



Повторяем... Остойчивость корабля...

Повторяем... Остойчивость корабля...

Что такое ОСТОЙЧИВОСТЬ?



A large raft made of bamboo poles floating on water. The raft is constructed from many bundles of bamboo poles, some of which are tied together with ropes. A person is sitting on the raft, and the water is visible around the raft.

Так корабли строят дилетанты

Профессионалы спроектировали и построили
«ТИТАНИК»

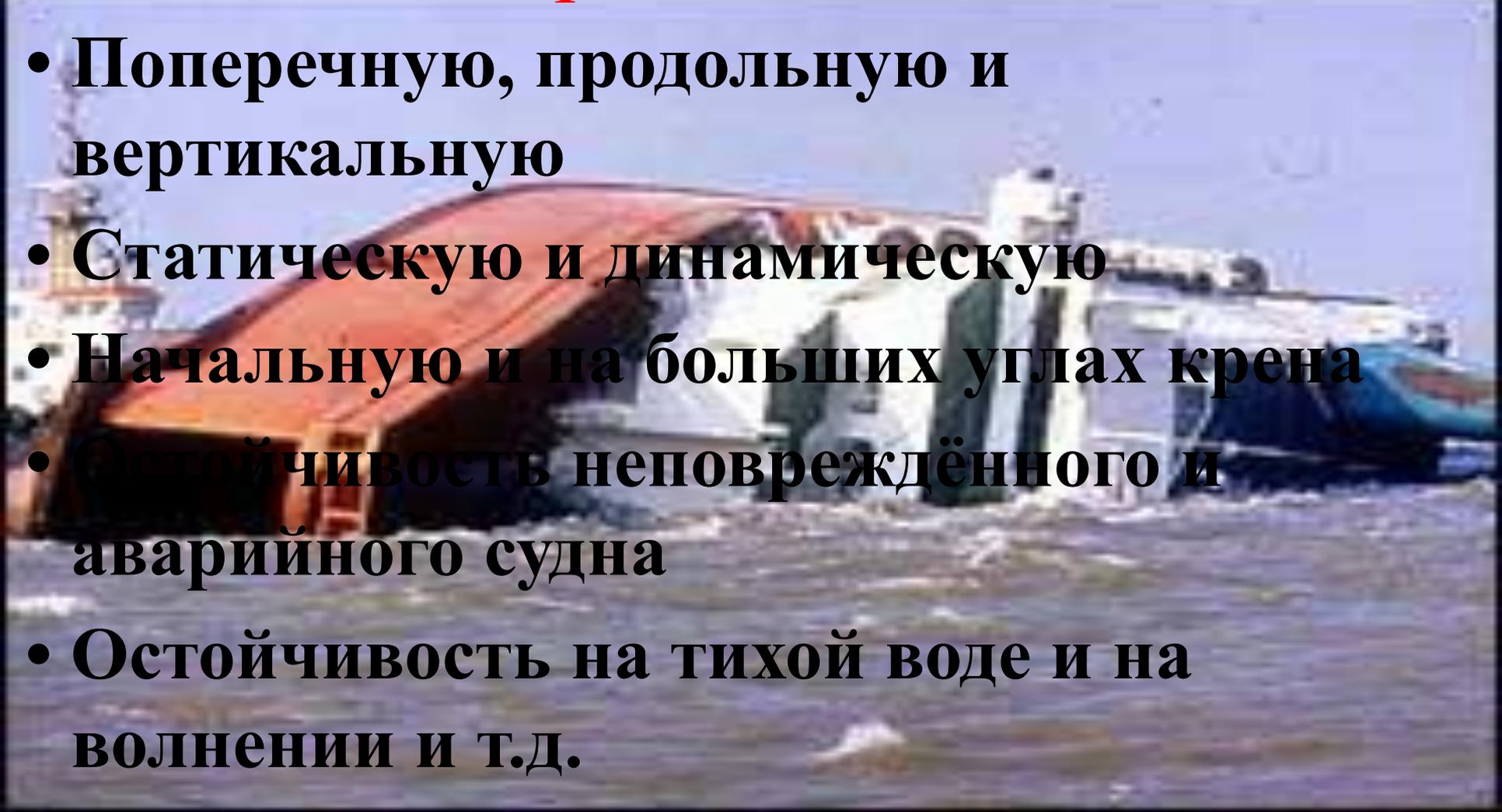
**Изучайте ТЕОРИЮ КОРАБЛЯ
профессионально!**

Что такое остойчивость?



