<u>Вывод из этого случая</u>:

При достаточном конструктивном обеспечении непотопляемости к гибели судна привел человеческий фактор - ошибочные действия людей при тушении пожара.

Человеческий фактор

13 января 2012 года капитан Costa Concordia провел судно слишком близко к итальянскому острову Джильо, чтобы поприветствовать людей на берегу. Лайнер напоролся на риф, на его борту находились 4 тысячи человек. Трагедия унесла жизни 32 человек.

Лайнер «Коста Конкордия»

Вечером 31 августа 1986 года, на выходе из Цемесской бухты, заполненый пассажирами пароход «Адмирал Нахимов» при неумелом управлении кораблем и неумелой работе диспетчера столкнулся с грузовым теплоходом-сухогрузом «Петр Васев», который своей мощной носовой подводной частью протаранил пароход... В течение 8 минут «Адмирал Нахимов» скрылся в волнах. Погибло 483 пассажира и члена экипажа и 2 спасателя.

Пароход «Адмирал Нахимов»

Балкер «Подольск» бывший «Пётр Васёв»

Вот результат совокупных действий обоих судоводителей:

1. "Адмирал Нахимов" как-бы подставил свой борт под удар (хотя, по экспертной оценке, сохранив свой курс на 160 - получил бы удар в корму, либо разошелся бы с сухогрузом в миллиметрах от кормы);

2. "Петр Васев", среверсировав главный двигатель на полный назад, по инерции двигался только прямо. Как раз в мидель парохода! В момент столкновения скорость балкера равнялась 5,5 узлов (10,1 км/ч). Если бы столкновение произошло между двумя легковыми автомобилями по 1т каждый, то все закончилось бы небольшими вмятинками. Но в этом случае взаимодействуют крупные тела. И сила удара равнялась 1 млн тонн! Вдобавок, у современных судов в подводной части имеется надстройка для уменьшения сопротивления - бульб. Эта надстройка имеет усиленный набор. Пробоина образовалась из-за удара бульбом в подводную часть парохода и увеличилась примерно до 40-50 м в длину в корму из-за поступательного движения "Нахимова" вперед при скорости 12 узлов (22,22 км/ч).

Случайности, которые облегчили бы последствия столкновения в аналогичной ситуации:

1. Если бы сухогруз имел другой тип форштевня;
2. Если бы "Петр Васев" шел в балласте (бульб был бы над поверхностью воды), инерция сухогруза была бы меньше.
3. Если бы "Адмирал Нахимов" имел 2-х, или даже 3-х отсечную непотопляемость;
4. Если бы у парохода клинкетные задвижки по одному только сигналу с мостика закрылись бы все герметично;
5. Если бы у парохода нижние ряды иллюминаторов были бы глухими, а не открывающимися;
6. Если бы аварийное электроснабжение парохода гарантированно работало бы при отключении основного электричества - была бы возможность хотя бы привести в движение те же клинкетные задвижки, заработать насосам, подать сигнал "SOS", объявить тревогу, включить свет в коридорах, каютах, на палубах.

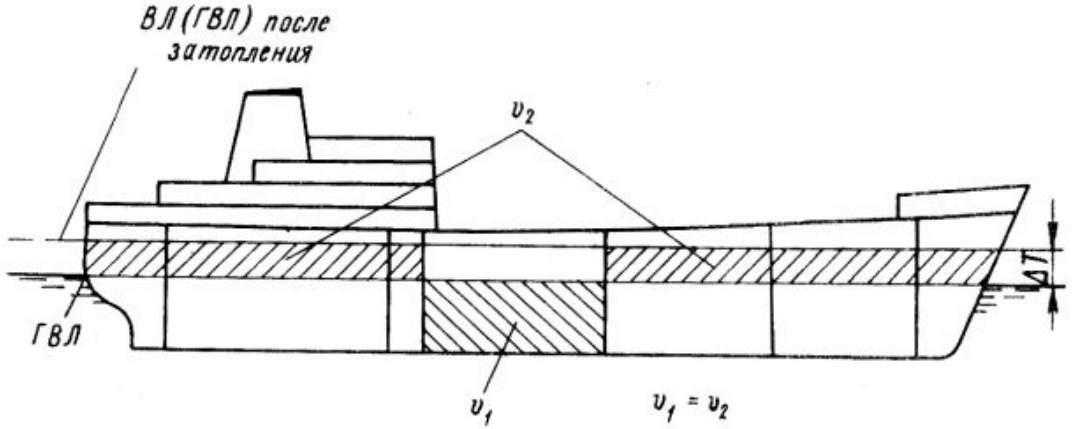
Недостаточная остойчивость и крепление груза, а так же человеческий фактор.

В ночь на 2 ноября 2004 году во время сильного шторма близ побережья Приморья затонули два судна "Вест" с грузом леса и "Ароса" с грузом металла для Японии. Суда вышли в море при нормальной, "рабочей" погоде. Однако ночью сухогрузы попали в полосу шторма с волнами до восьми метров. В результате погибли 32 человека, удалось спастись лишь 9.

Во время шторма "Вест" не пытался встать носом к волне, а повернулся бортом. В результате сильного крена в море начал падать груз леса. После этого судно стало поворачивать на обратный курс и вновь подставило свой борт волнам. Это и стало причиной гибели корабля.

Сухогрузное судно «Ароса»

Массу влившейся внутрь корпуса воды можно рассматривать как массу дополнительного груза, прием которого, как известно, всегда вызывает увеличение осадки. При этом погружение судна будет происходить до тех пор, пока объем дополнительно погрузившейся неповрежденной части корпуса не окажется равным объему влившейся в корпус воды.



Изменение осадки судна после затопления отсека

v_1 - объем поврежденного отсека до ватерлинии

v_2 - объем неповрежденной части корпуса, погрузившейся в воду

Можно также рассматривать объем поврежденной части корпуса, куда поступает вода, как объем, уже не принадлежащий судну и не участвующий в создании силы поддержания. А так как сила веса (сила тяжести) судна остается неизменной, то для сохранения равной ей силы поддержания потерянный (затопленный) объем должен быть компенсирован дополнительным объемом, который, будучи погруженным в воду, восстановит утраченную часть силы поддержания. Очевидно, что этот дополнительный объем должен быть равен затопленному объему корпуса. Чем больше запас плавучести судна, тем больше воды может оно принять, т. е. тем выше степень его непотопляемости.

