

Управление судном при плавании
в штормовых условиях
Теория плавания



**Безопасность плавания в штормовых
условиях во многом зависит от
искусства судоводителей в управлении
судном,
что требует хороших знаний физических
закономерностей воздействия на судно
волнения и ветра.**

Влияние штормовых условий на мореходные качества судна

При плавании судна в штормовых условиях наблюдаются следующие негативные явления:

- рыскание судна
- потеря скорости
- изгибание и скручивание корпуса
- разгон гребного винта и двигателя
- **слеминг** - удары волн о днище, приводящие к деформации днища
- **випинг** – удары волн в носовой подзор, приводящие к заливанию палубы и деформации корпуса
- **брочинг** – захват судна попутной волной с последующим разворотом лагом к волне
- потеря устойчивости при плавании на попутном волнении

Факторы, воздействующие на судно во время шторма

Во время шторма судно подвергается воздействию ветра и волнения.

Ветер вызывает:

- дрейф,
- крен судна,
- увеличивает сопротивление движению.

Под воздействием сильного ветра суда теряют управляемость и оказываются выброшенными на прибрежные скалы, рифы, отмели.

Особенно опасным является воздействие на судно ветра и волнения, когда во время качки накренение судна совпадает с направлением давления ветра.

Поэтому к судам предъявляется требование, чтобы при качке динамический кренящий момент от давления ветра M_v не превышал опрокидывающего момента M_c , т.е. выполнялось условие:

$$M_v \leq M_c$$

или

$$K = M_c / M_v \geq 1.$$

(критерий погоды)

Это требование обеспечивается правильной загрузкой и балластировкой судна.

Бортовая качка

Удовлетворение требованию критерия погоды не избавляет судно от бортовой качки.

Величинами, характеризующими качку, являются *угол наклонения* судна и *период*, за который совершается одно полное колебание судна.

Качка зависит от состояния остойчивости судна, характера волнения, скорости и курса судна относительно волн.

Период бортовой качки

Период бортовой качки судна обратно пропорционально связан с состоянием остойчивости.

В отечественных литературных источниках период бортовой качки судна T_{θ} определяется как:

$$T_{\theta} = \frac{C \times B}{\sqrt{h_0}} \quad (1)$$

По рекомендации ИМО (MSC/Circ.707) период бортовой качки судна T_R определяется как:

$$T_R = 2CB / \sqrt{GM} \quad (2)$$

где h_0 (GM) – поперечная метацентрическая высота, м;

B – ширина корпуса судна, м;

C – инерционный коэффициент, данные по которому либо должны быть в судовой документации, либо предварительно измерены на тихой воде. Для формулы ИМО он определяемый как:

$$C = 0.373 + 0.023(B/d) - 0.043(L/100), \quad (3)$$

где d – осадка судна, м;

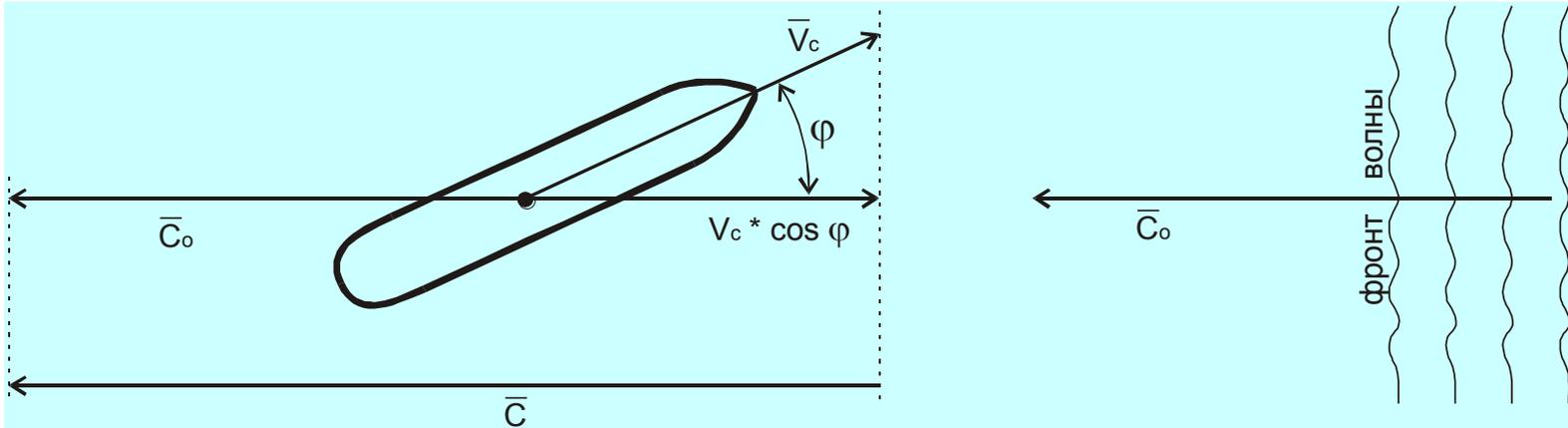
L – длина судна между перпендикулярами, м.

