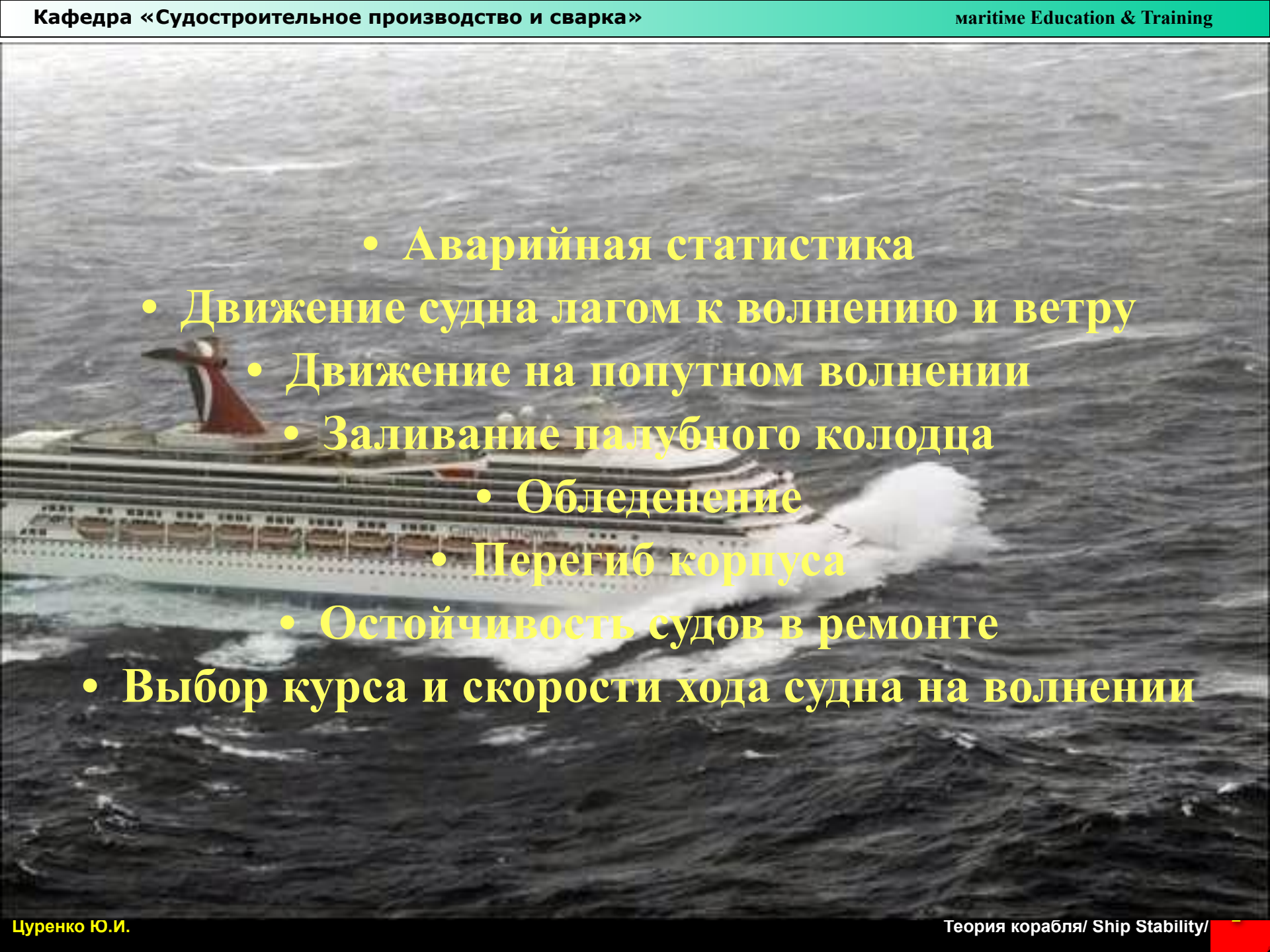


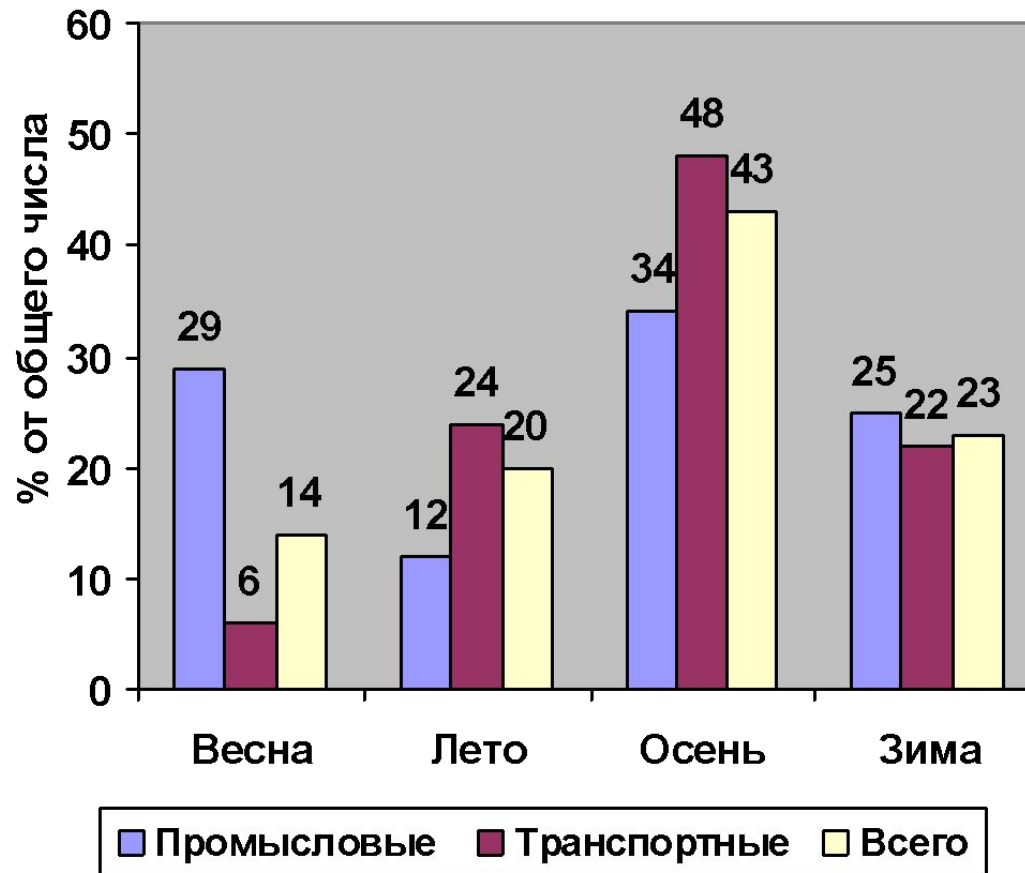
Остойчивость судна в различных условиях плавания



- 
- Аварийная статистика
 - Движение судна лагом к волнению и ветру
 - Движение на попутном волнении
 - Заливание палубного колодца
 - Обледенение
 - Перегиб корпуса
 - Остойчивость судов в ремонте
 - Выбор курса и скорости хода судна на волнении

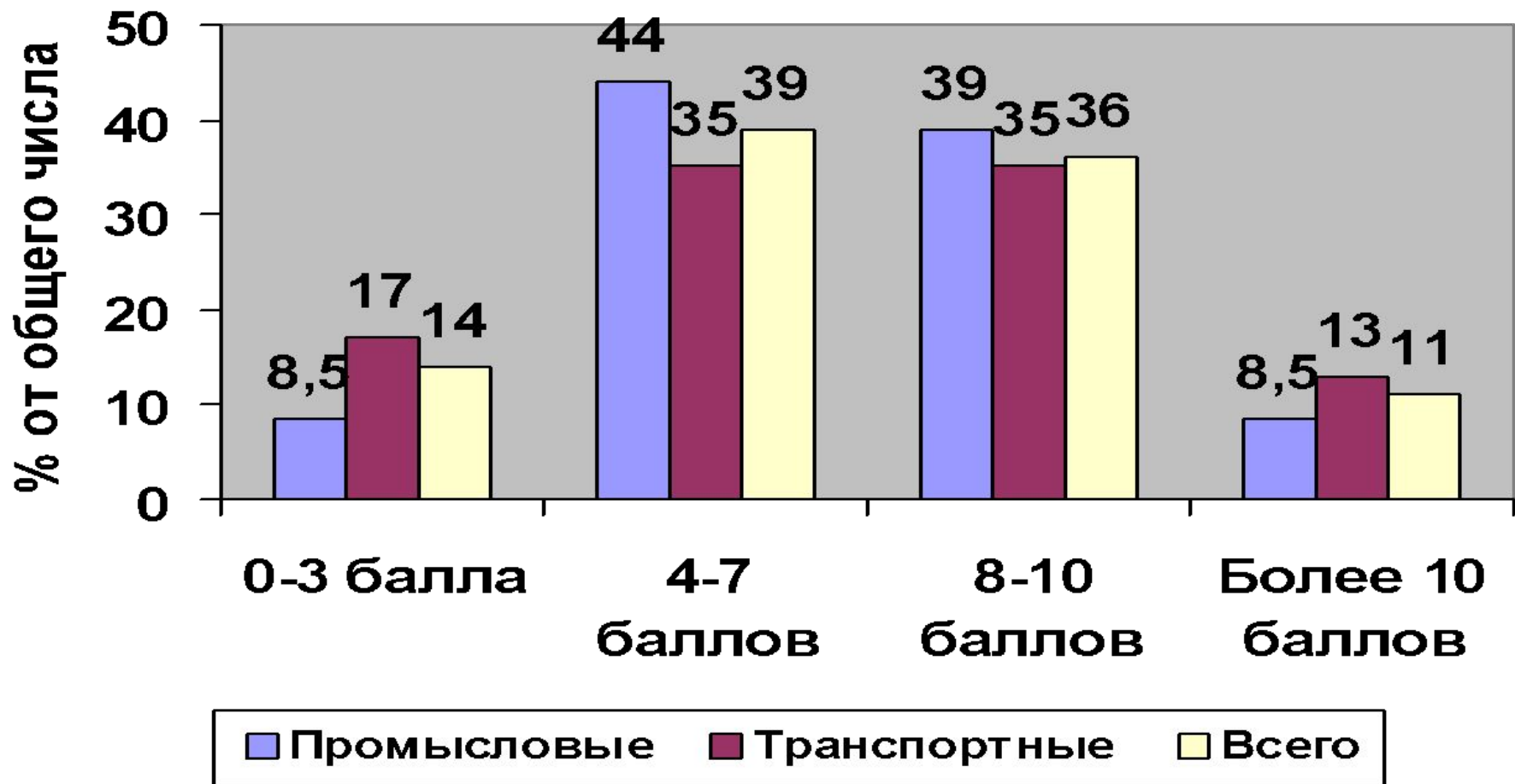
Что говорит статистика гибели судов от опрокидывания?

Распределение аварий по сезонам



Что говорит статистика гибели судов от опрокидывания?