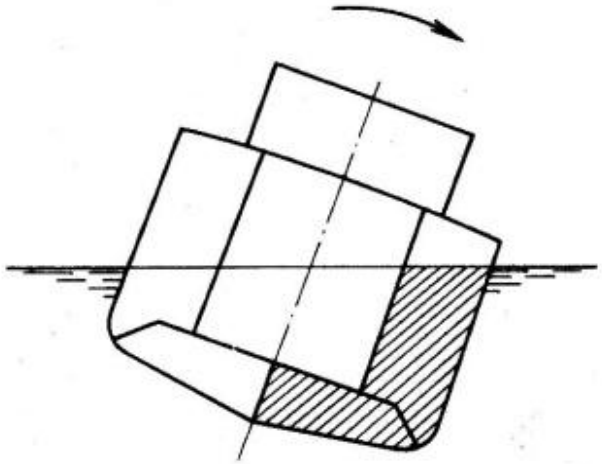
Поэтому главным направлением в борьбе за непотопляемость является увеличение запаса плавучести и принятие мер, ограничивающих количество поступающей в корпус воды при его повреждении. Первое достигается увеличением высоты надводного борта до верхней водонепроницаемой палубы, второе —разделением корпуса на ряд относительно небольших отсеков водонепроницаемыми поперечными и продольными переборками.

Наибольшие допустимые расстояния между поперечными переборками определяют по *кривой предельных длин отсеков*, которую строят по результатам специального расчета.

Однако эти мероприятия все же не гарантируют живучести судна в поврежденном состоянии, так как помимо плавучести должна быть обеспечена и аварийная остойчивость, которая в этом случае резко уменьшается. Уменьшение остойчивости происходит в основном из-за образования свободной поверхности воды в частично затопленных отсеках, а также высокого расположения самих затапливаемых отсеков.

Массу влившейся внутрь корпуса воды можно рассматривать как массу дополнительного груза, прием которого, как известно, всегда вызывает увеличение осадки. При этом погружение судна будет происходить до тех пор, пока объем дополнительно погрузившейся неповрежденной части корпуса не окажется равным объему влившейся в корпус воды.

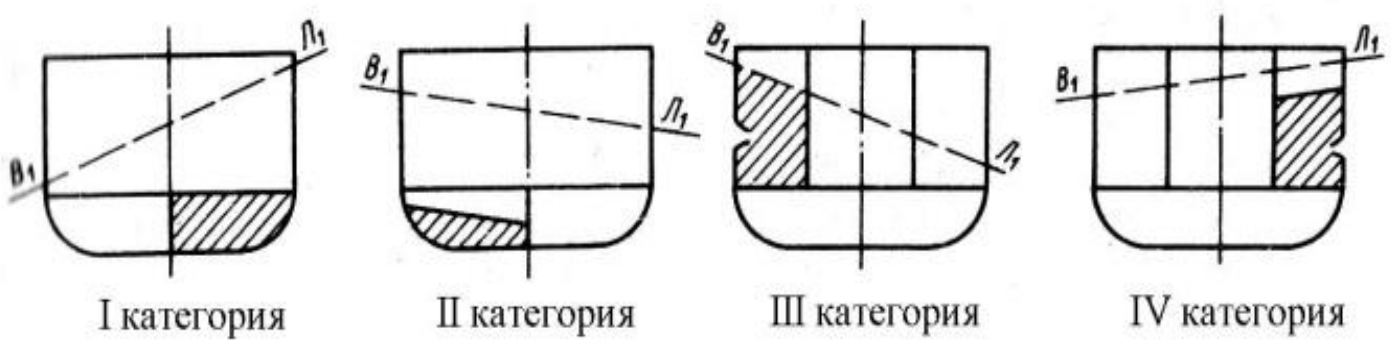
Особенно опасны дополнительные кренящие моменты, возникающие от несимметричного относительно ДП расположения затапливаемых отсеков. Это происходит главным образом из-за наличия на некоторых судах продольных водонепроницаемых переборок или бортовых цистерн судовых запасов. Повреждения корпуса происходят чаще с одного борта — удар при столкновении с другим судном, в военное время — попадание торпеды (снаряда), разрушения от взрыва авиабомбы вблизи судна и т. д. Поэтому вода, поступающая в отсек, ограниченный неразрушенной продольной водонепроницаемой переборкой, может вызвать опасный крен судна. Именно это обстоятельство явилось причиной потери остойчивости и опрокидывания трагически погибшего в 1956 г. итальянского пассажирского лайнера «Андреа Дориа», столкнувшегося со шведским лайнером «Стокгольм».



Образование крена судна при несимметричном затоплении

Чтобы уменьшить крен при затоплении бортовых отсеков, принимают специальные меры по его выравниванию, которые сводятся либо к установке переточных труб между симметричными отсеками обоих бортов, либо к оборудованию креновой системы (на ледоколах, военных кораблях). Иногда крен выравнивают, принимая дополнительное количество воды в отсеки противоположного борта, если позволяет запас плавучести. Последний способ был предложен еще в конце прошлого века знаменитым русским адмиралом и ученым-кораблестроителем С. О. Макаровым и в дальнейшем разработан академиком А. Н. Крыловым, предложившим составлять для каждого боевого корабля так называемые *таблицы непотопляемости*.

С помощью этих таблиц можно быстро определить, какие именно отсеки надо искусственно затопить, чтобы уменьшить крен и дифферент, образовавшиеся из-за затопления поврежденных отсеков.



Категории затапливаемых отсеков

Непотопляемость является главным элементом живучести судна, поскольку утрата непотопляемости равносильна утрате судна как инженерного сооружения и как эксплуатационной единицы флота. Хотя практические меры по обеспечению непотопляемости насчитывают не одну тысячу лет, теория непотопляемости – сравнительно молодая наука: ей немногим более 100 лет.

В практике непотопляемость обеспечивается на всех этапах жизни судна: судостроителями на стадиях проектирования, постройки и ремонта судна; экипажем в процессе эксплуатации неповрежденного судна; экипажем непосредственно в аварийной ситуации.

Ходкость

Ходкостью судна называется его способность перемещаться по воде с заданной скоростью под действием приложенной к нему движущей силы.

У транспортных судов различают ***скорость на испытании*** и ***эксплуатационную***, т. е. скорость в эксплуатационном режиме работы энергетической установки при средних навигационных условиях.

Движущая сила, вызывающая перемещение судна, создается судовым движителем, натяжением буксирного троса, давлением ветра на парус и пр. Значение движущей силы зависит от мощности главных двигателей, типа движителя, мощности буксира, силы давления ветра и т. д. Лучшей ходкостью из двух близких по размерениям и водоизмещению судов обладает то, которое при одинаковой тяге развивает большую скорость или, наоборот, для достижения одинаковой скорости требует меньшей тяги.