• Остойчивость – это способность судна противостоять внешним силам и моментам без аварийных последствий

Для удобства изучения остойчивость подразделяется на:

- Поперечную, продольную и вертикальную
 - Статическую и динамическую
 - Начальную и на больших углах крена
 - Остойчивость неповреждённого и аварийного судна
 - Остойчивость на тихой воде и на волнении и т.д.
- 

Водоизмещение

- Напомним, что термин «**водоизмещение**» в равной степени относится как к вытесненной воде, так и к судну.
- **Массовое водоизмещение M** – это и масса всех конструкций и грузов судна и равная ей масса вытесненной судном воды.
- **Весовое водоизмещение D** – это и вес всех конструкций и грузов судна и вес вытесненной им воды.
- **Объёмное водоизмещение V** – это и объём подводной части судна и объём вытесненной им воды.

Водоизмещение

- Водоизмещение может быть измерено тремя способами:
- в **объемных** единицах - тогда это объемное водоизмещение V , м³;
- в **весовых** единицах - тогда это весовое водоизмещение D , кН;
- в **массовых** единицах - тогда это массовое водоизмещение M , т.
- Все это в принятой сейчас международной системе единиц СИ. *А есть и другие единицы измерения....*

Водоизмещение

- Между этими водоизмещениями существует связь:
 - $V = D/\gamma = M/\rho$
 - $D = \gamma V = gM$
 - $M = \rho V = D/g$
 - где γ -удельный вес воды;
для морской воды
 $\gamma = 10.05 \text{ кН/м}^3$;
 - ρ -плотность воды;
 $\rho = 1.025 \text{ т/м}^3$;
 - g - ускорение
свободного падения;
 $g = 9.81 \text{ м/с}^2$.
 - Кроме того, $\gamma = \rho g$
- 
- A large cargo ship is shown at sea. The ship is white with a red hull. The name 'Masc' is visible on the side. The ship is floating on a blue sea under a clear blue sky. Several blue arrows point upwards from the water towards the hull, representing the buoyant force acting on the ship.

Чем можно «измерить» остойчивость при равнообъёмных наклонениях?

- Остойчивость измеряется **восстанавливающим моментом**, который образуется силами веса D и поддержания γV

- $M_{\theta} = D \cdot GZ = D l_{\theta} \text{ [кН м]}$
- $GZ = l_{\theta} = y_c \cos\theta + z_c \sin\theta - a \sin\theta$