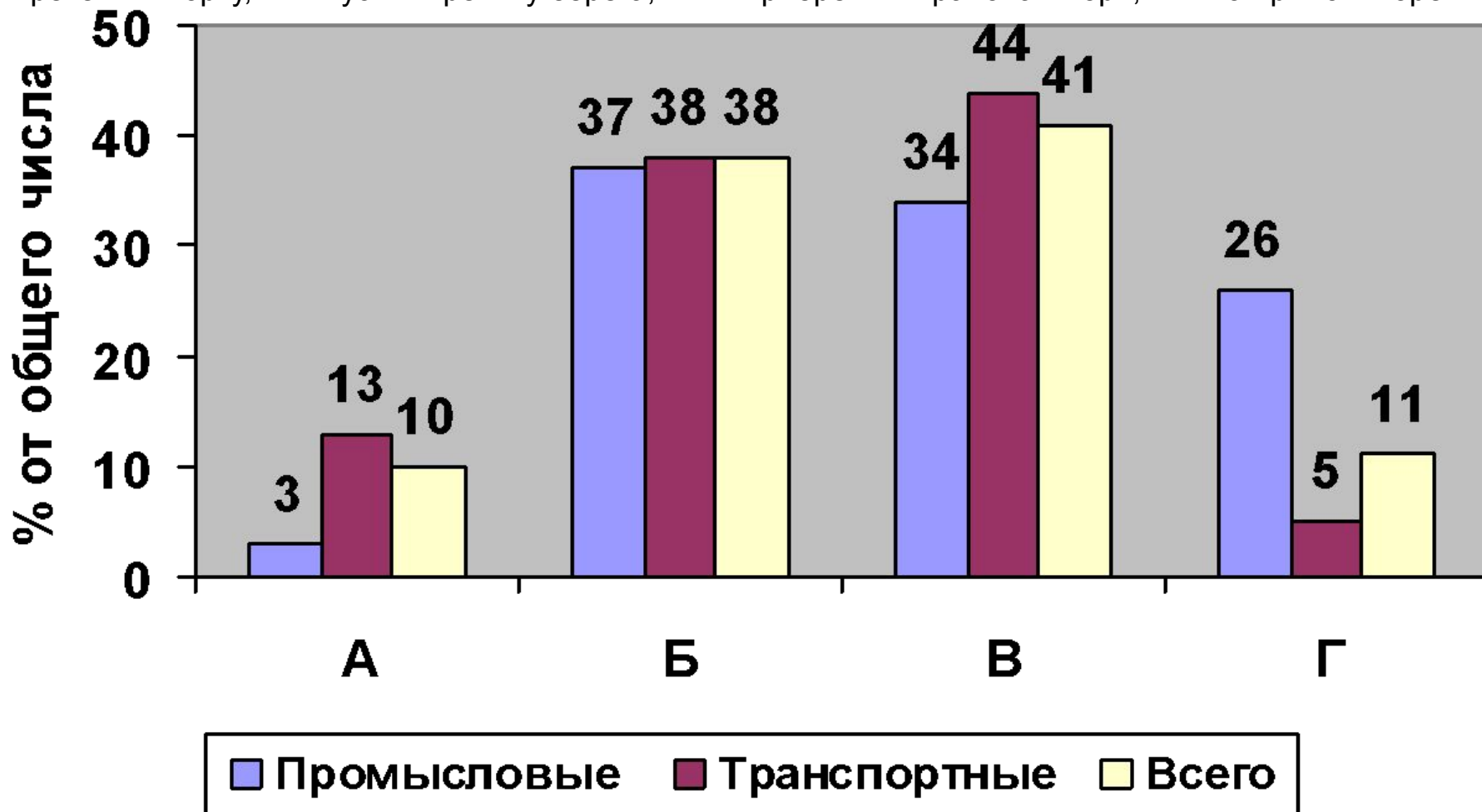
Сила шторма (по Бофорту)



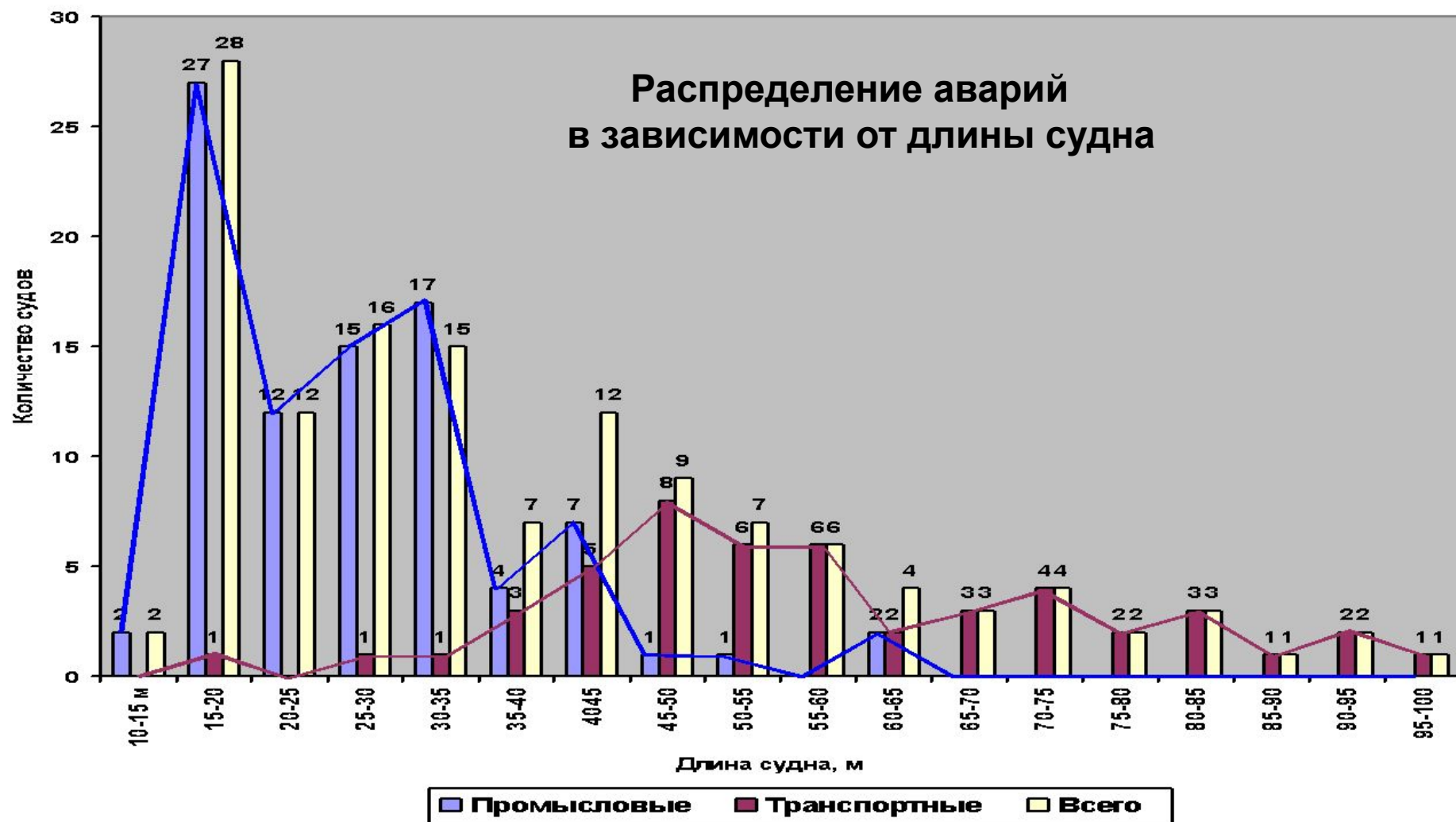
Что говорит статистика гибели судов от опрокидывания?

Место аварий

А – в реке или порту, Б – в устьях рек и у берега, В – в прибрежных районах моря, Г – в открытом море.

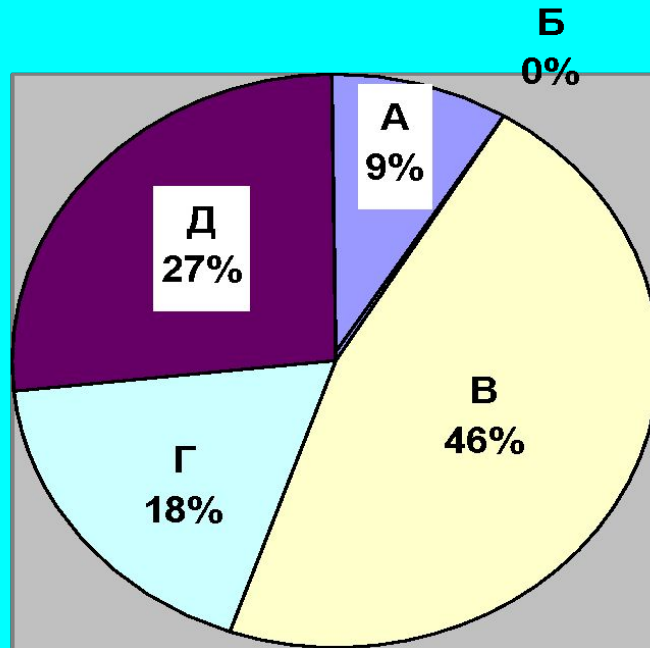


Что говорит статистика гибели судов от опрокидывания?

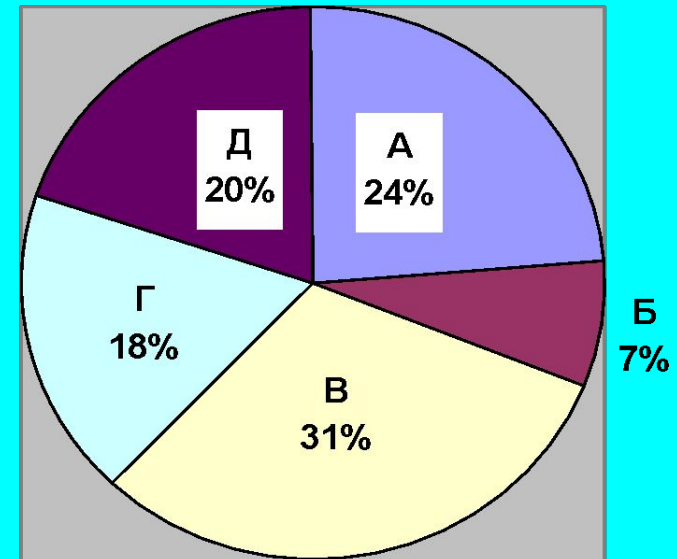


Что говорит статистика гибели судов от опрокидывания?

Промысловые суда



Транспортные суда



Направление ветра и волн:

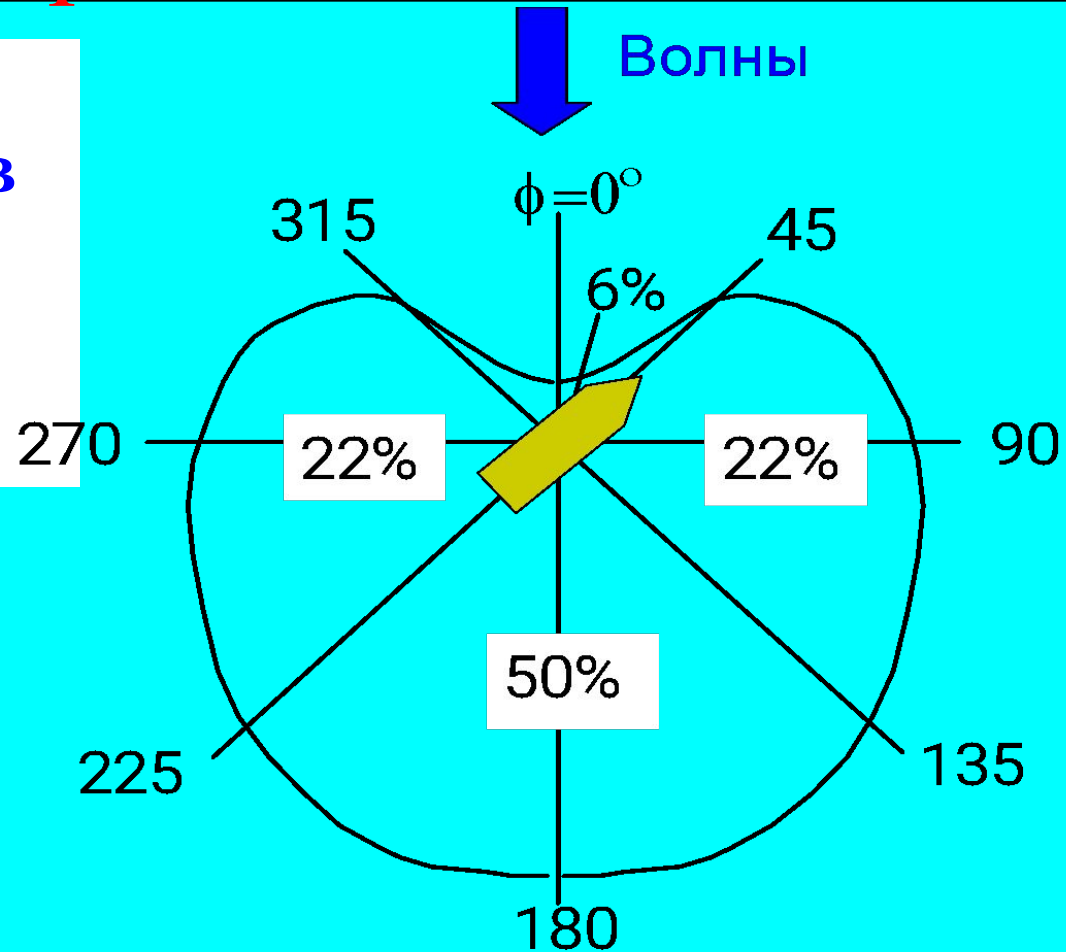
А – штиль, Б – встречные курсы ($0 \pm 45^\circ$),

В – с борта ($90^\circ \pm 45^\circ$ и $270^\circ \pm 45^\circ$),

Г – в кормовую четверть, Д – попутное волнение.