Приложенная к судну тяга затрачивается на преодоление сопротивления движению судна, которое складывается из сопротивления воды и воздушного сопротивления. Наибольшее влияние на ходкость оказывает сопротивление воды, представляющей собой вязкую среду.

Это сопротивление складывается из следующих величин:

- сопротивления трения $R_т$, вызываемого трением обтекающей корпус воды;

- сопротивления формы $R_ф$, вызываемого обтеканием корпуса судна вязкой жидкостью и образованием в носовой части зоны повышенного давления, а в кормовой части — зоны пониженного давления и завихрений, тормозящих движение судна вперед;

- волнового сопротивления $R_{волн}$, вызываемого волнообразованием от движения судна (в местах повышенного и пониженного давления воды), требующим соответствующей затраты энергии;

- сопротивления выступающих частей $R_{в.ч}$, вызываемого увеличением сопротивления трения и сопротивления формы от выступающих частей корпуса (рулей, скуловых килей, кронштейнов гребных валов и пр.).

Добавляя к сопротивлению воды воздушное сопротивление получим полное сопротивление движению судна.

Сопротивление трения легко поддается точному расчету.

Сопротивление формы и волновое сопротивление объединенные в одно, так называемое ***остаточное сопротивление*** можно рассчитать только приближенно. Для более точного определения остаточного сопротивления проводят испытания модели судна в опытовом бассейне.

Опытовый бассейн

В этом случае в бассейне длиной от нескольких десятков до нескольких сот метров буксируют изготовленную из парафина модель корпуса судна с помощью специальной тележки и динамометром фиксируют силу сопротивления движению этой модели. Полученная величина представляет собой полное сопротивление воды движению модели. Если из нее вычесть величину сопротивления трения модели, то получим остаточное сопротивление, которое может быть пересчитано с модели на натуру, т. е. для натурного судна. Прибавив к нему вычисленное расчетом сопротивление трения натурного судна, получим полное сопротивление воды.

Полное сопротивление движению судна равно усилию, возникающему в тросе при его буксировке, поэтому его обычно называют *буксировочным сопротивлением.*

Мощность, необходимая для буксировки судна со скоростью *υ,* так называемая ***буксировочная мощность*** (в л. с.)

$$EPS = \frac{R\upsilon}{75}.$$

В этой формуле сопротивление *R* выражается в *Н* или кгс, скорость *υ* — в уз или в м/с.

Однако чтобы обеспечить судну заданную скорость, мощность, подведённая к гребному винту (на гребном валу), должна быть больше буксировочной мощности вследствие неизбежных потерь, возникающих в процессе преобразования энергии, подводимой к гребному винту, в энергию поступательного движения судна.

Отношение буксировочной мощности *EPS* к мощности на гребном валу N_p называют ***пропульсивным коэффициентом***

$$\eta = \frac{EPS}{N_p}.$$

Пропульсивный коэффициент η равен произведению КПД гребного винта η_p на так называемый коэффициент влияния корпуса $\eta_к$, зависящий от формы кормовых обводов, местоположения гребного винта и ряда других факторов и равный 0,8–1,2.

У современных судов пропульсивный коэффициент колеблется в пределах 0,55–0,75, причём, чем он больше, тем лучше качество движителя и условия его работы за корпусом.

Понятно, что мощность на фланце главного двигателя должна быть больше мощности на гребном валу, чтобы компенсировать потери в редукторе ($\eta_{ред}$ = 2–4 %), в подшипниках валопровода ($\eta_в$ = 2–3 %) или в других специальных передачах (электрической, гидравлической и т. п.). В результате мощность N_e на фланце главного двигателя при известной буксировочной мощности может быть определена выражением

$$N_e = \frac{EPS}{\eta\eta_{ред}\eta_в}.$$

Чтобы приближенно оценить мощность двигателя, необходимую для обеспечения заданной скорости, можно пользоваться формулой адмиралтейских коэффициентов

$$N = \frac{D^{2/3} v_S^3}{C}$$

где *N*— мощность на валу главного двигателя, л. с; *D* — водоизмещение, т; *υ* — скорость, уз; *C* — адмиралтейский коэффициент.

Значение *C* определяется по известным, величинам *N* и *υ* близких по размерам однотипных судов. Обычно у морских транспортных судов *C* = 340–540.

Доля различных составляющих полного сопротивления зависит от ***относительной скорости*** судна, которая выражается так называемым **числом Фруда** ,

$$Fr = \frac{\upsilon}{\sqrt{gL}}$$

где *Fr* — относительная скорость, или число Фруда; *υ* — скорость, м/с; *L* — длина судна, м; *g* — ускорение свободного падения (9,81 м/с^2).

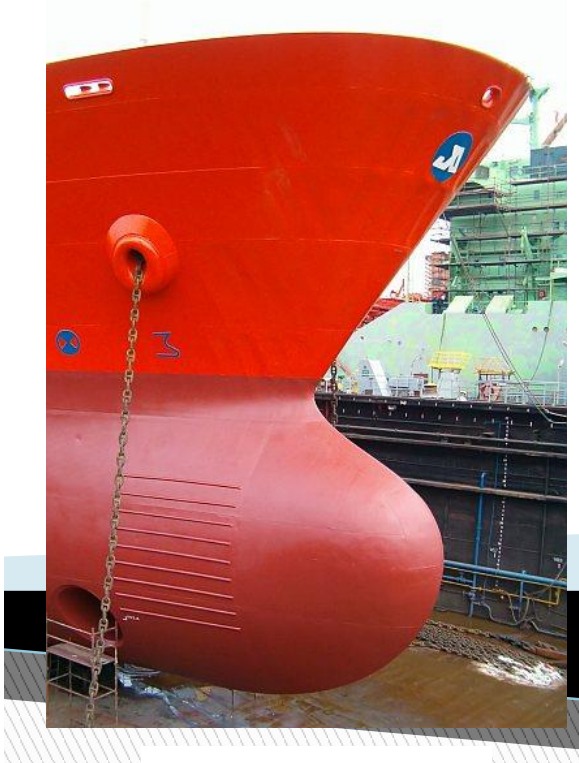
Суда, у которых Fr<0,20, называют тихоходными, 0,20—0,25 — среднескоростными, 0,25—0,35 — быстроходными.

У тихоходных судов основную долю полного сопротивления (ок. 80 %) составляет сопротивление трения. У быстроходных судов, наоборот, растёт доля остаточного сопротивления, которое достигает 50–55 % полного. Поэтому при проектировании тихоходных судов особое внимание обращают на уменьшение сопротивления трения, а при проектировании быстроходных на уменьшение сопротивления формы и волнового сопротивления.