Прим.: Для использования в формуле (1) расчетной величины C , полученной по формуле (3), результат необходимо умножить на 2.

Условия тяжелой качки

Сила, прикладываемая к судну волнением, является периодической. Если периодичность прикладываемой силы совпадает с периодом собственных колебаний тела, то наступает **явление резонанса, когда амплитуда колебаний возрастает во много раз.**

Периодичность воздействия волн на движущееся судно зависит не только от скорости волн, но и от скорости судна и его направления относительно волн.



Кажущийся период волн может быть измерен с помощью секундомера или вычислен:

$$\tau = \frac{3T_w^2}{3T_w + V_c \cos \varphi}$$

где T_w – истинный период волн, с;
 V_c – скорость судна, уз.

Тяжелая бортовая качка

Резонансная качка:

Амплитуда бортовой качки достигает максимального значения в условиях резонанса, т.е. когда кажущийся период волн τ равен периоду собственных бортовых колебаний T_{θ} :

$$\tau = T_{\theta}$$

Параметрическая качка:

$$\tau \approx T_{\theta} \text{ или } \tau \approx 0,5 T_{\theta}$$

Близрезонансная качка:

$$0,7 \leq \frac{T_{\theta}}{\tau} \leq 1,3$$

Бортовая качка

Бортовая качка может явиться причиной переворачивания судна как при недостаточной, так и при чрезмерной остойчивости!

$$T_{\theta} = \frac{C \times B}{\sqrt{h_0}}$$

Чем больше остойчивость,

↳ тем качка стремительнее (*меньше период*),

↳ тем больше кинетическая энергия,

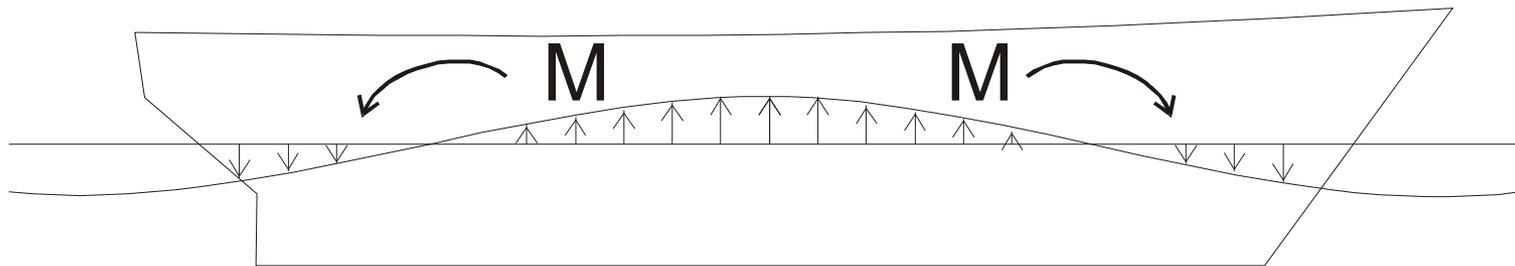
↳ тем больше вероятность срыва креплений грузов, смещения грузов и переворачивания судна.

Килевая качка

Килевая качка является не менее опасной!

При плавании на волнении:

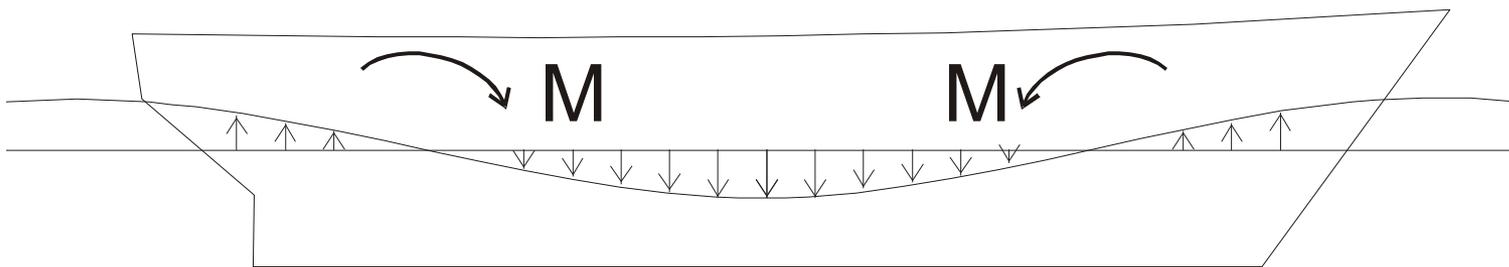
- усиливается рыскание,
разница уровней воды по бортам приводит к возникновению поперечных сил, вращающих судно относительно вертикальной оси то в одну, то в другую сторону.
- ухудшается гидродинамический режим работы движителей,
постоянно меняющееся заглубление винта создает переменные нагрузки на лопасти, валопровод и двигатель. Особенно опасны моменты оголения винта, когда отсутствие сопротивления приводит к опасному разгону двигателя.
- происходит изгибание и скручивание корпуса, иногда приводящее даже к переламыванию.
постоянно меняющийся уровень воды в оконечностях по отношению к середине корпуса приводит к возникновению изгибающих сил.
разнонаправленные склоны волн в оконечностях корпуса создают скручивающие силы.