Что говорит статистика гибели судов от опрокидывания?

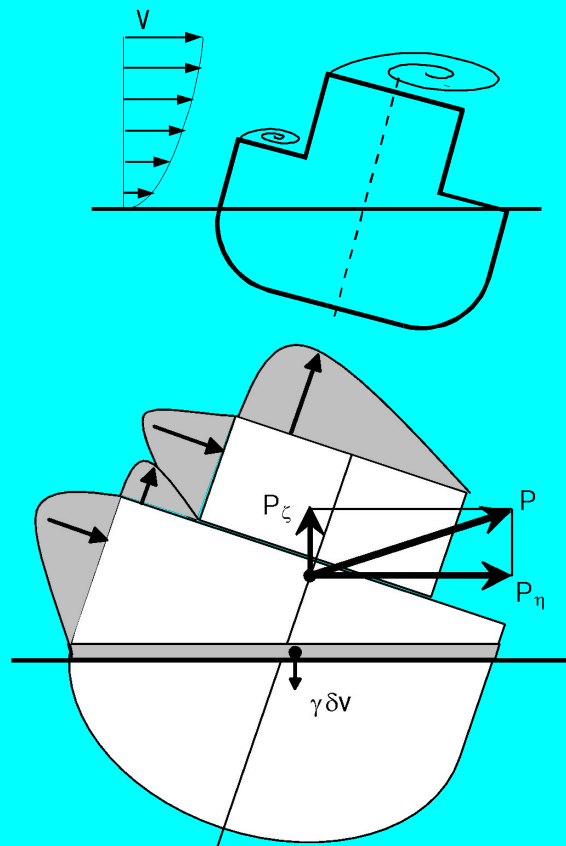
- Распределение погибших судов по курсовым углам



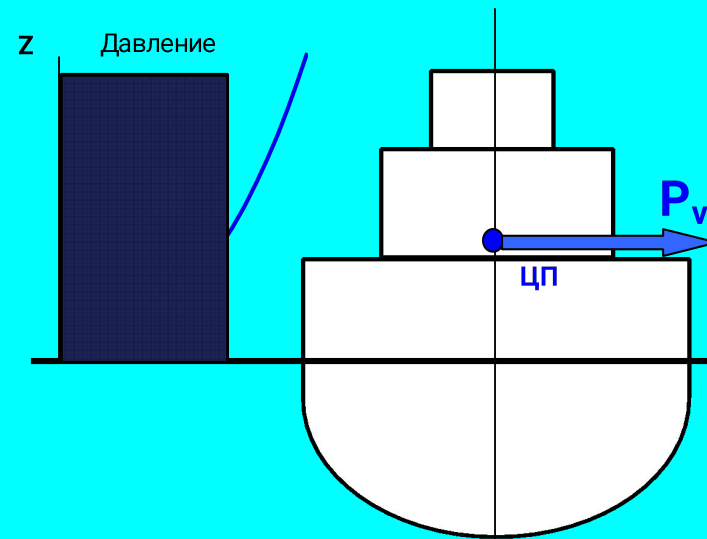
Движение судна лагом к волнению и ветру

- Как образуется кренящий момент от ветра?
- Сила давления ветра находится как
- $P_v = p_v A_v$ $p_v = k C_x \rho u^2 / 2$, где
- p_v - давление ветра на высоте центра парусности, [кПа],
- A_v - площадь парусности, м².
- k - квадрат коэффициента порывистости ветра; принимается $k=1.5$;
- C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления; принимается $C_x=1.3$;
- ρ - плотность воздуха; принимается $\rho = 1.226 \cdot 10^{-3}$ т/м³;
- u - средняя эквивалентная скорость ветра; принимается в зависимости от силы ветра в баллах

Действие ветра на судно



Осреднение давления
по высоте



Действие ветра на судно

- **Статический ветер**

Кренящий момент образуется

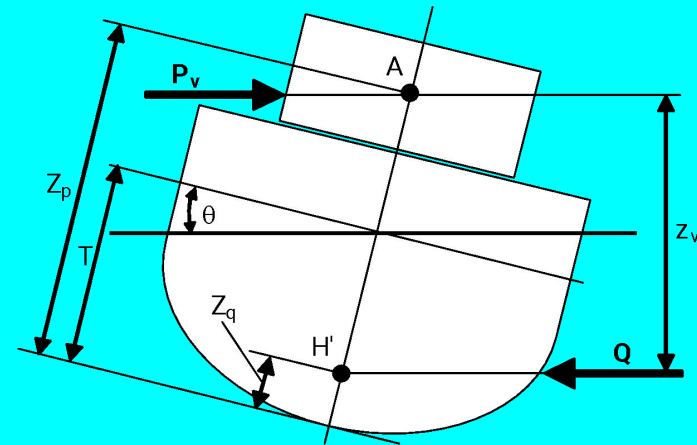
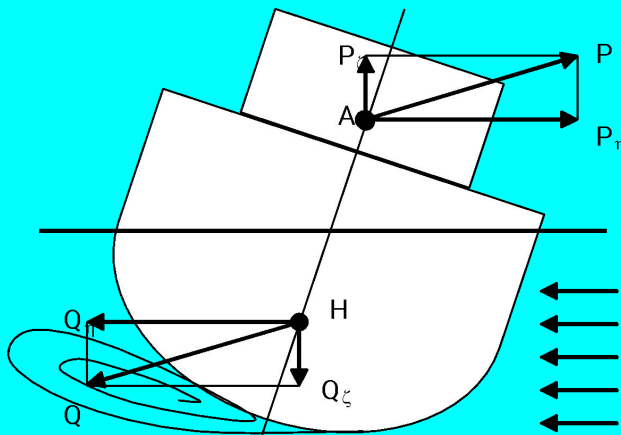
парой сил:

- силой давления ветра и
- силой сопротивления воды при дрейфе лагом

Статический ветер

Под действием **силы ветра P** судно начинает дрейфовать. По мере возрастания скорости дрейфа увеличивается **сила сопротивления дрейфу Q** и величина кренящего момента.

Для упрощения расчётов обычно обе эти силы считают горизонтальными.

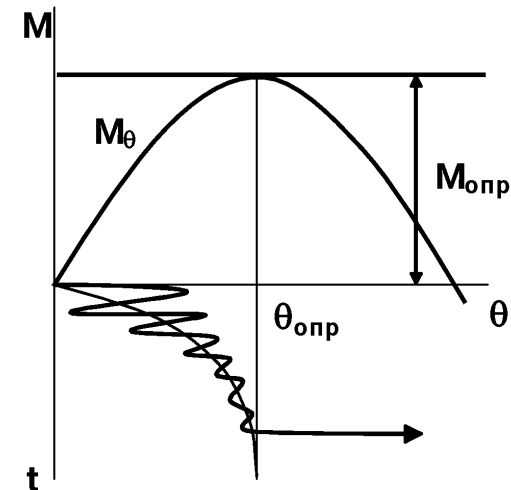
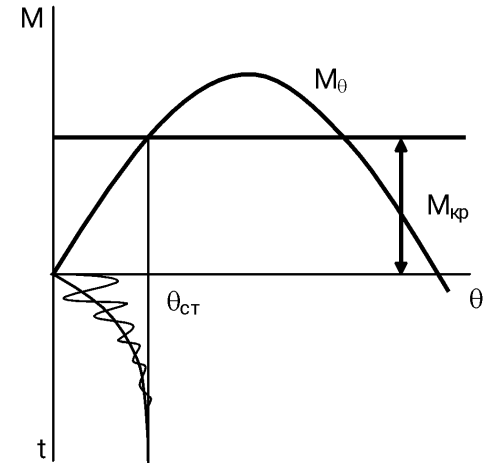


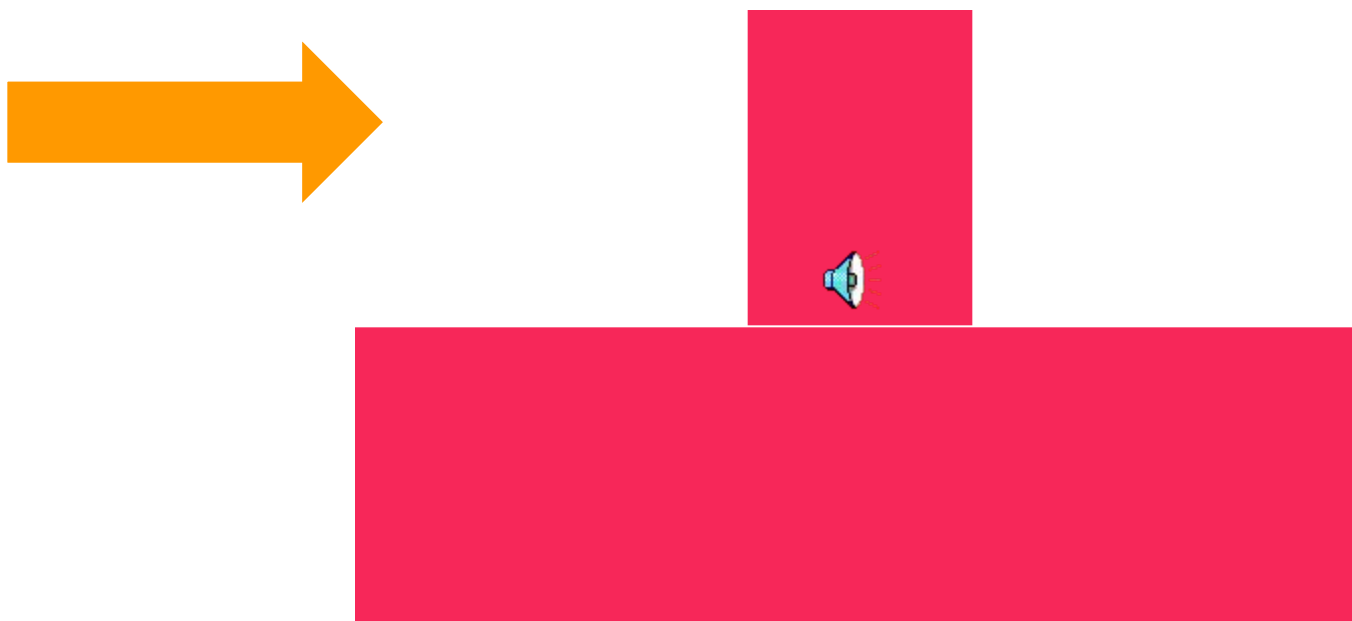
Статический ветер

- Накренение происходит до тех пор, пока не сравняются
кренящий и
восстанавливающий
моменты

Накренение и опрокидывание судна статическим ветром

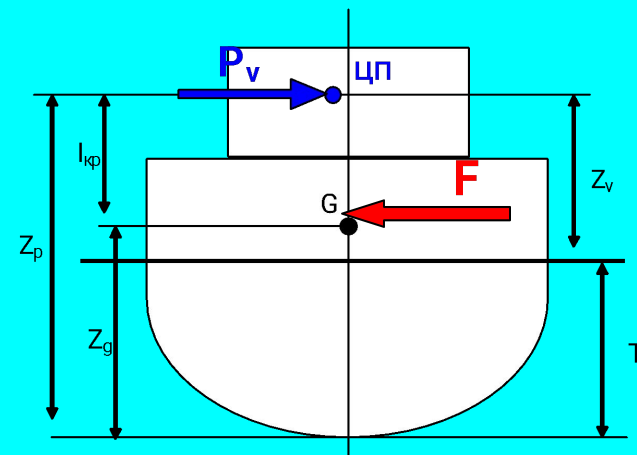
- Под действием ветра и волн судно совершает небольшие колебания вокруг постепенно увеличивающегося «псевдостатического» угла крена
- Опрокидывание, если происходит, то происходит «в статике» в n -ном размахе





Действие ветра на судно

- **Динамический ветер (шквал)**
- Кренящий момент образуется парой сил:
- силой давления ветра P_v и
- силой инерции массы судна F