Уменьшения сопротивления трения можно достичь, сократив площадь смоченной поверхности или уменьшив ее шероховатость. Перспективным, особенно для речных судов, является метод создания «воздушной смазки» под корпусом судна путем подачи воздуха от вентилятора через отверстия, расположенные в носовой части днища.

Снижения сопротивления формы стараются достичь, уменьшая коэффициент общей полноты, улучшая плавность обводов и отрабатывая форму кормовой оконечности.

Для уменьшения волнового сопротивления заостряют носовую оконечность. В ряде случаев используется бульбовая форма носа, что особенно эффективно на судах с высокой относительной скоростью (более 0,25—0,26), а также на тихоходных судах с большими коэффициентами общей полноты и малыми отношениями *L/B,* к которым относятся, например, современные танкеры.

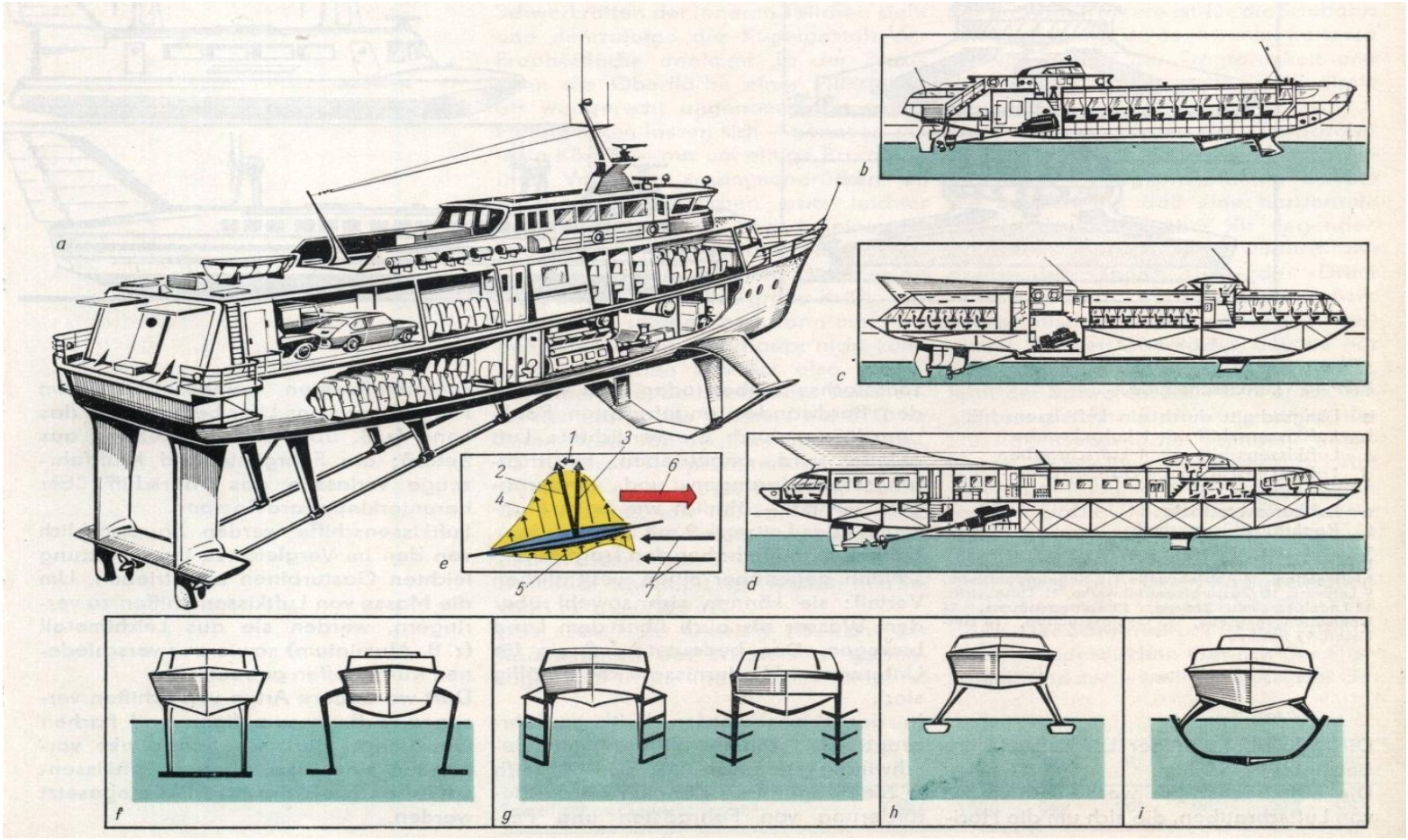


Бульб судна

Применение бульбовых обводов в подводной части носовой оконечности позволяет без ухудшения ходкости сократить длину, увеличить ширину и коэффициент общей, полноты, что, в свою очередь, приводит к снижению массы корпуса судна и соответственному повышению его грузоподъёмности. Благодаря экономической эффективности таких обводов их широко применяют при создании крупных морских судов.

Большое распространение получили суда на подводных крыльях (СПК). Благодаря укреплённым под корпусом судна пластинам (крыльям), оно по мере разбега и образования на крыльях подъёмной силы приподнимается над водой. В результате резко уменьшается сопротивление воды движению судна, и оно развивает большую скорость при относительно небольшой мощности главного двигателя.