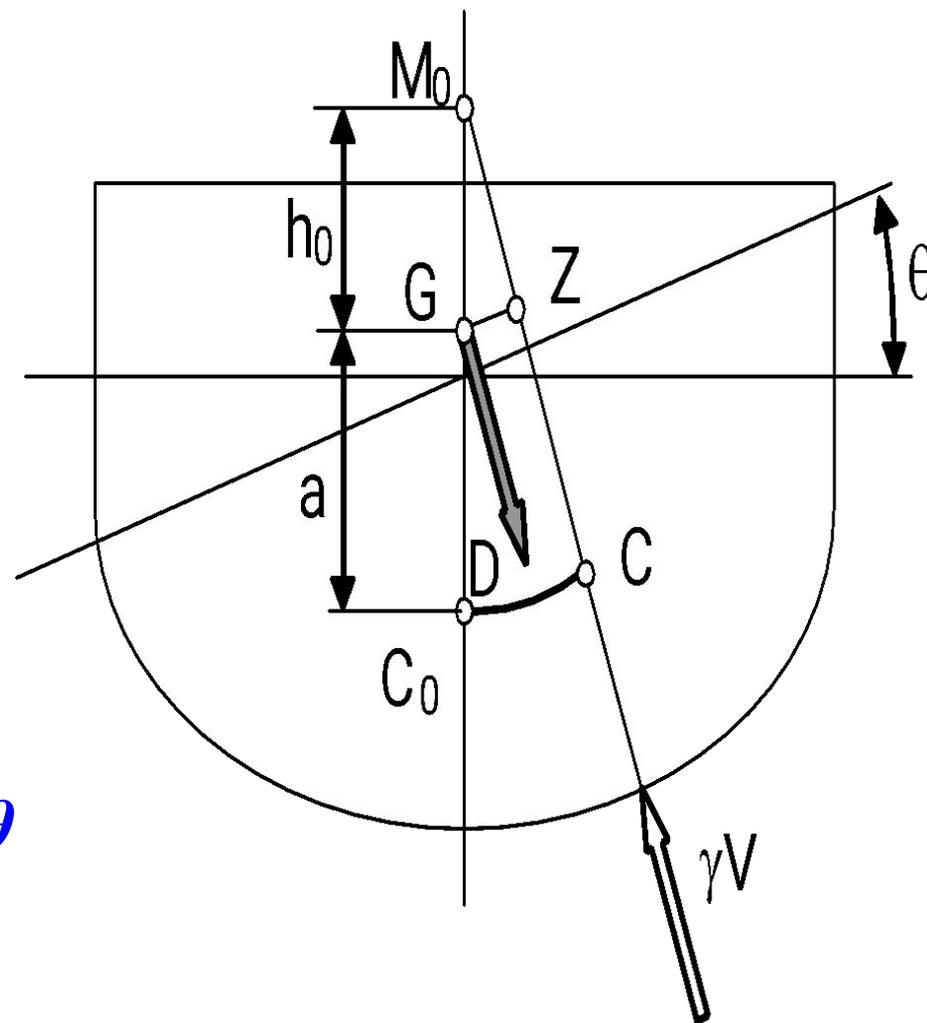
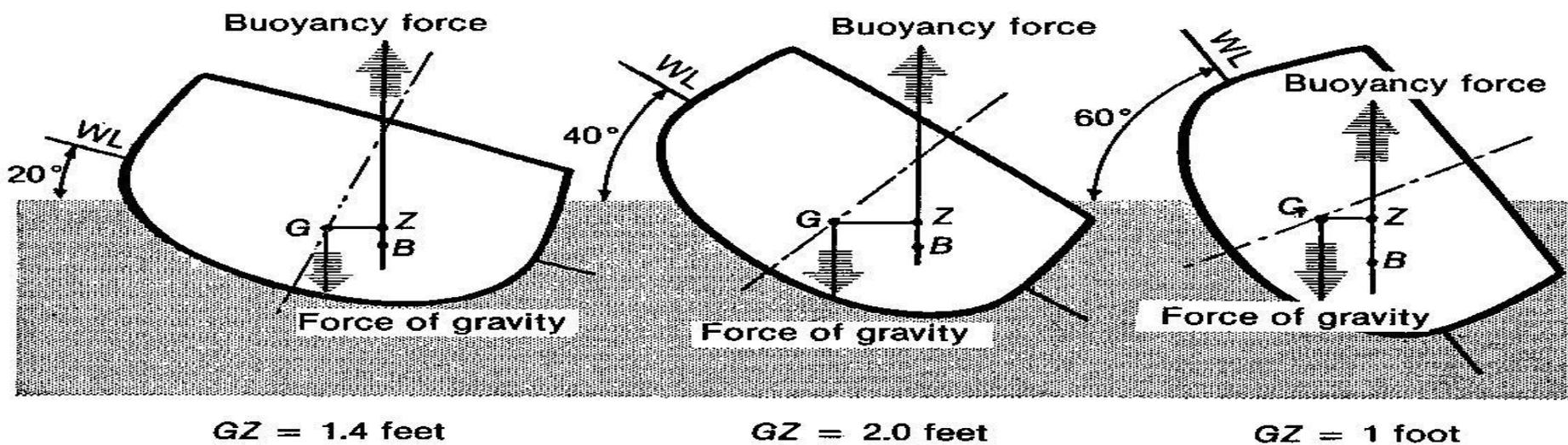
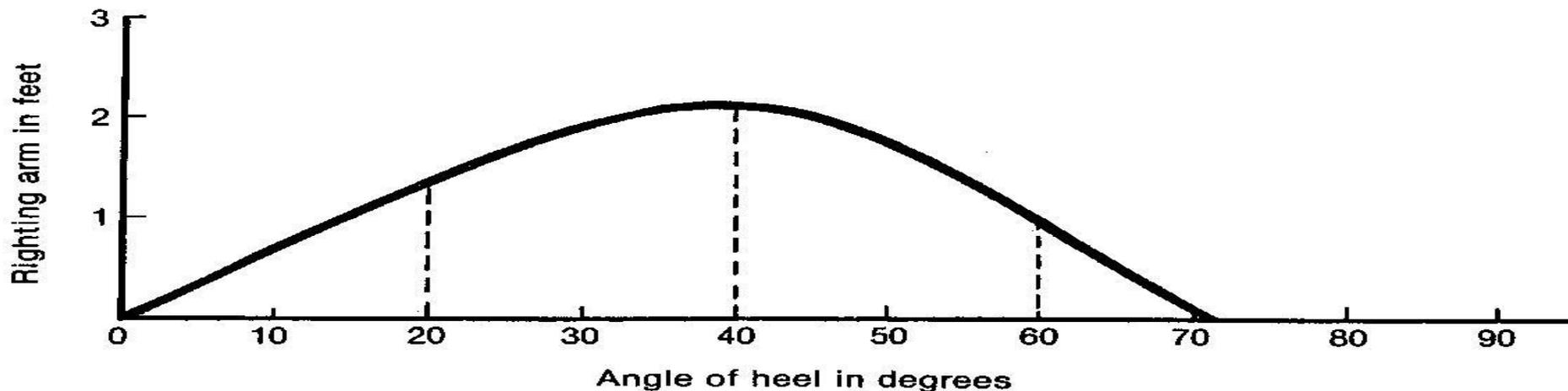