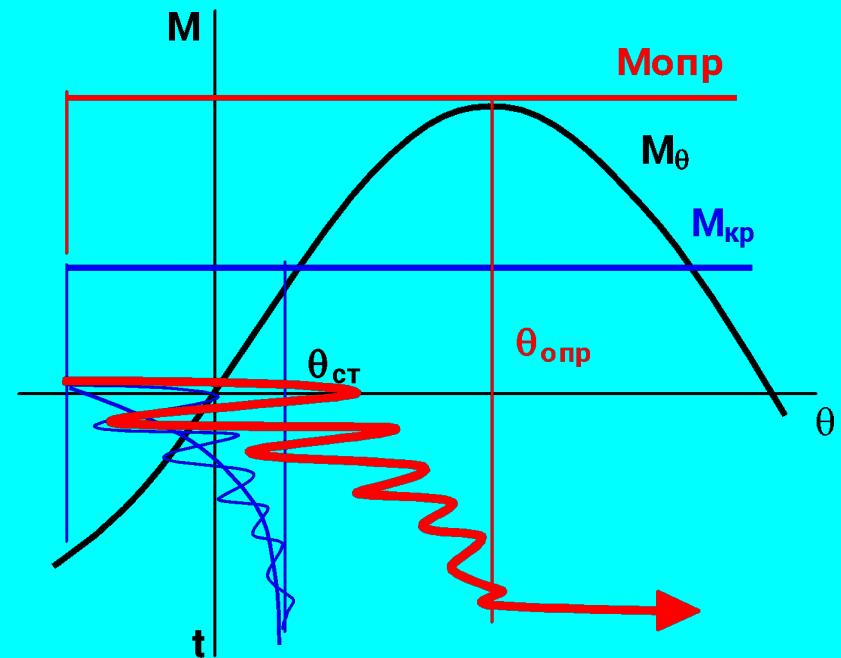


Динамический ветер (шквал)

- Накренение происходит до тех пор, пока не сравняются работы кренящего и восстанавливающего моментов (динамический угол крена)
- В этот момент судно на мгновение остановится и начнёт крениться в противоположную сторону
 - Постепенно колебания затухнут и судно остановится со статическим углом крена
- Накренение и опрокидывание низкобортных и высокобортных судов происходит по разному

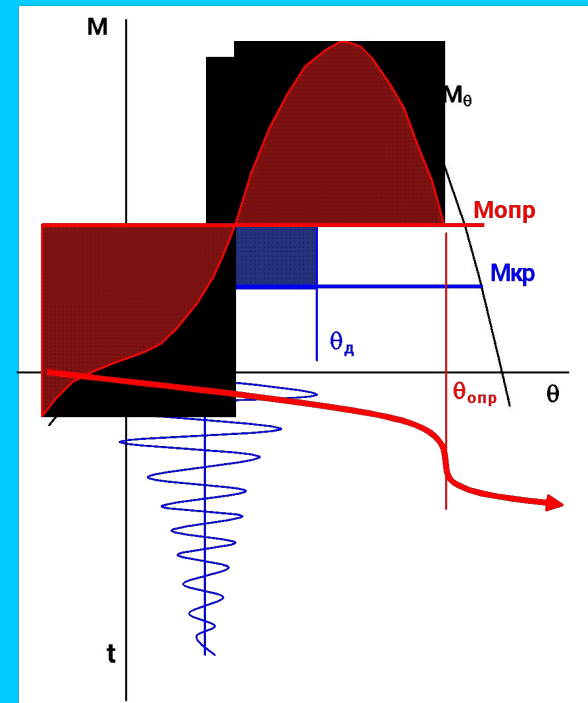
Накренение и опрокидывание низкобортных судов

- Опрокидывание низкобортных судов под действием качки и динамического кренящего момента происходит после нескольких размахов (если вообще происходит)



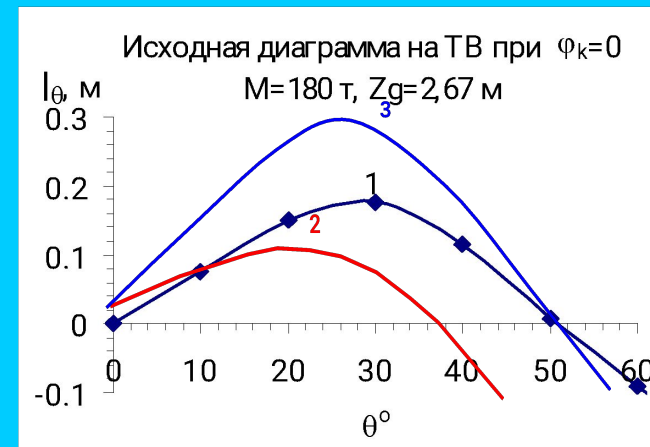
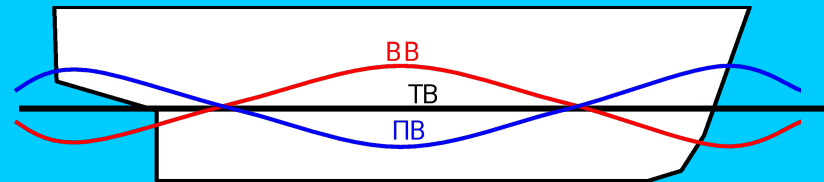
Накренение и опрокидывание высокобортных судов

- У высокобортных судов, если опрокидывание происходит, то оно происходит в первом же размахе



Движение на попутном волнении

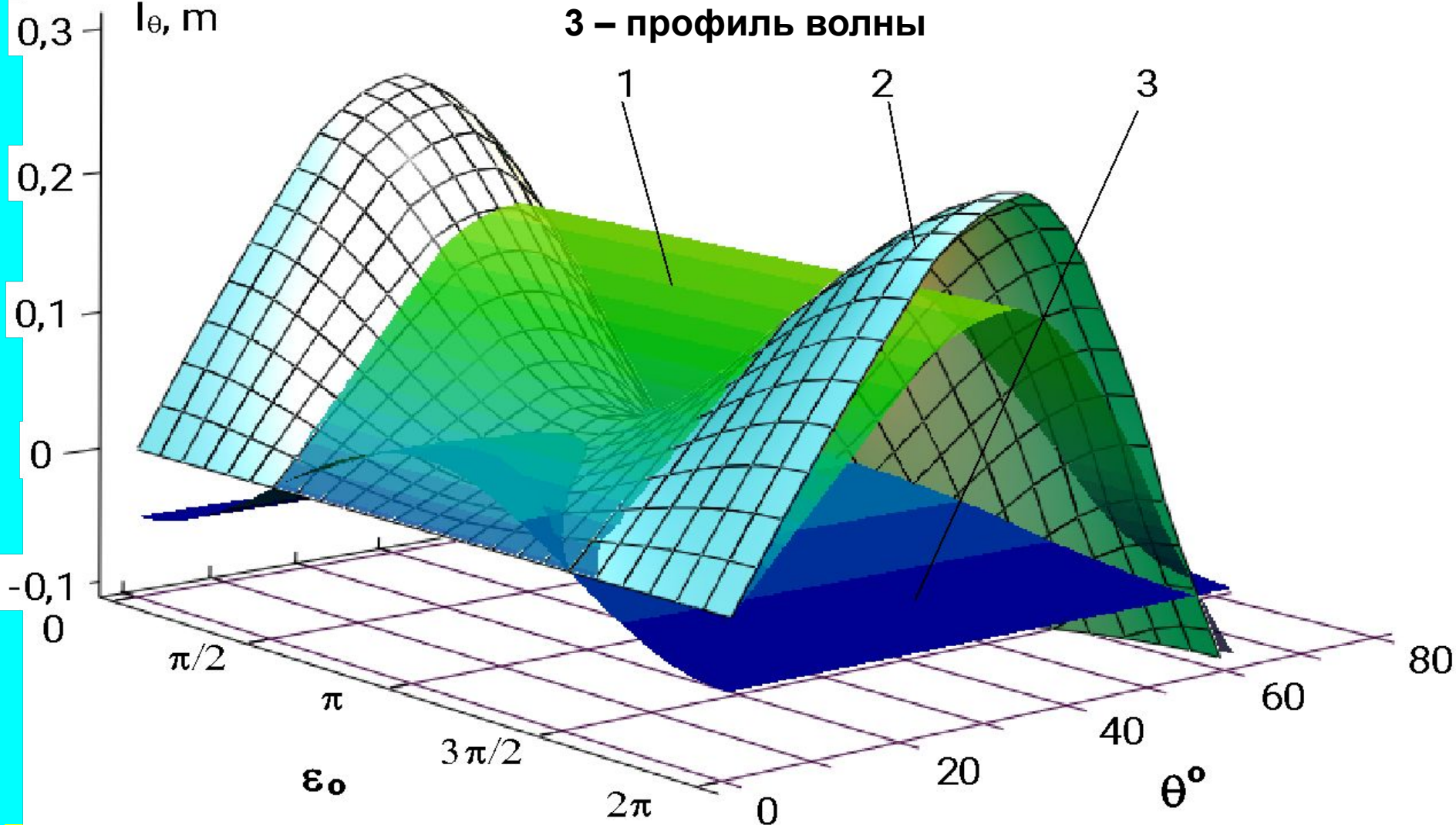
- При движении на попутном волнении особенно, когда длина судна близка к длине волны, по мере прохождения вершины волны вдоль судна существенно меняется диаграмма статической остойчивости



1 – ТВ, 2 – ВВ, 3 – ПВ

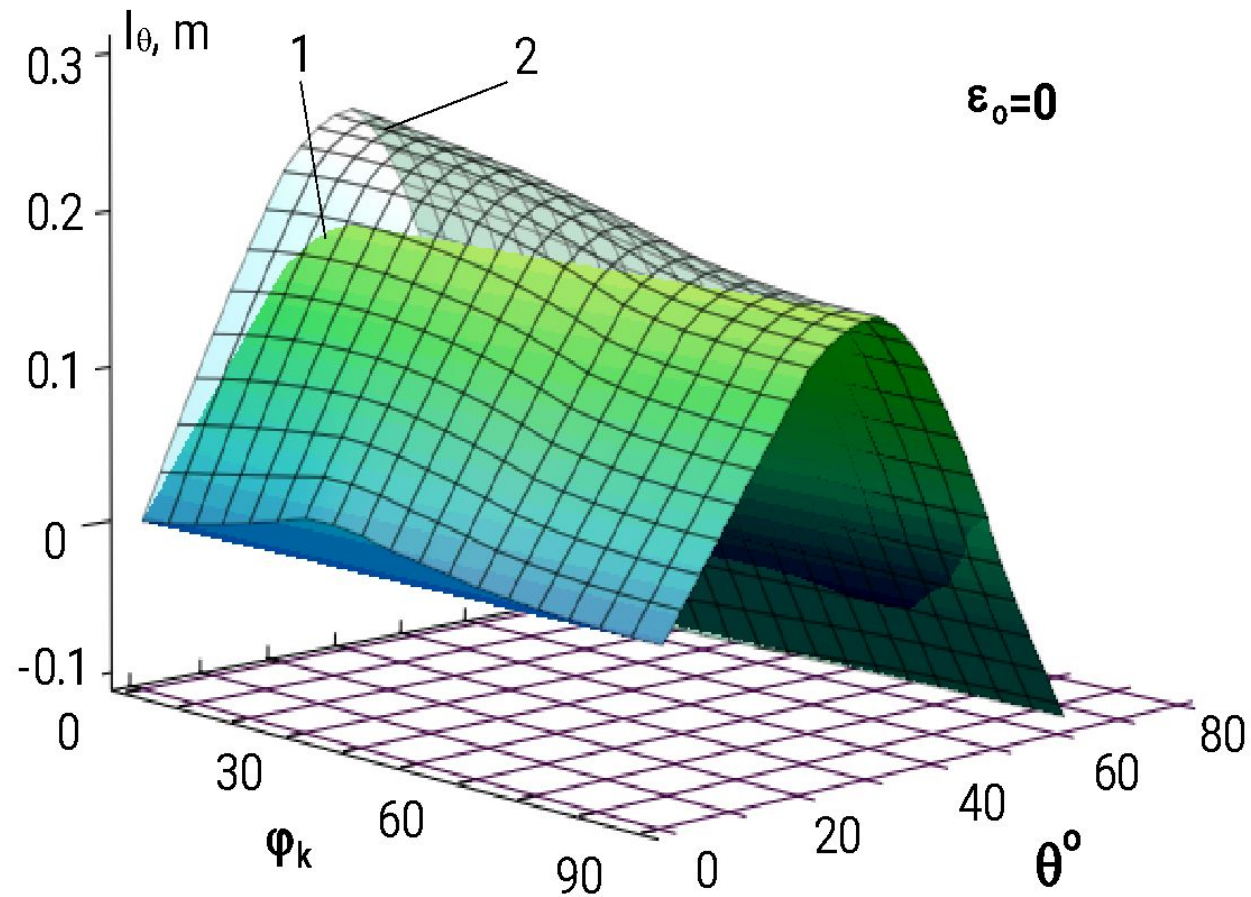
Движение на попутном волнении

Влияние фазы волны на ДСО : 1 – на тихой воде; 2 – на волнении;
 I_{θ} , т 3 – профиль волны