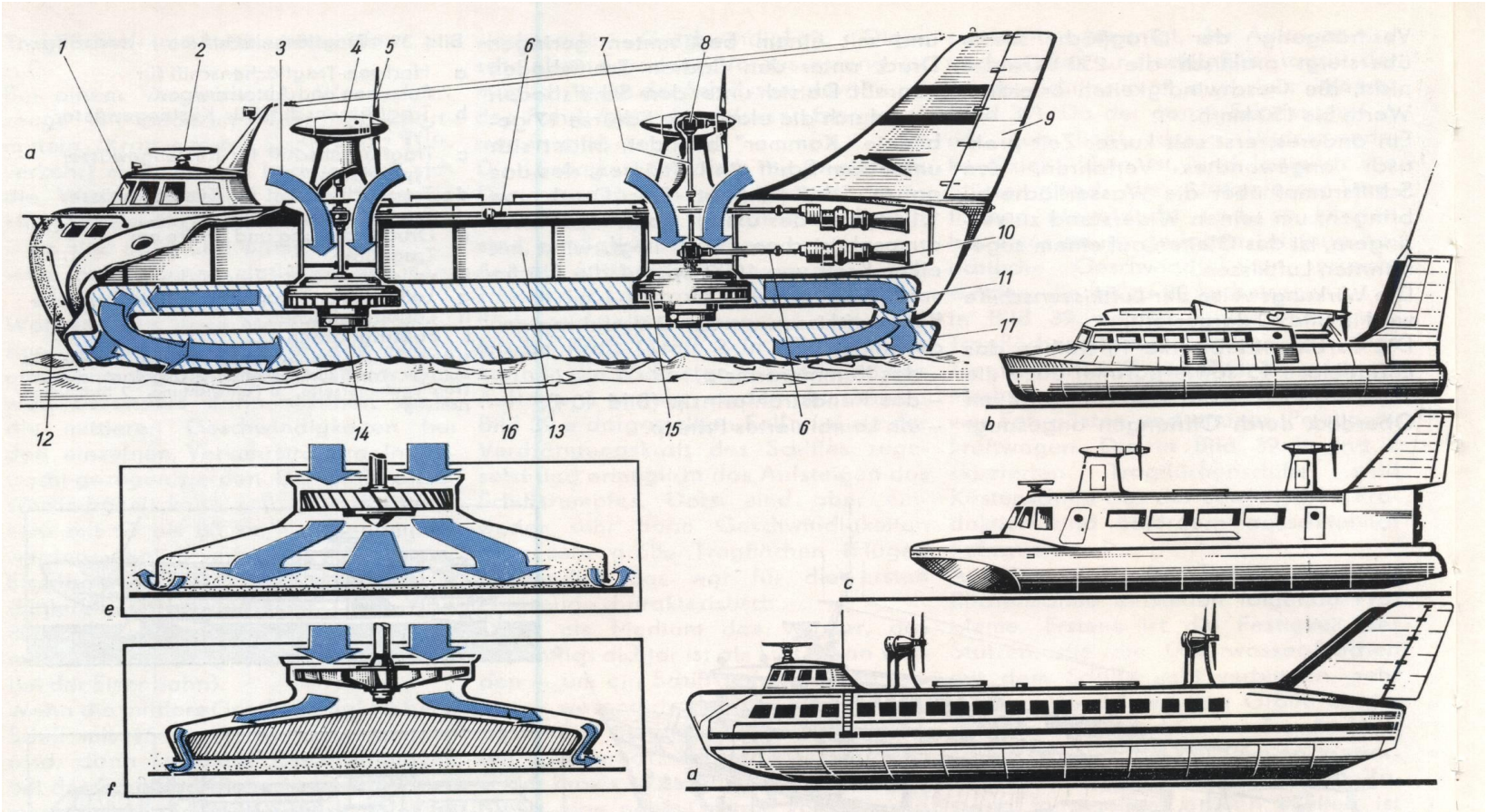
Судно на подводных крыльях



<u>Суда на подводных крыльях</u>: *a* – морское СПК для транспортировки людей и автотранспорта; *b* – СПК прибрежного плавания типа «Ракета»; *c* - СПК прибрежного плавания типа «Метеор»; *d* - СПК прибрежного плавания типа «Спутник»; *e* – распределение давлений и сил на несущем крыле; *f* – полностью погружённые несущие крылья; *g* – этажерочные подводные крылья; *h* – ложкообразные подводные крылья; *i* – бочкообразные подводные крылья.

1 – сила сопротивления; 2 – аэродинамическая сила; 3 – подъёмная сила; 4 – разрежение на верхней поверхности несущего крыла; 5 – избыточное давление на нижней поверхности крыла; 6 – направление движения; 7 – направление набегающего потока.

Еще большую скорость развивают суда на воздушной подушке (СВП). Такие суда имеют специальные вентиляторы, которые нагнетают воздух под днище и создают между ним и поверхностью воды воздушную подушку толщиной в несколько сантиметров. Для уменьшения энергетических затрат на поддержание воздушной подушки на новых СВП устанавливают по периметру частично погруженные в воду жесткие (скеги) или гибкие ограждения. СВП может перемещаться вдоль водной поверхности со скоростью 50—60 уз при относительно небольшой мощности двигателей. Пассажирские СВП, в том числе и достаточно крупные, построенные в разных странах, свидетельствуют об их перспективности.



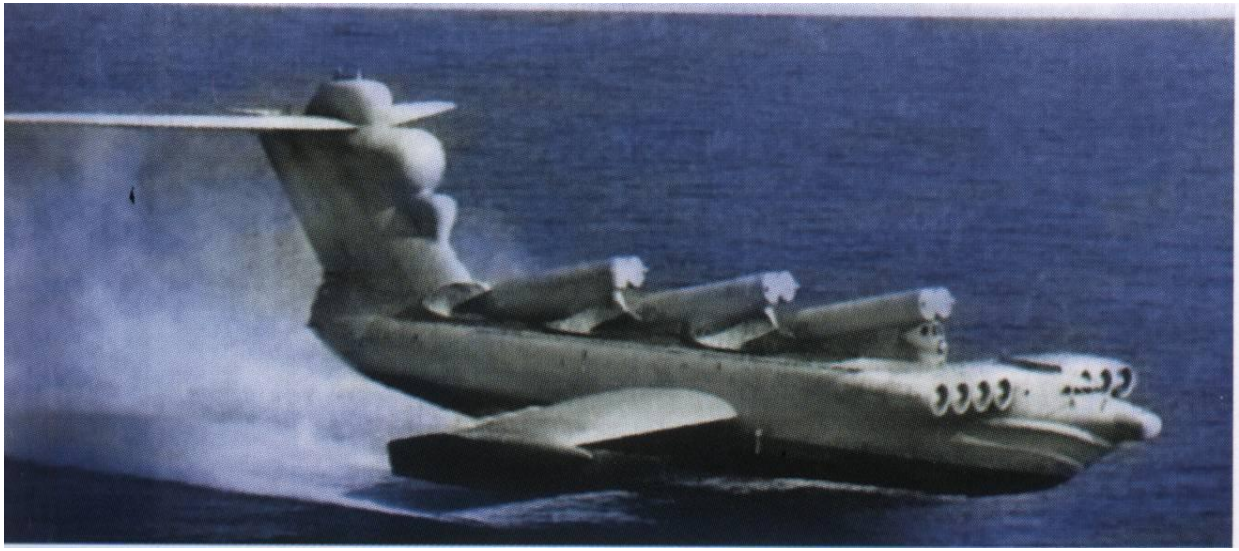
<u>Суда на воздушной подушке</u>: a – продольный разрез СВП; b – СВП с одним воздушным винтом; c – СВП с четырьмя воздушными винтами; d – СВП с четырьмя сдвоенными воздушными винтами; e – камерная схема образования воздушной подушки; f – сопловая схема образования воздушной подушки.