Диаграмма статической остойчивости (ДСО)

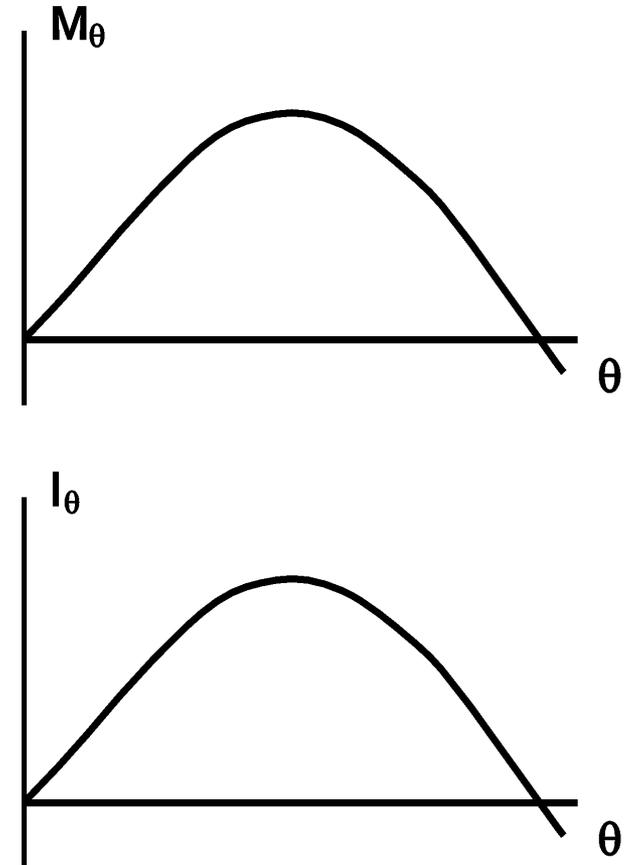


ДСО в «моментах» и в «плечах»

- Так как
- $l_{\theta} = M_{\theta} / D = D l_{\theta} / D,$

то

ДСО в «плечах» - это
восстанавливающий
момент, приходящийся
на единицу
водоизмещения