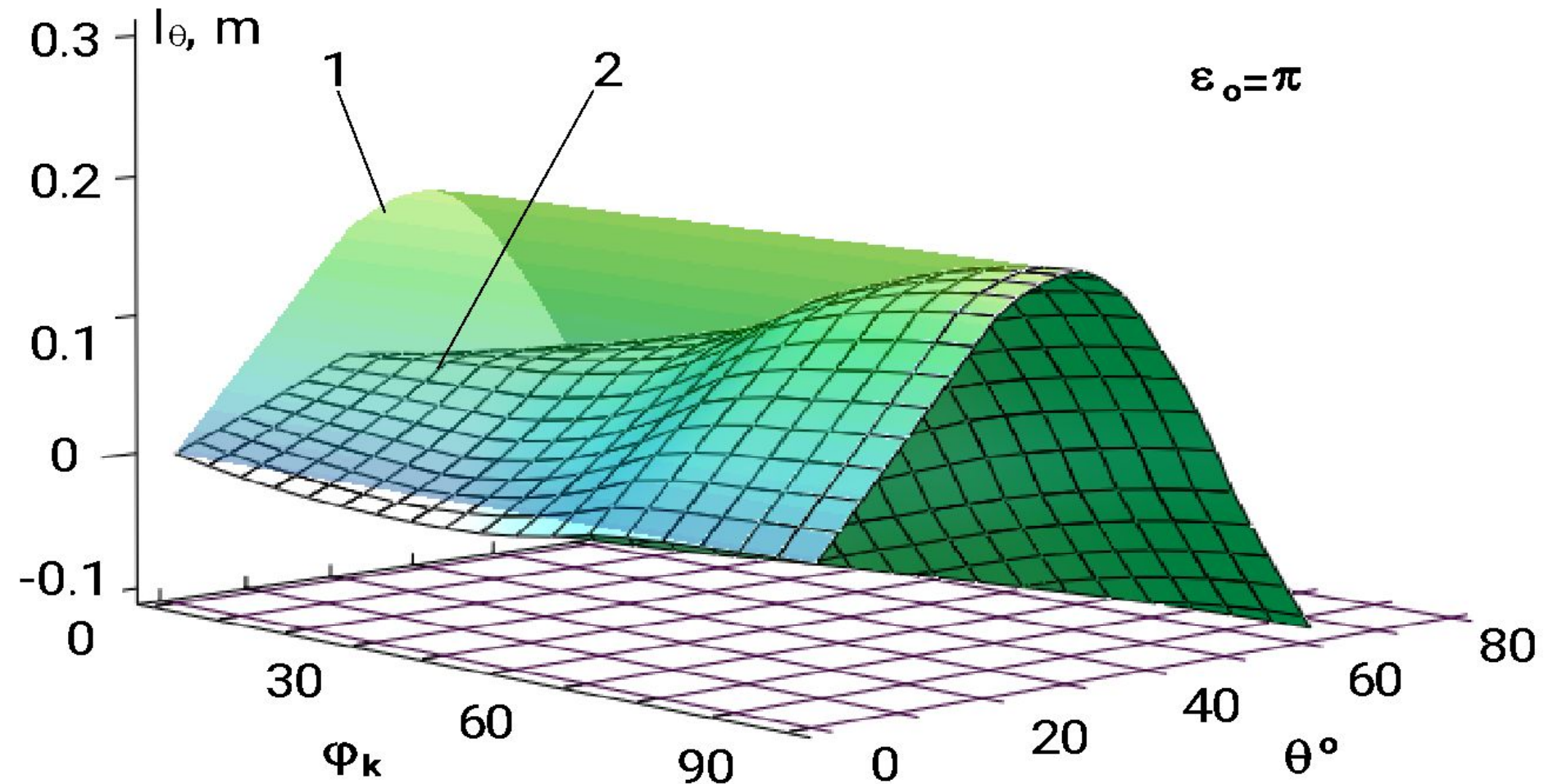
Движение на попутном волнении

- Положение судна на косом волнении при различных курсовых углах также существенно сказывается на диаграмме статической остойчивости



Подощва волны

Движение на попутном волнении



Вершина волны

Движение на попутном волнении

- При движении на попутном волнении судно, как правило, становится **неустойчивым на курсе**, а при периодически оголяющемся руле – и **плохо управляемым**. Может произойти внезапный неконтролируемый разворот судна лагом к волнению (бродинг). При этом возникают большие центробежные силы, и судно получает опасный крен на подветренную сторону.

Движение на попутном волнении

- При движении на продольном волнении периодически меняется остойчивость судна в том числе его метацентрическая высота. Это может привести к возникновению так называемых **параметрических** колебаний. Амплитуды бортовых колебаний при возникновении параметрического резонанса могут достигать очень больших величин. При этом может начаться смещение грузов.

Движение на попутном волнении

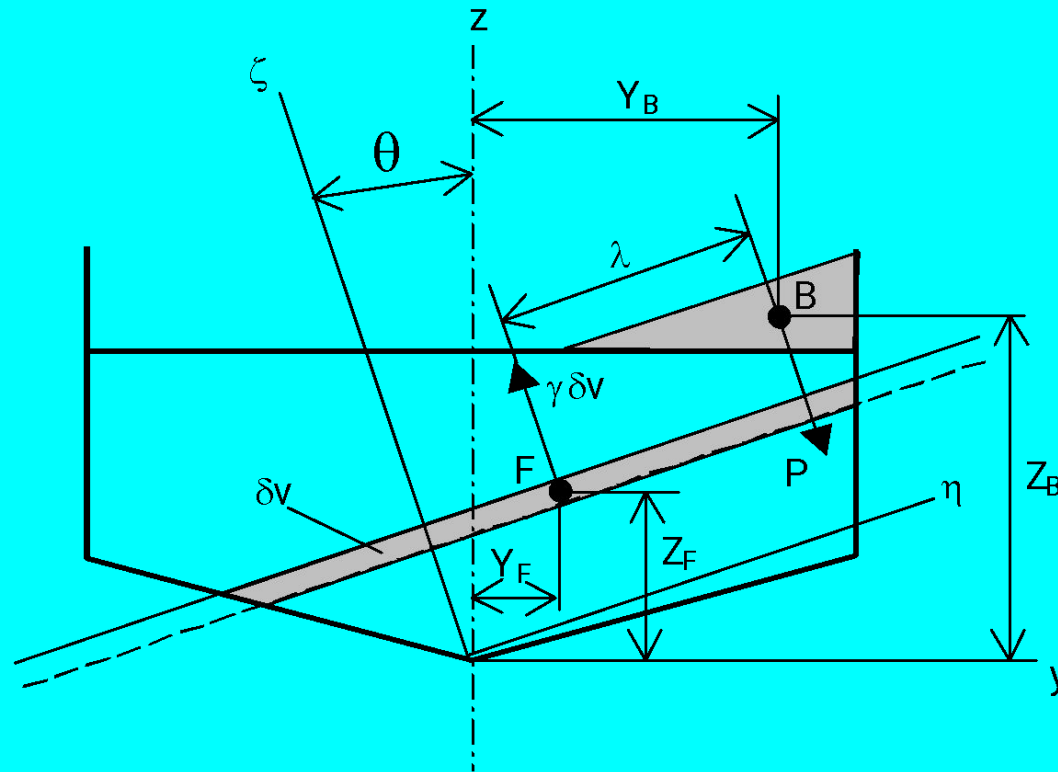
- Во всех этих случаях ситуация может усугубиться при залипании водой палубного колодца.
- Всё это и обуславливает такую большую аварийность на попутном волнении особенно для малых судов, так как они чаще встречают волны соответствующей длины.



Заливание палубного колодца



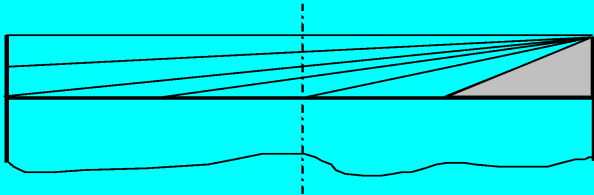
Заливание палубного колодца



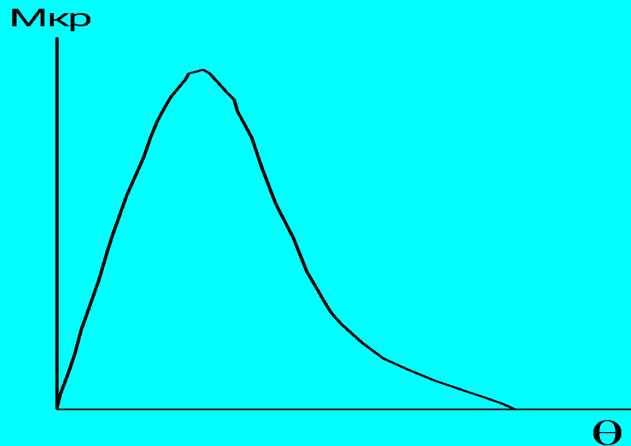
- $M_{кр} = P\lambda = P [(Y_B - Y_F)\cos\theta + (Z_B - Z_F)\sin\theta]$

Заливание палубного колодца

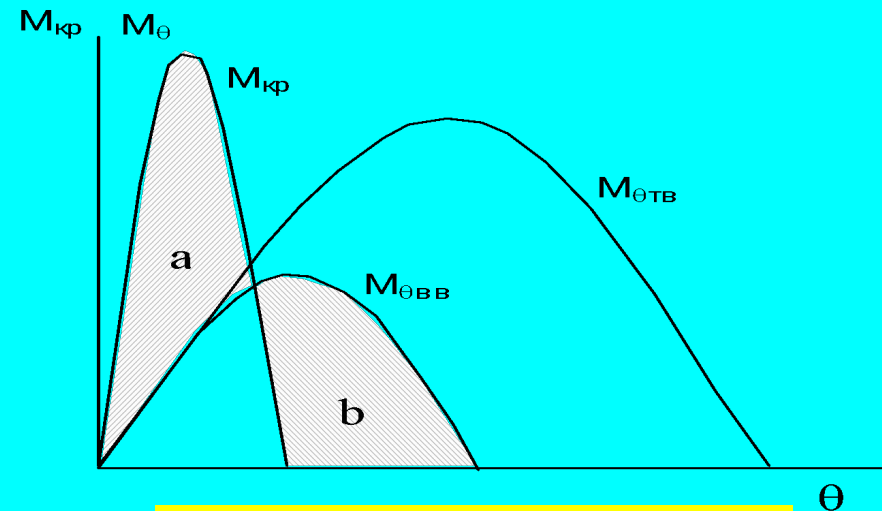
Слив воды через планширь



Кренящий момент от воды в палубном колодце



Кренящий момент от воды действует динамически и надо сравнивать работу кренящего и восстанавливающего моментов



Если $b > a$, судно не должно опрокинуться

Заливание палубного колодца. Выводы

- Величина кренящего момента зависит не только от угла крена (сколько воды успевает слиться через планширь), но и от размеров и конструкции штормовых портиков (сколько воды успеет слиться через портики).
- Сплошной фальшборт, образующий палубный колодец, является опасной конструкцией. Необходимо применять фальшборт съемной конструкции, или заменять его леерным или сетчатым ограждением.
- Штормовые портики требуемых нормами размеров при заливании палубного колодца являются малоэффективными.

Движение на попутном волнении

- Наиболее эффективная борьба со всеми этими опасностями – стараться не попадать в них.
- Кроме того, используются различные эксплуатационные ограничения, например, снижение скорости при движении на попутном волнении. Регистр рекомендует, чтобы

$$V_S \leq 1.4 \sqrt{L}$$

- здесь V_S – скорость судна в узлах, а L – длина судна в м.
- При таких скоростях снижается вероятность «захвата» судна попутной волной и его внезапного разворота лагом.