1 – кабина пилота; 2 – радар; 3 – вход воздуха; 4 – поворотные пилоны; 5 – воздушные винты; 6 – главные приводные валы; 7 – приводной вал; 8 – передача с коническими шестернями; 9 – хвостовое оперение (стабилизатор); 10 – газовые турбины; 11 – подача воздуха в воздушную подушку; 12 – грузовой люк с закрытием; 13 – помещение для пассажиров; 14 – редуктор; 15 – рабочее колесо воздухонагнетателя; 16 – воздушная подушка; 17 – гибкое ограждение

Экраноплан — высокоскоростное транспортное средство, аппарат, летящий в пределах действия аэродинамического экрана, то есть на относительно небольшой (до нескольких метров) высоте от поверхности воды, земли, снега или льда. При равных массе и скорости площадь крыла экраноплана намного меньше, чем у самолёта. По международной классификации (ИМО) относятся к морским судам.

Экраноплан — это многорежимное судно, которое в своём основном эксплуатационном режиме летит с использованием «экранного эффекта» над водной или иной поверхностью, без постоянного контакта с ней, и поддерживается в воздухе, главным образом, аэродинамической подъёмной силой, генерируемой на воздушном крыле (крыльях), корпусе или их частях, которые предназначены для использования действия «экранного эффекта».

Первый транспортно-десантный экраноплан ВМФ «*Орлёнок*» конструкции *Р.Е. Алексеева*



Ракетный экраноплан «*Лунь*» конструкции *В.Н. Кирилловых*

Экранопланы способны эксплуатироваться на самых различных маршрутах, в том числе и тех, которые недоступны для обычных судов. Наряду с более высокими гидроаэродинамическим качеством и мореходностью, чем у других скоростных судов, экранопланы практически всегда обладают амфибийными свойствами. Экраноплан, таким образом, объединяет в себе лучшие качества судна и самолёта.

К настоящему времени для глиссирующих судов достигнуты значения водоизмещения 500–600 т, скорости хода — 50–55 уз; для судов на подводных крыльях — 400–500 т и до 70 уз; амфибийных судов на воздушной подушке — до 500 т и 70 уз; судов-катамаранов с аэростатической разгрузкой — 1000–1100 т и 55–60 уз; экранопланов — 350–450 т и 250–270 уз.

Так как при движении судна под поверхностью воды полностью отсутствует волновое сопротивление, появились проекты подводных транспортных судов, в частности, подводных танкеров водоизмещением 100000–170000 т, со скоростью до 30 уз. Однако строительство таких подводных танкеров пока ещё нигде не начато.

Управляемость

Управляемость судна характеризуется двумя качествами: ***поворотливостью*** (т.е. способностью судна по желанию судоводителя изменять направление движения) и ***устойчивостью на курсе*** (т.е. способностью судна сохранять заданное ему прямое направление движения без отклонения в стороны). Неустойчивые на курсе суда называются ***рыскливыми***. Как поворот, так и удержание на курсе осуществляют с помощью руля.

В реальных условиях плавания на судно действуют различные возмущения (удары волн, порывы ветра, гидродинамическое воздействие проходящих мимо судов и неподвижных препятствий), которые стремятся вывести судно из прямолинейного равномерного движения. Но даже на тихой воде при отсутствии внешних возмущений некоторые суда имеют тенденцию уходить от прямого курса вследствие особенностей формы корпуса и распределения гидродинамической нагрузки в подводной части. Иными словами, существуют устойчивые и неустойчивые суда.

Исследованием условий возможности движения судна прямым курсом занимается раздел управляемости – устойчивость движения судна на курсе.

Устойчивость судна – это его способность сохранять после воздействия возмущений некоторые кинематические параметры движения. Существуют некоторые разновидности устойчивости, например устойчивость движения на прямом курсе и устойчивость движения на циркуляции, автоматическая или собственная устойчивость и эксплуатационная устойчивость, динамическая и статическая устойчивость.

Управляемость судна является одним из важнейших мореходных качеств, обеспечивающих безопасность плавания судна, поэтому улучшению управляемости уделяется большое внимание. В частности, с этой целью на судах, к которым предъявляются высокие требования по управляемости, а также для обеспечения хорошей управляемости на малых ходах и при швартовках, когда обычный руль неэффективен, применяют *средства активного управления судами* — подруливающие устройства, активные рули, вспомогательные движительно-рулевые колонки, поворотные насадки, а также крыльчатые и водометные движители.

Управляемость обеспечивается за счёт надлежащей эффективности органов управления и выбора элементов корпуса. Характеристики управляемости оцениваются экспериментально либо путём решения уравнений движения; гидродинамические силы, входящие в эти уравнения, могут также определяться в процессе эксперимента.

Наряду с общим исследованием управляемости большое внимание уделяется работам по повышению эффективности и снижению энергозатрат, необходимых для функционирования органов управления.

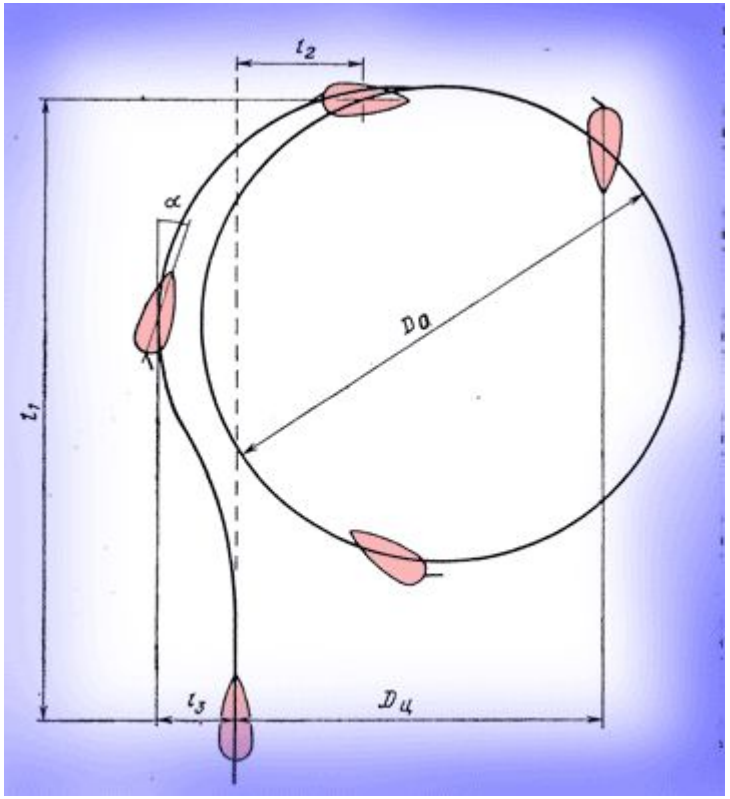
Геометрически траектория циркуляции характеризуется следующими элементами:

Do – диаметр установившейся циркуляции – расстояние между диаметральными плоскостями судна на двух последовательных курсах, отличающихся на 180º при установившемся движении;

Dц – тактический диаметр циркуляции – расстояние между положениями ДП судна до начала поворота и в момент изменения курса на 180º ;

l_1 – выдвиг (поступь) – расстояние между положениями ЦТ судна перед выходом на циркуляцию до точки циркуляции, в которой курс судна изменяется на 90º ;

l_2 – прямое смещение – расстояние от первоначального положения ЦТ судна до положения его после поворота на 90º , измеренное по нормали к первоначальному направлению движения судна; l_3 – обратное смещение – наибольшее смещение ЦТ судна в результате дрейфа в направлении, обратном стороне перекладки руля (обратное смещение обычно не превышает ширины судна, а на некоторых судах отсутствует совсем).



Элементы циркуляции

Качка судна

Качка судна – комплекс различных видов колебательных движений судна около положения равновесия, совершаемые свободно плавающим на поверхности воды судном.

Качка судна возникает, как правило, на взволнованном море под действием набегающих волн. Но она может возникать и на тихой воде, если на судно действуют какие-либо внешние внезапно приложенные (динамические} силы, которыми могут быть шквал ветра, рывок буксирного троса, раскачивание подвешенного груза и пр.

Качка – сложный динамический процесс, чувствительный к небольшим изменениям состояния судна и режима его движения. Безопасная эксплуатация судна требует тщательного изучения поведения судна на волнении.

Мореходность судна на волнении – вся совокупность явлений, происходящих на судне при движении в условиях шторма.

Некоторые из них:

- динамическая остойчивость, особенно на попутном волнении;
- ходкость судна на волнении;
- слеминг (днищевой, бортовой) – сильные удары днища в носовой оконечности, борта судна о волны, опасные потерей местной прочности;
- устойчивость на курсе, рыскание;
- и т.п.

Раскачивание судна под влиянием возмущающих периодических, т. е. действующих через определенные промежутки времени сил, например набегающих волн, называют ***вынужденными колебаниями*** судна. Такие колебания совершаются судном в течение всего времени действия возмущающих сил.

Раскачивание судна на тихой воде под влиянием случайной возмущающей силы после прекращения ее действия называют ***свободными колебаниями*** судна. Благодаря наличию сил сопротивления качке (трения воды, сопротивления воздуха и пр.) свободные колебания постепенно затухают и прекращаются.

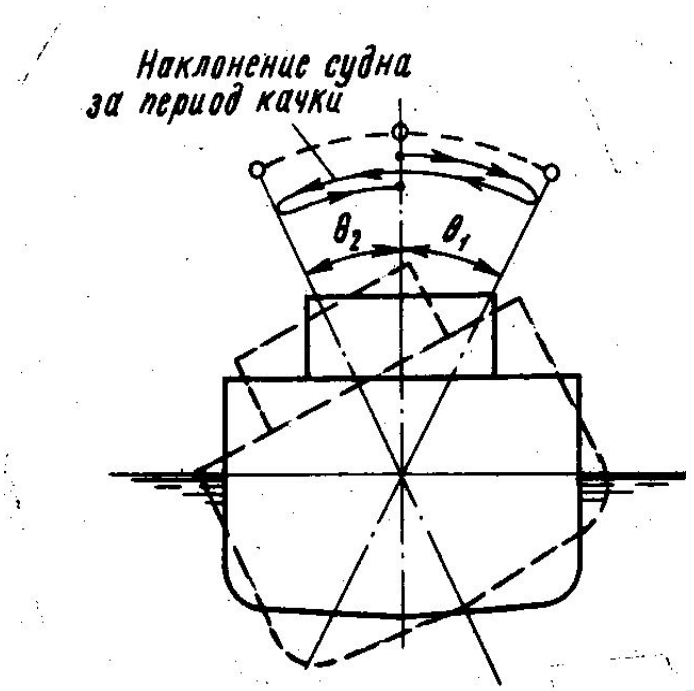
Качка, как и любое колебательное движение, характеризуется следующими параметрами, или основными характеристиками:

амплитудой — наибольшим отклонением от среднего до крайнего положения качающегося тела;

размахом — суммой двух последовательных амплитуд;

периодом — временем совершения двух полных размахов;

частотой — количеством колебаний в единицу времени (величина, обратная периоду).

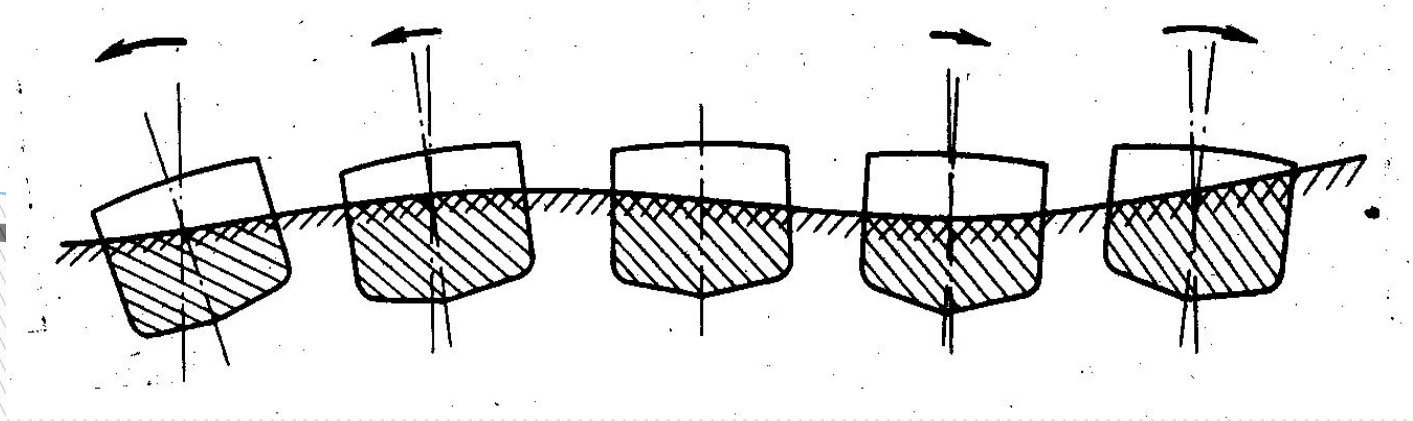


Параметры качки:
θ_1, θ_2 – амплитуды;
($\theta_1 + \theta_2$) – размах

Качка судна, вызывающая неприятные ощущения («морскую болезнь») у находящихся на нем людей, опасна и для установленных на судне механизмов и приборов, так как возникающие при изменении направления движения ускорения вызывают появление сил инерции, которые стремятся сдвинуть с фундаментов котлы, главные двигатели и другое оборудование, имеющее большую массу. Эти же силы нарушают нормальную работу механизмов и приборов.