Судно на гребне: силы поддержания сосредоточены в центре; вес оконечностей не уравновешивается силами поддержания



Наблюдается **перезгиб** корпуса



Судно на подошве: силы поддержания сосредоточены в оконечностях; вес середины корпуса не уравновешивается силами поддержания



Наблюдается **прогиб** корпуса

При плавании на встречной волне:



- существенно снижается скорость
- наблюдается **слеминг** – удары волн о днище
Сильная килевая качка приводит к периодическому оголению днища носовой оконечности.
При ударе волны в оголенное днище происходит деформация обшивки, а иногда и разрыв обшивки.
- наблюдается **випинг**– удары волн в носовой подзор:
 - возникает вибрация корпуса,
 - деформируется (а иногда и разрушается) обшивка,
 - происходит забрызгивание и заливание верхней палубы, что может приводить к порче палубного груза. Наиболее опасно при отрицательных температурах воздуха, когда забрызгивание и заливание приводят к обледенению судна.

При плавании на попутной волне:

При попутном волнении опасность представляют волны, длина которых соизмерима с длиной судна, т.е.:

$$0,6L \leq \lambda \leq 2,3L$$

При этих условиях возможно:

- уменьшение остойчивости, иногда приводящее к опрокидыванию;
- **бродинг** – захват волной судна с последующим разворотом его лагом к волне, что также может привести в дальнейшем к опрокидыванию под ударами волн в борт.

Брочинг

Когда судно оказывается на переднем склоне попутной волны, имеющей длину, соизмеримую с длиной судна, возникает явление **сёрфинга** – соскальзывания к подошве волны.

Длительное нахождение на гребне попутной волны резко снижает эффективность пера руля.

Скатываясь к подошве волны судно воспринимает сильное воздействие несимметричного волнового профиля с левого и правого бортов, что создает поперечные силы, вращающие судно относительно вертикальной оси.

Возникает **брочинг** – разворот судна лагом к волне.

Такое явление наблюдается при курсовых углах:

$$135^\circ < \varphi < 225^\circ$$

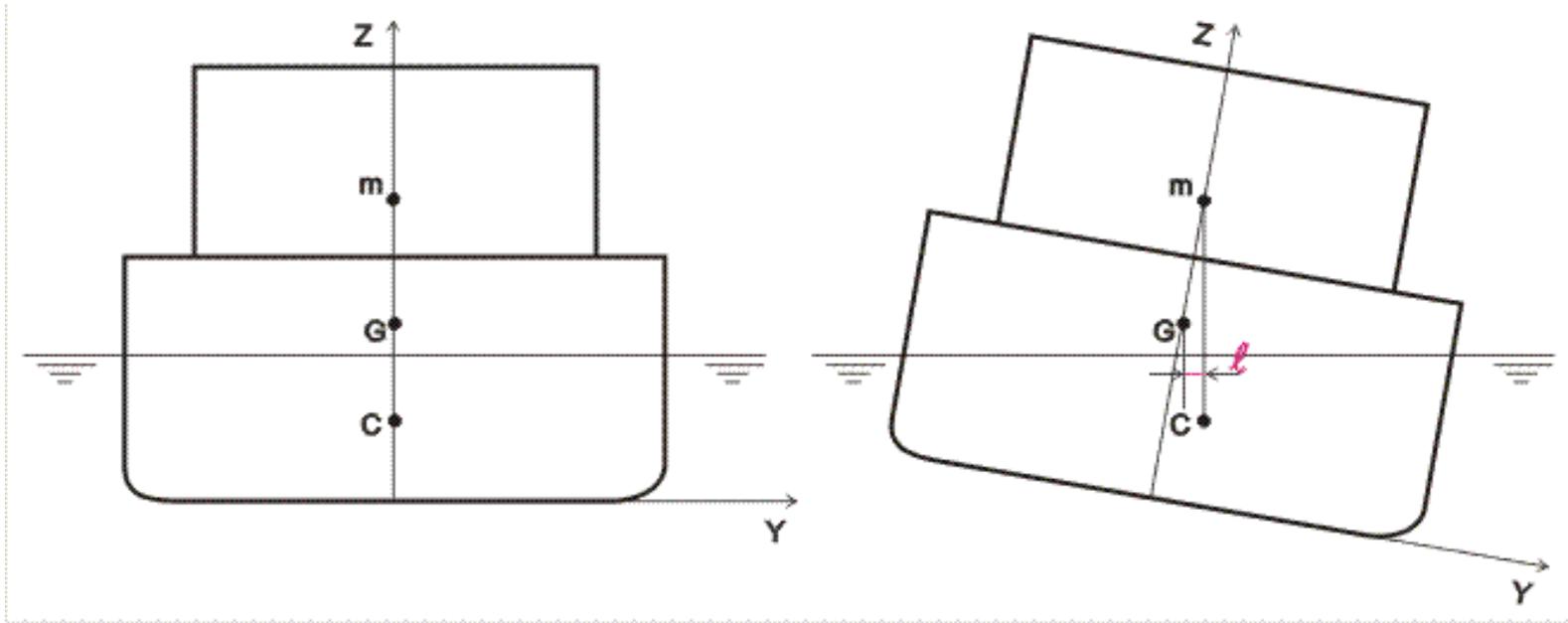
и скорости судна (узлы), превышающей:

$$V_c \geq (1.8 \sqrt{L}) / \cos(180 - \varphi)$$

бровичинг



Опасность опрокидывания



Чем глубже судно погружено, тем меньше удельная доля перемещающегося при накренивании погруженного объема корпуса по отношению ко всему погруженному объему, и тем меньше смещение центра величины от диаметральной плоскости (по оси Y).

При прохождении гребня волны через середину корпуса центр величины C поднимается вверх с уменьшением смещения от ДП, а следовательно, и к уменьшению плеча восстанавливающего момента l .

Опасность опрокидывания

Опасность опрокидывания тем вероятнее, чем дольше судно находится на гребне волны.

При плавании на встречном волнении гребень проходит достаточно быстро, и судно не успевает отреагировать на потерю устойчивости.

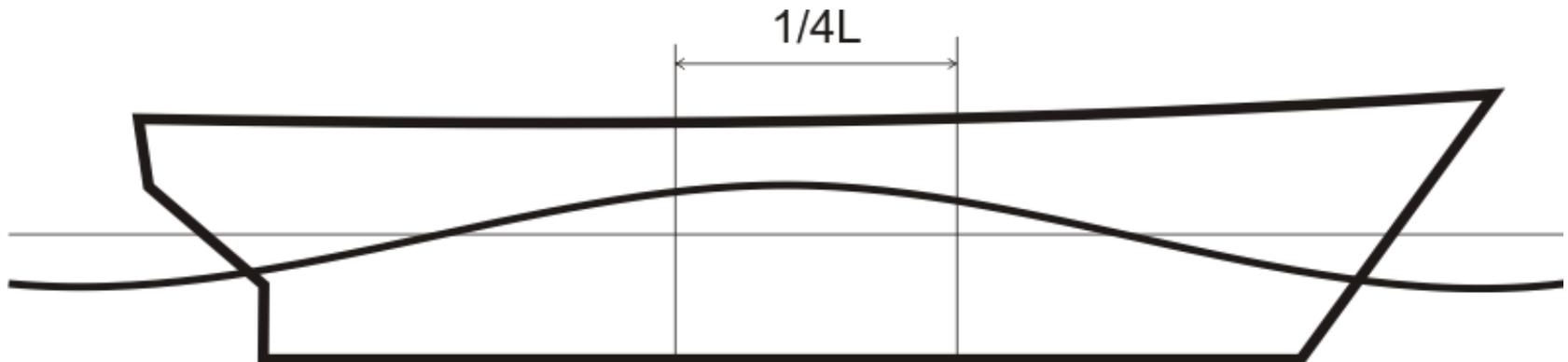
При попутном волнении чем ближе совпадают скорости бега волн и судна, тем дольше судно задерживается на гребне.

Судно успевает отреагировать на потерю устойчивости, если среднюю четверть длины корпуса гребень проходит за время, превышающее половину периода бортовой качки:

$$t \geq 0.5 T_{\theta},$$

или когда кажущийся период волны:

$$\tau \geq 2 T_{\theta}$$



Опасность опрокидывания

Внешними признаками ситуации, при которых возможно опрокидывание, являются:

- существенное замедление периода бортовой качки;
- быстрое нарастание крена на гребне волны (судно как бы теряет опору),
- глубокие зарыскивания и
- слабая реакция на перекладку руля.

При появлении указанных признаков в качестве первой меры предосторожности необходимо **экстренно снизить скорость**.

Кажущаяся скорость волны должна составлять несколько узлов.