Обледенение



Обледенение

Малые суда подвержены обледенению сильнее, чем крупные. Поэтому в одинаковых гидрометеорологических условиях вероятность опрокидывания малого судна вследствие обледенения значительно выше, чем крупного.



Обледенение

- Нормы остойчивости предписывают проводить проверочные расчёты в предположении равномерного распределения льда по судовым поверхностям, исходя из **условно** принятого количества льда на единицу площади: **30 кг/м²** для горизонтальных поверхностей и **15 кг/м²** для площади парусности.



Обледенение

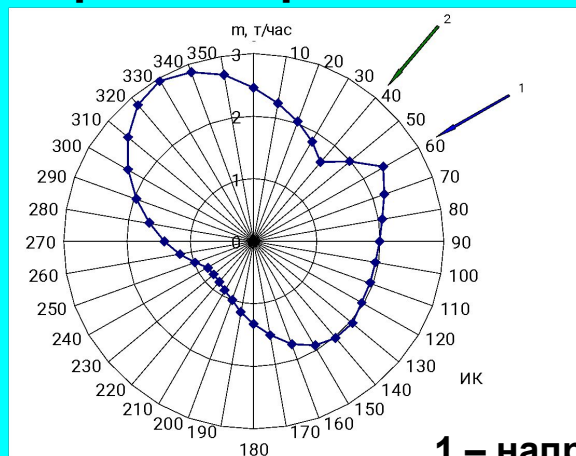
- Эта схема распределения льда весьма условна. Были отмечены случаи, когда действительное количество льда превышало расчётное в 2-4 и даже 10 раз. Кроме того, на палубе и палубных механизмах скапливается 50-65% льда, на бортах и фальшбортах 18-25%, на переборках надстроек 7-12%, на рангоуте и такелаже 8-15%, на прочих деталях 1-2%.

Поэтому любые нормы учёта обледенения следует рассматривать как некоторый условный минимум требований, а не как полную гарантию безопасности судна.



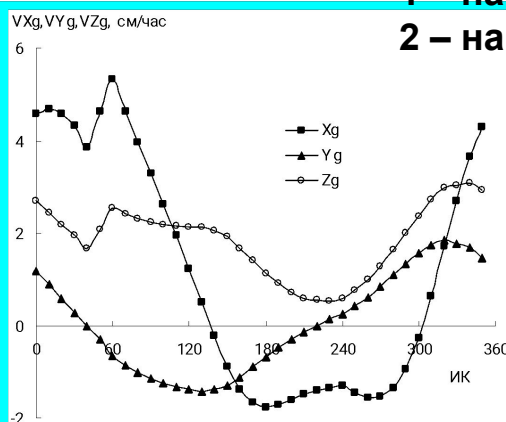
Обледенение

Скорость нарастания льда



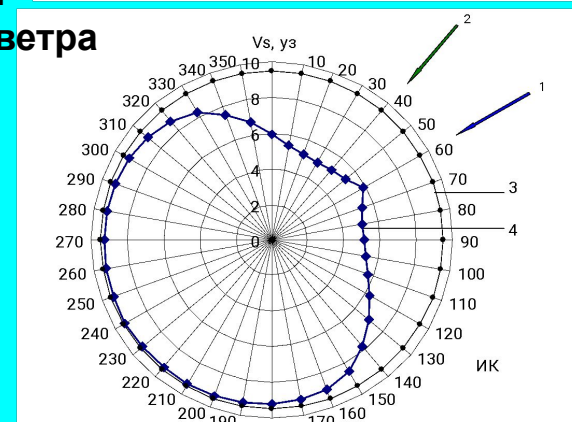
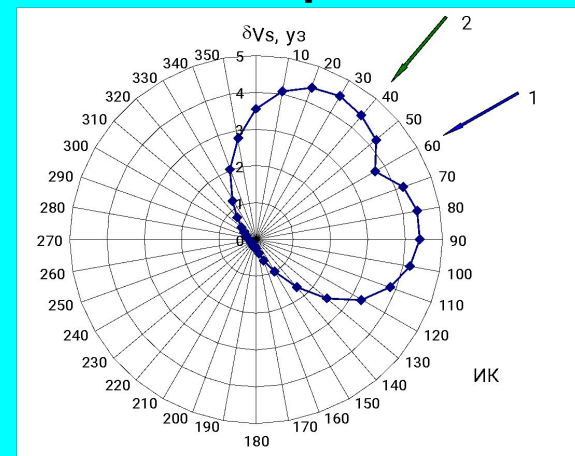
1 – направление бега волны