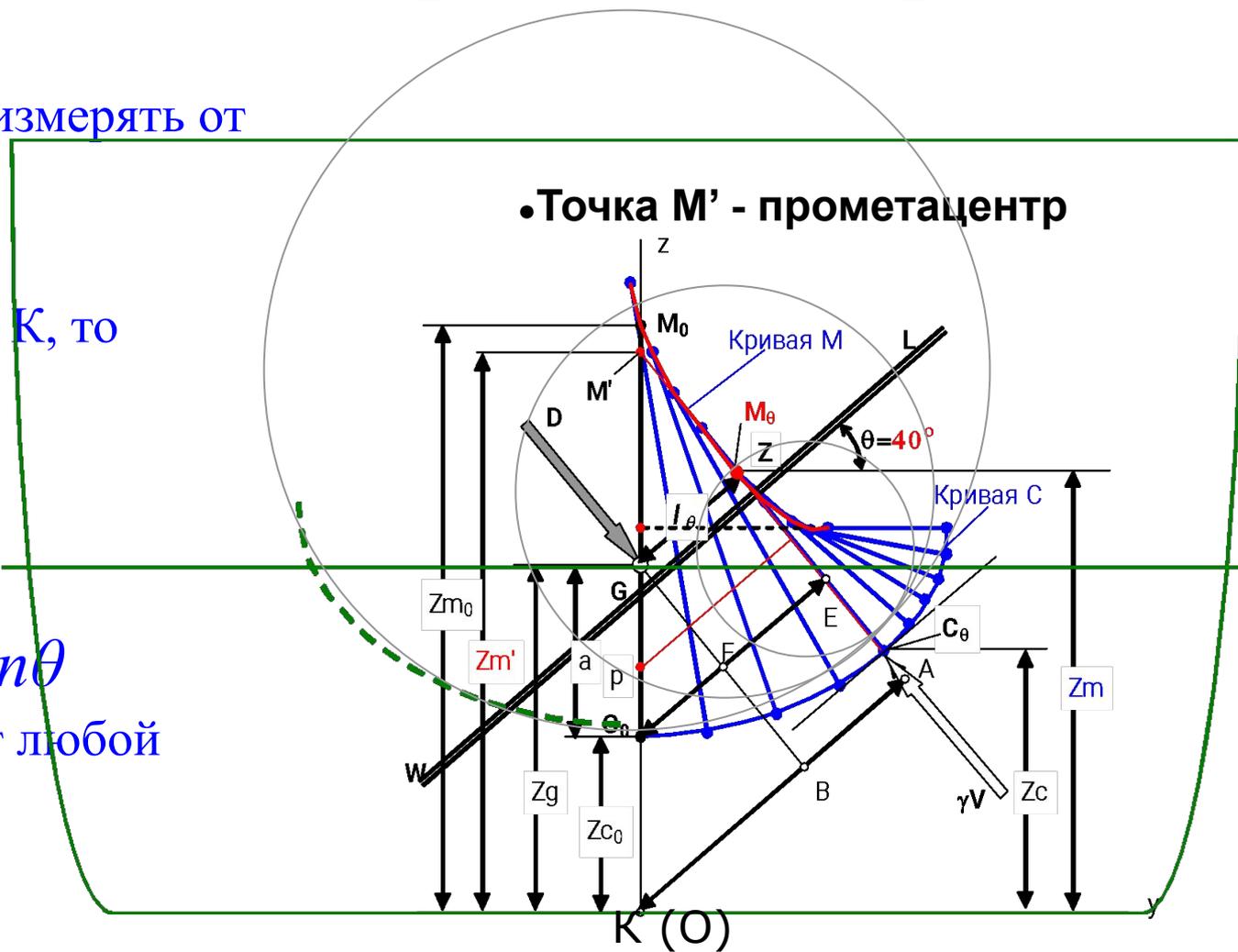


ДСО в «моментах» и в «плечах»

- Вот почему восстанавливающие моменты у различных по размерам судов отличаются в десятки и сотни раз, а диаграммы остойчивости в «плечах» - очень близки.
- Для **понимания** процессов удобнее рассматривать ДСО в «моментах», а для **вычисления** — в «плечах».