Различают ***бортовую, килевую и вертикальную качки***.

Бортовой качкой называют колебательные движения, совершаемые судном вокруг проходящей в ДП продольной оси. Она вызывается волнением при положении судна лагом к волне, т. е. параллельно гребням волн, или при косом курсе к волне, а также упомянутыми выше случайными динамическими силами. Бортовая качка наиболее опасна и неприятна, так как при относительно малом периоде (от 6—9 с у малых судов до 10—15 с у средних и больших судов) и больших амплитудах, измеряемых в углах крена (10—30^{e}), возникают большие ускорения, опасные для механизмов и неприятные для людей. Период свободных колебаний при бортовой качке зависит от формы корпуса судна и распределения масс собственно судна и груза.

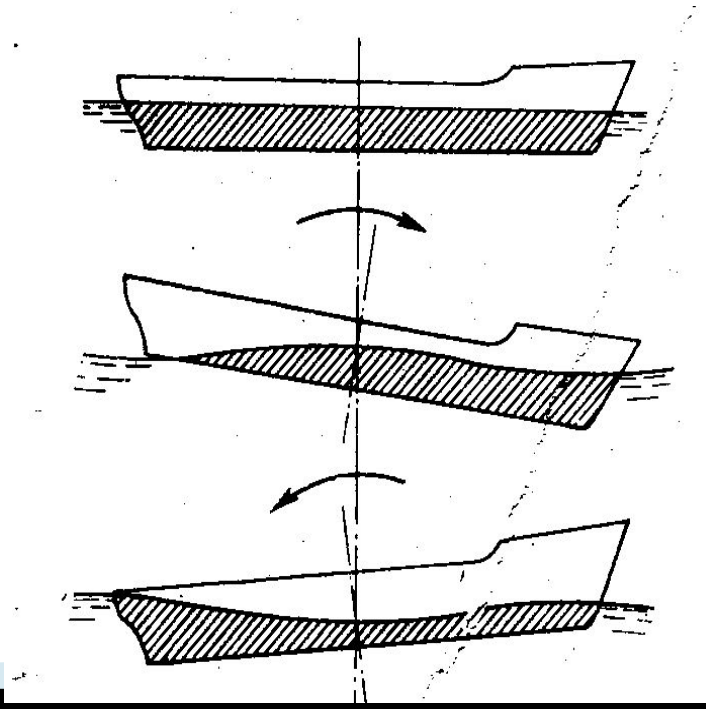


Бортовая качка на волнении

Килевой качкой называют колебательные движения, совершаемые судном вокруг поперечной оси. Килевая качка возникает главным образом при движении судна поперек волны.

При плавании судна в разрез волны килевая качка представляет собой только вынужденные колебания и совершается с периодом возмущающей силы, т. е. с периодом набегающей волны.

При килевой качке не возникает опасности опрокидывания судна через нос или корму, однако вполне возможно нежелательное заливание или оголение оконечностей и удары корпуса о воду *(слеминг).* Кроме того, несмотря на малые по сравнению с бортовой качкой амплитуды, ускорения, возникающие при этом в оконечностях, значительно превосходят ускорения от бортовой качки и представляют опасность для расположенных там механизмов.

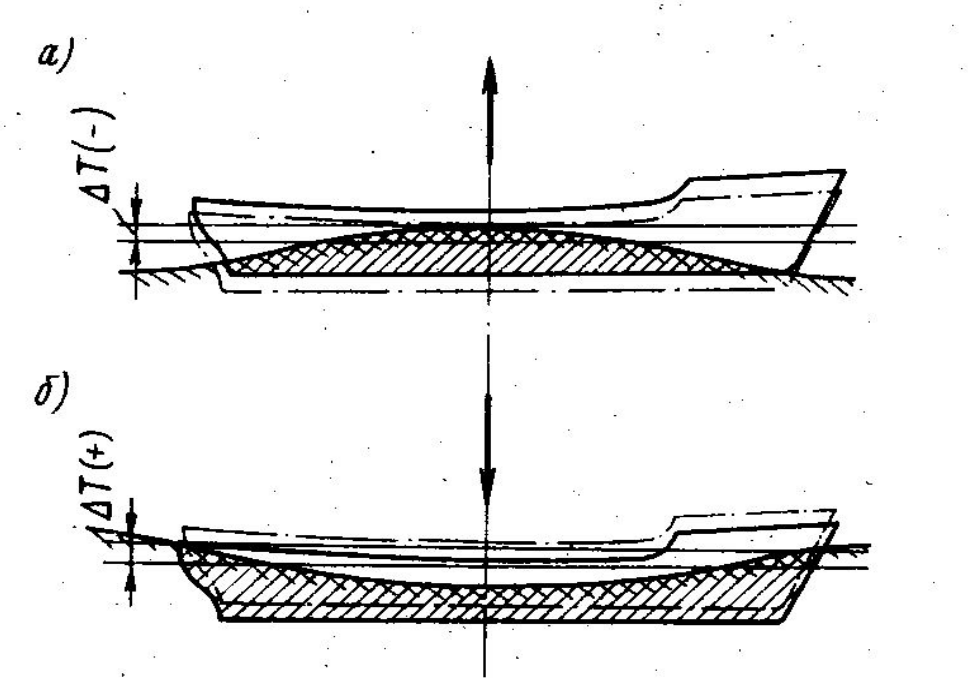


Килевая качка

Вертикальной качкой называют колебательные движения, совершаемые судном в вертикальной плоскости вверх и вниз и вызываемые изменением сил поддержания при прохождении волны под судном. Если гребень волны находится под средней частью, т. е. более полной, чем оконечности, сила поддержания увеличивается, и судно всплывает (рис. ***а***). Когда под средней частью судна находится подошва волны, силы поддержания уменьшаются, и судно погружается глубже (рис. ***б***).

Период вертикальной качки равен периоду волны, а ее амплитуды, измеряемые в метрах, зависят от размеров судна и волнения.

При плавании судна на взволнованном море оно испытывает одновременно бортовую, килевую и вертикальную качку.



Вертикальная качка на волнении: *а*) – всплытие на вершине волны;
***б)* – погружение на подошве волны**