2 – направление истинного ветра



Скорость изменения координат ЦТ

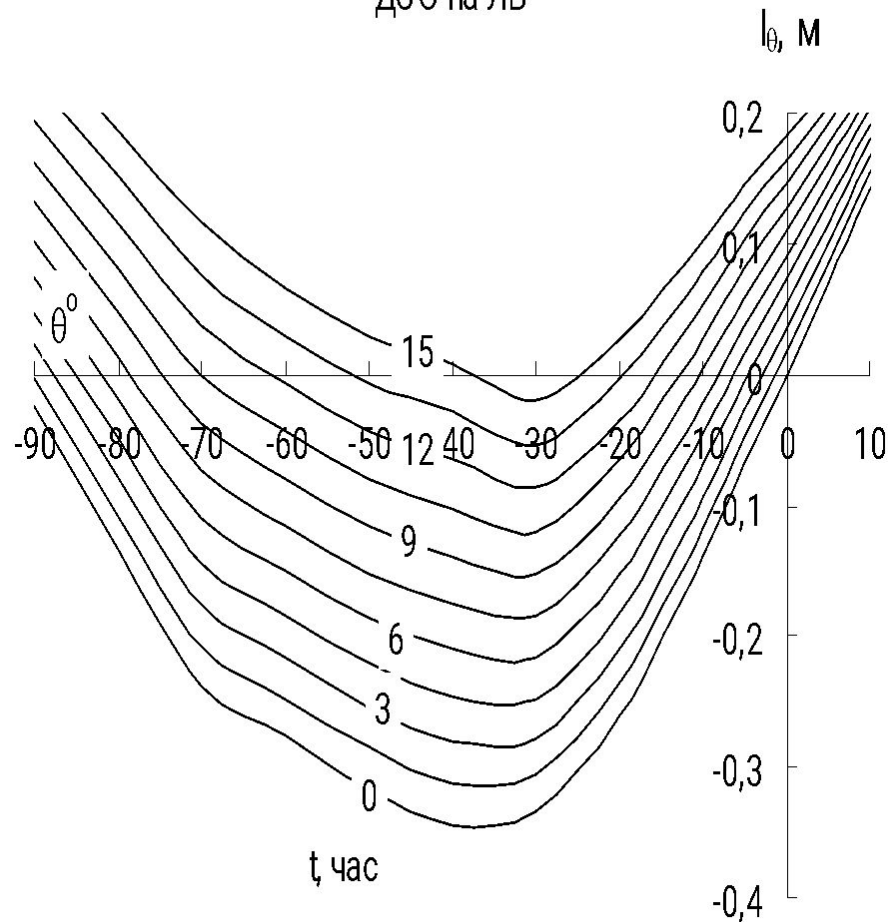
Падение скорости



Достижимая скорость

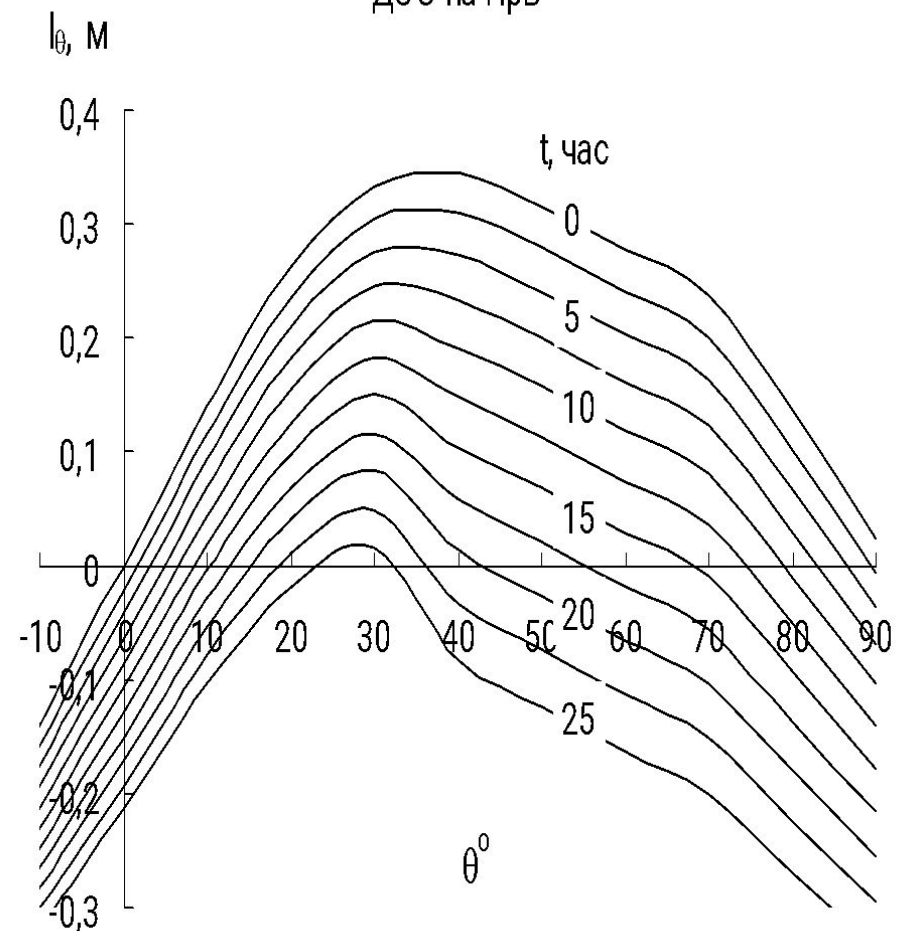
Обледенение

ДСО на ЛБ



вр

ДСО на ПрБ

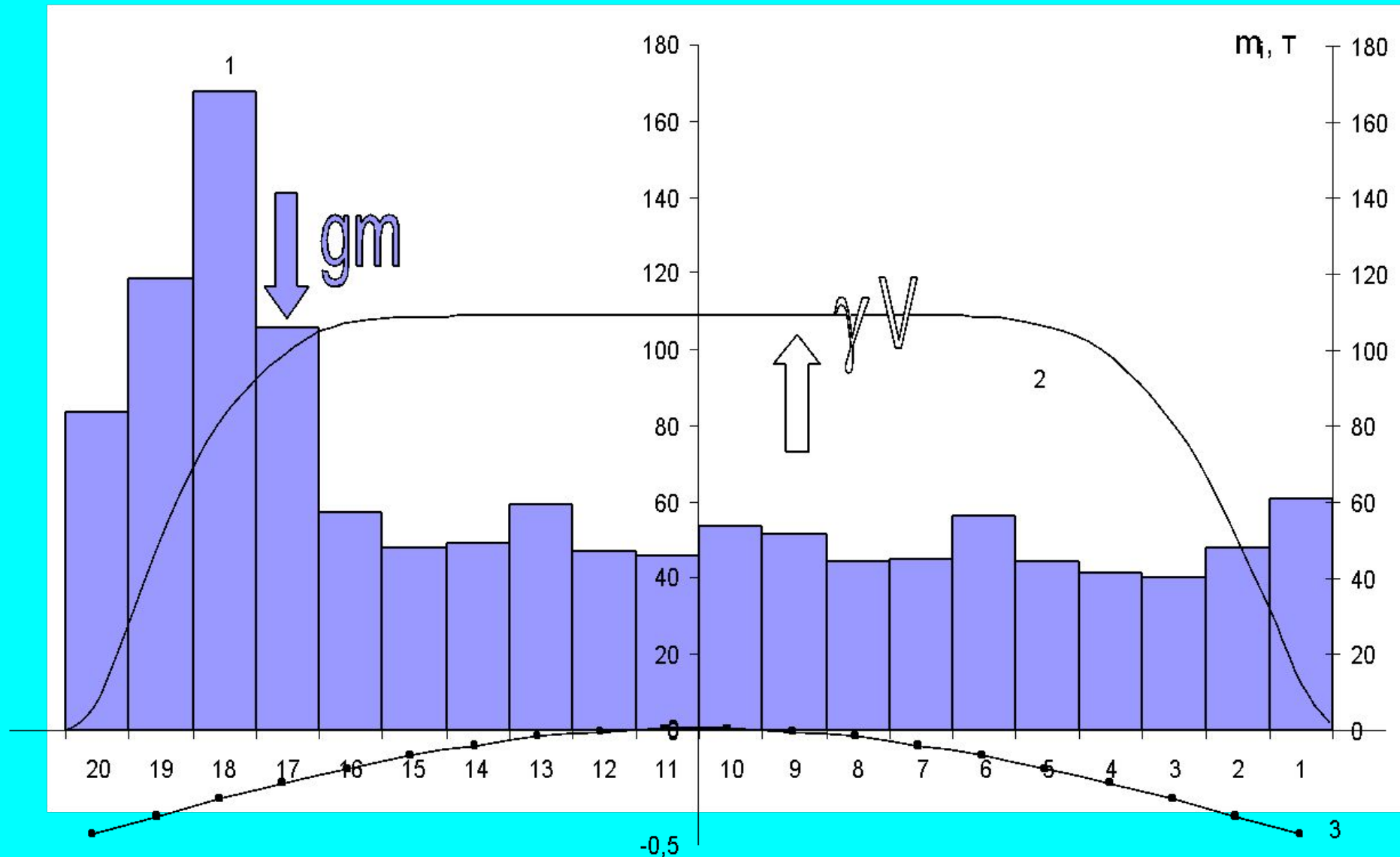


Остойчивость при перегибе корпуса



- Силы веса и силы поддержания на судне распределены весьма неравномерно. Это обычно создаёт в средней части судна избыток сил поддержания, а в оконечностях – избыток сил веса, что приводит к возникновению изгибающего момента, при котором средняя часть «вспучивается», а оконечности «провисают». Возникает **упругий** перегиб корпуса.

Остойчивость при перегибе корпуса

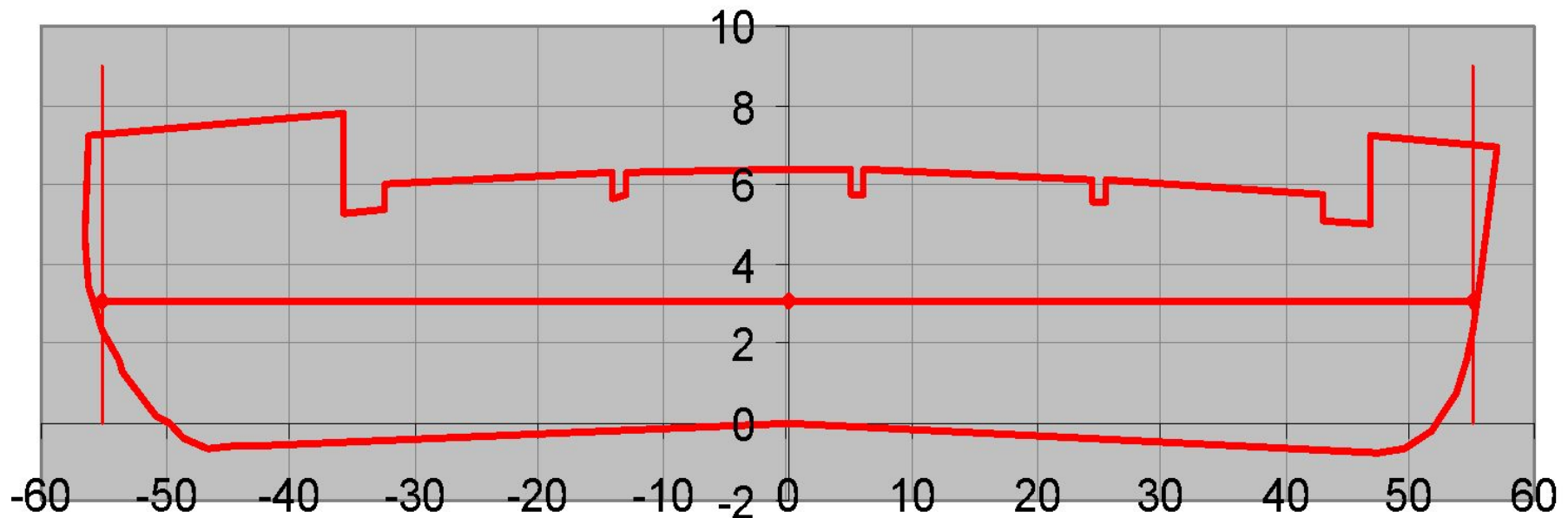


Остойчивость при перегибе корпуса

- **Постоянная** деформация корпуса приобретается в процессе эксплуатации судна и его ремонтов. Особенно большая деформация возникает при замене обшивки двойного дна на плаву.
- Стрелки перегиба могут достигать 0,5 м и более.

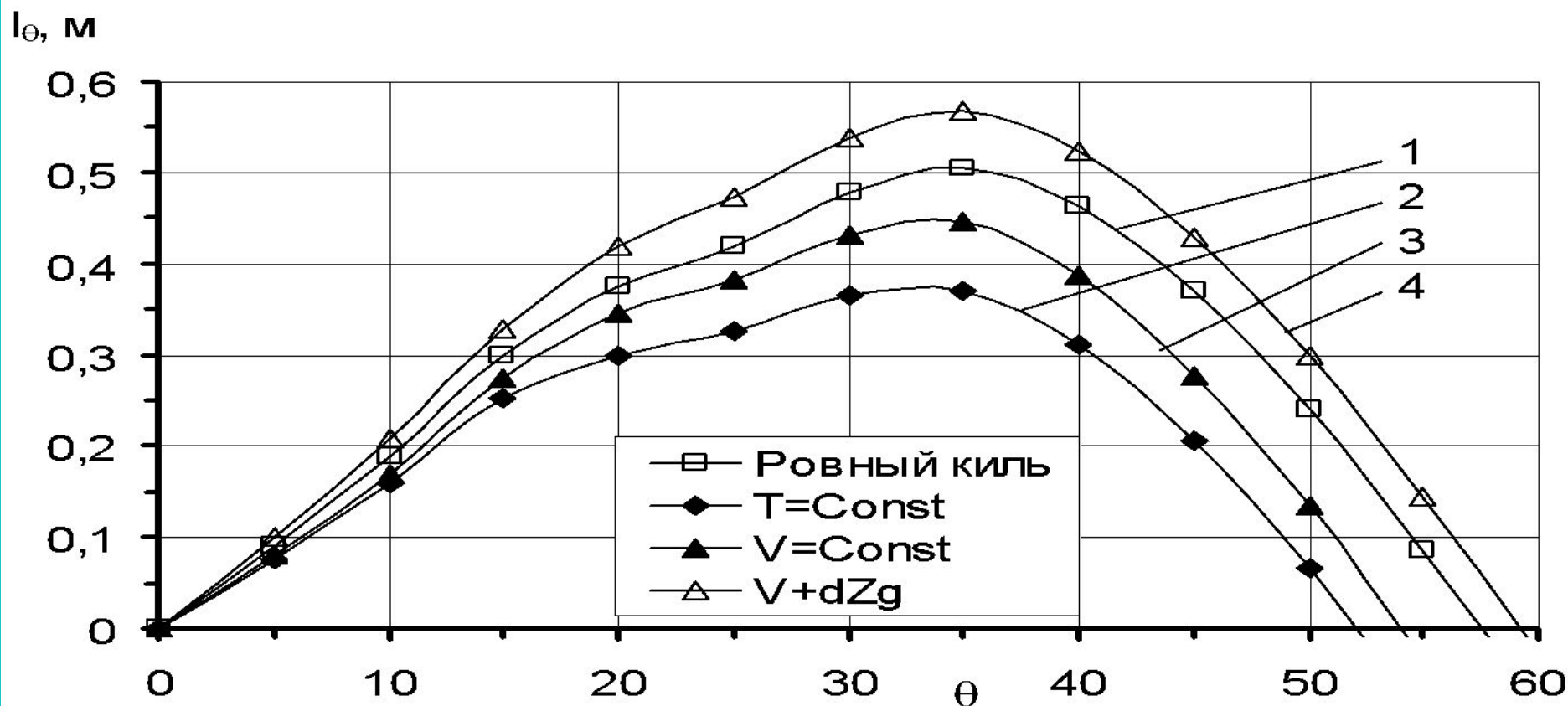


Остойчивость при перегибе корпуса



- При деформации корпуса изменяется форма подводной части судна и, следовательно, изменяются плечи остойчивости формы

Остойчивость при перегибе корпуса



- Диаграммы статической остойчивости: 1 – корпус судна не деформирован, 2 – перегиб 0,5 м при той же осадке на миделе, 3 – перегиб 0,5 м при том же водоизмещении, 4 - перегиб 0,5 м при том же водоизмещении и корректировке центра тяжести

Выбор курса и скорости хода судна на волнении

- При попадании судна в режим резонанса амплитуды качки **значительно** возрастают. Кажущийся период волны (период встречи с волной) на судне может быть замерен секундомером. В теоретических расчётах он определяется выражением

$$\tau_k = \frac{\lambda}{0.515C_s + 0.515v_s \cos\varphi} \quad \text{где} \quad C_s = 1.94 \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi H_w}{\lambda}}$$

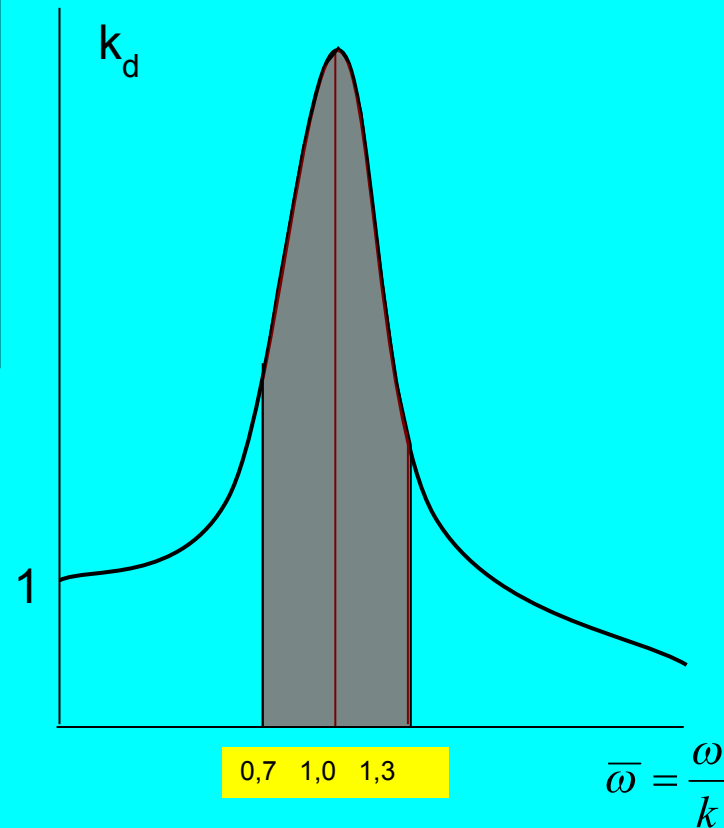
скорость волны в узлах

Усиленная качка

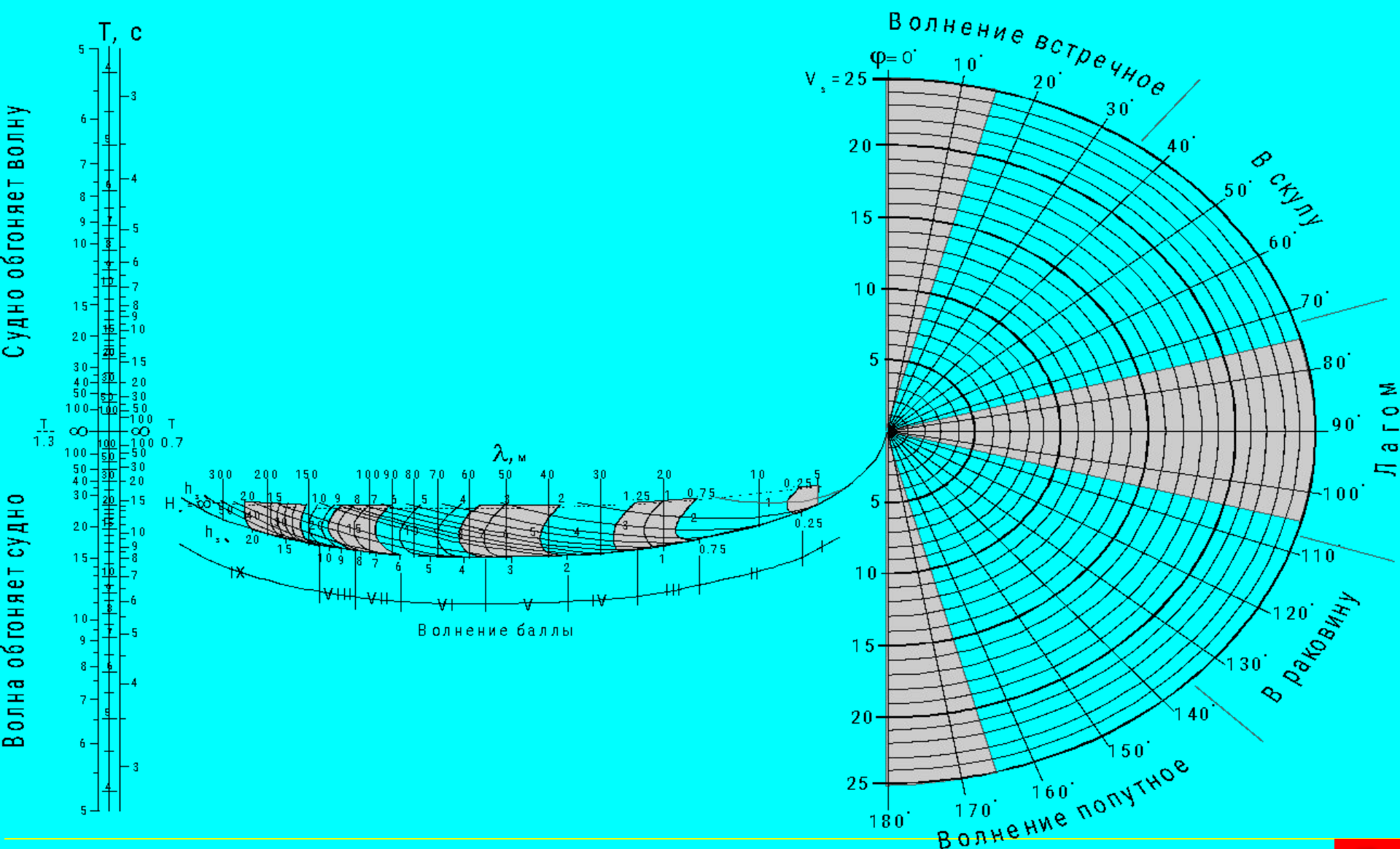
- Резонанс наступает, когда кажущийся период совпадает с периодом собственных колебаний. Усиленная качка будет в диапазоне

$$\frac{T_{\theta, \zeta, \psi}}{1.3} \leq T \leq \frac{T_{\theta, \zeta, \psi}}{0.7}$$

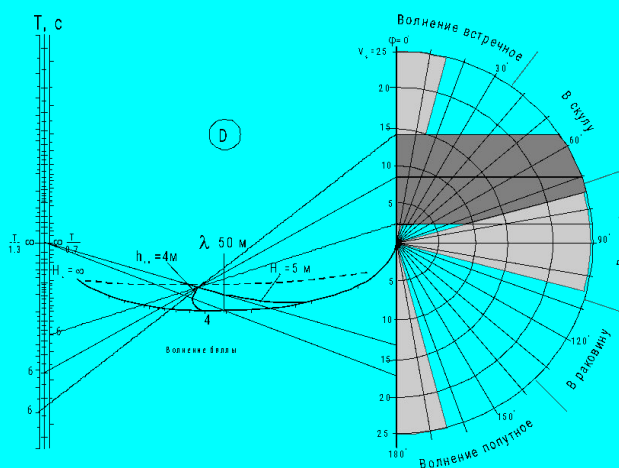
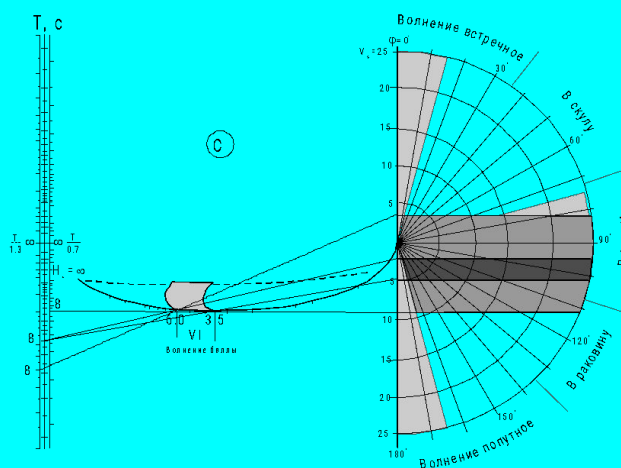
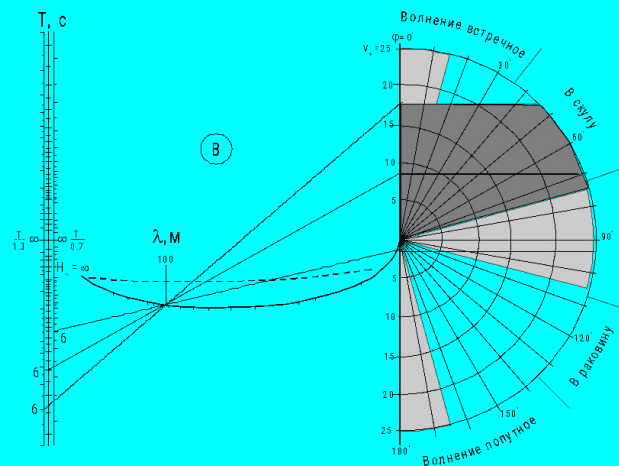
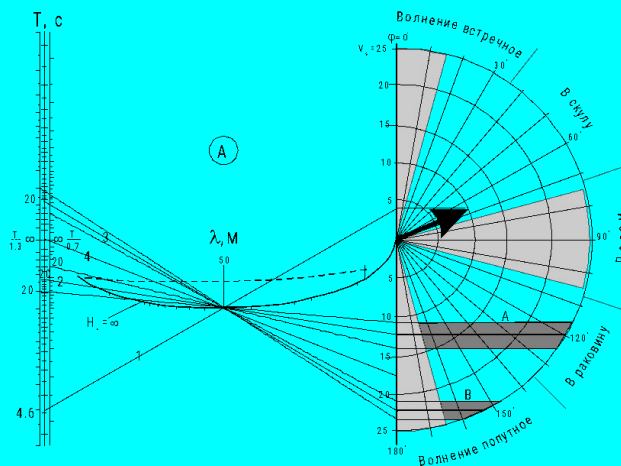
$$k = \frac{2\pi}{T}$$



Универсальная номограмма качки



Примеры использования универсальной номограммы



Остойчивость судов в ремонте

- Регламентируется РД 31.60.14-81 Наставление по борьбе за живучесть судов Министерства морского флота Союза ССР НБЖС
- Дата актуализации: 01.12.2013

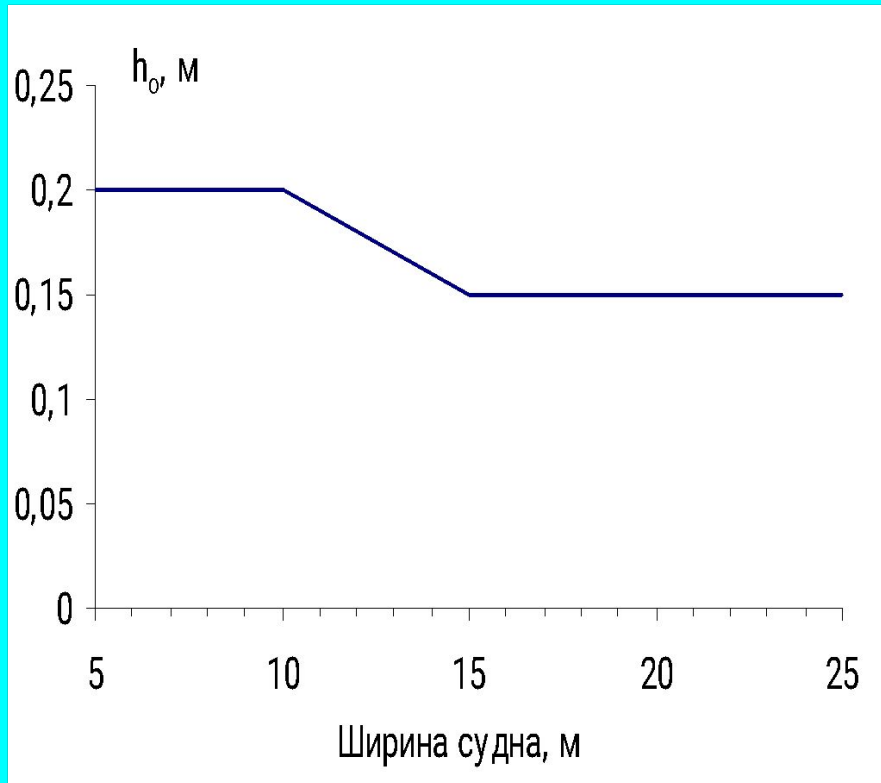
Важно разграничить обязанности судовладельца (администрации судна) и судоремонтного предприятия.

- в 1987 году приказом Министра рыбного хозяйства введена в действие «Инструкция по обеспечению остойчивости и непотопляемости судов в ремонте».

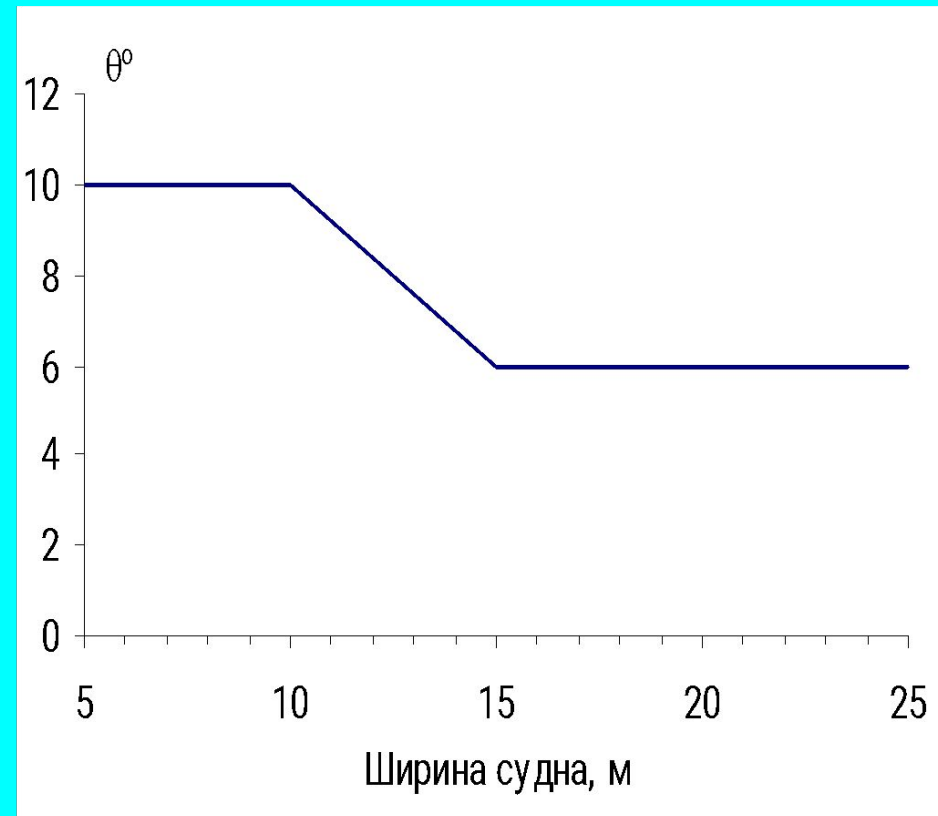
Остойчивость судов в ремонте

- В Инструкции даются нормативы остойчивости и непотопляемости судов в ремонте.

Допустимые значения МЦВ



Допустимые значения улов входа в воду технологических вырезов в бортах судна



Благодарю за внимание

Желаю успехов
при прохождении
тестирования!