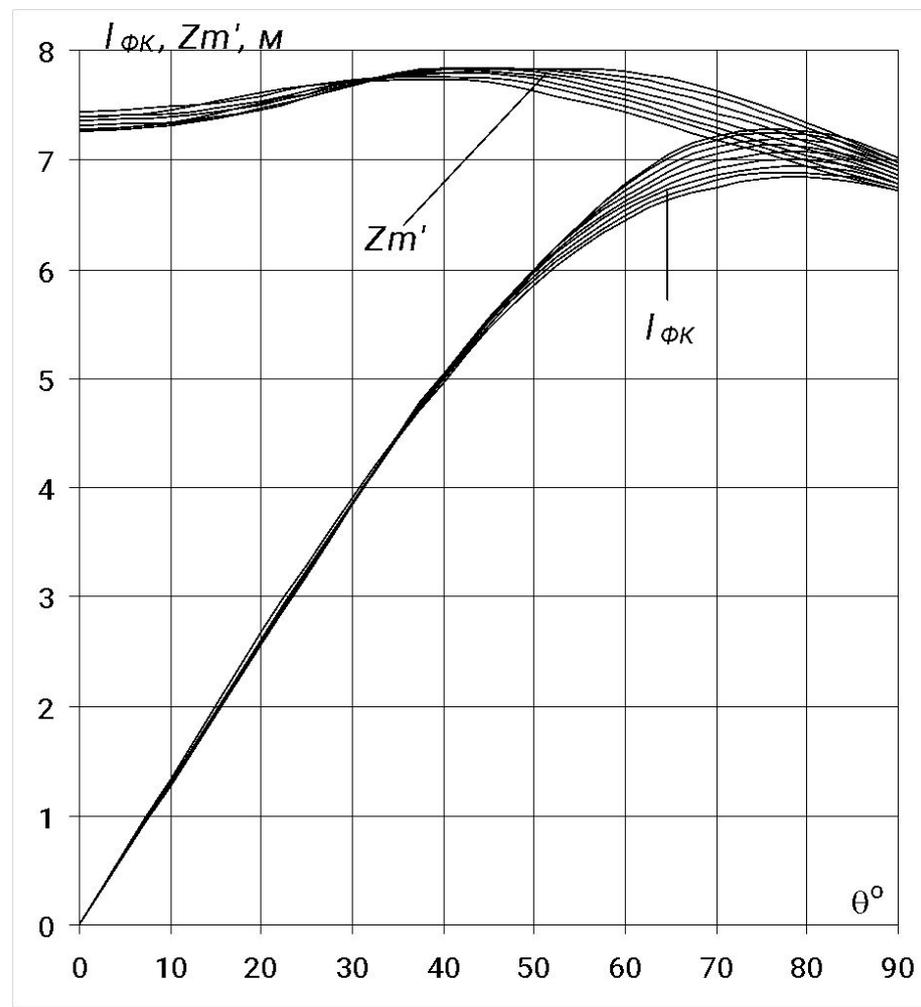
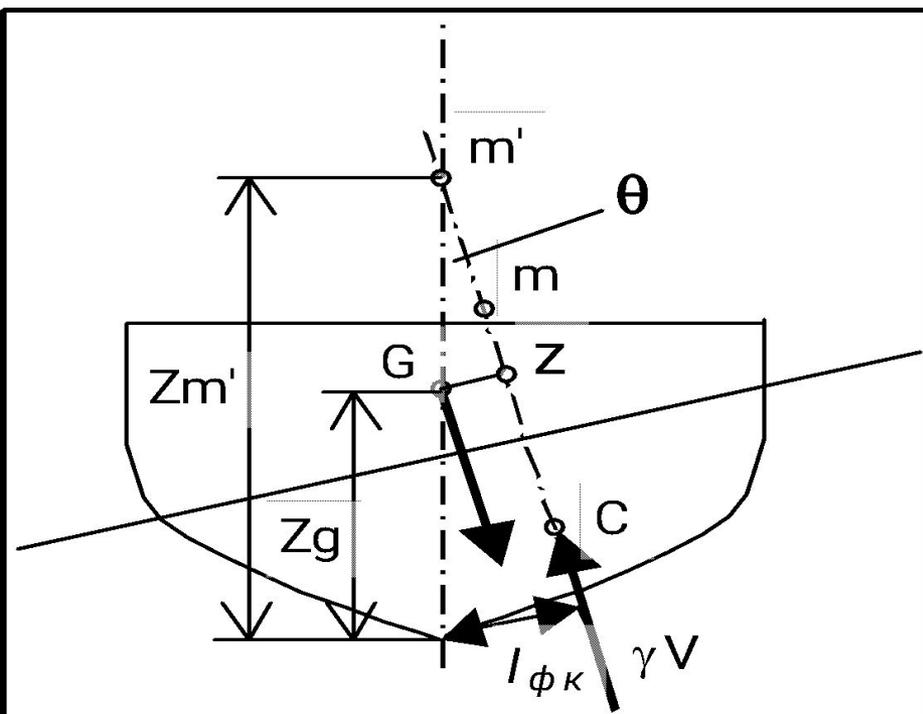
Кривые С, М, прометаценты

- $l_{\theta} = l_{\phi} - l_B$ Если измерять от т. C_0 , то
- $l_{\theta} = C_0E - C_0F$
- Если измерять от т. K , то
- $l_{\theta} = KA - KB$,
- $l_{\phi} = KA$
- $Zm' = l_{\phi} / \sin\theta$
- $l_{\theta} = (Zm' - Zg) \sin\theta$
- Можно измерять от любой точки (полюса p)



Плечи остойчивости формы «от киля» и возвышения прометацентра

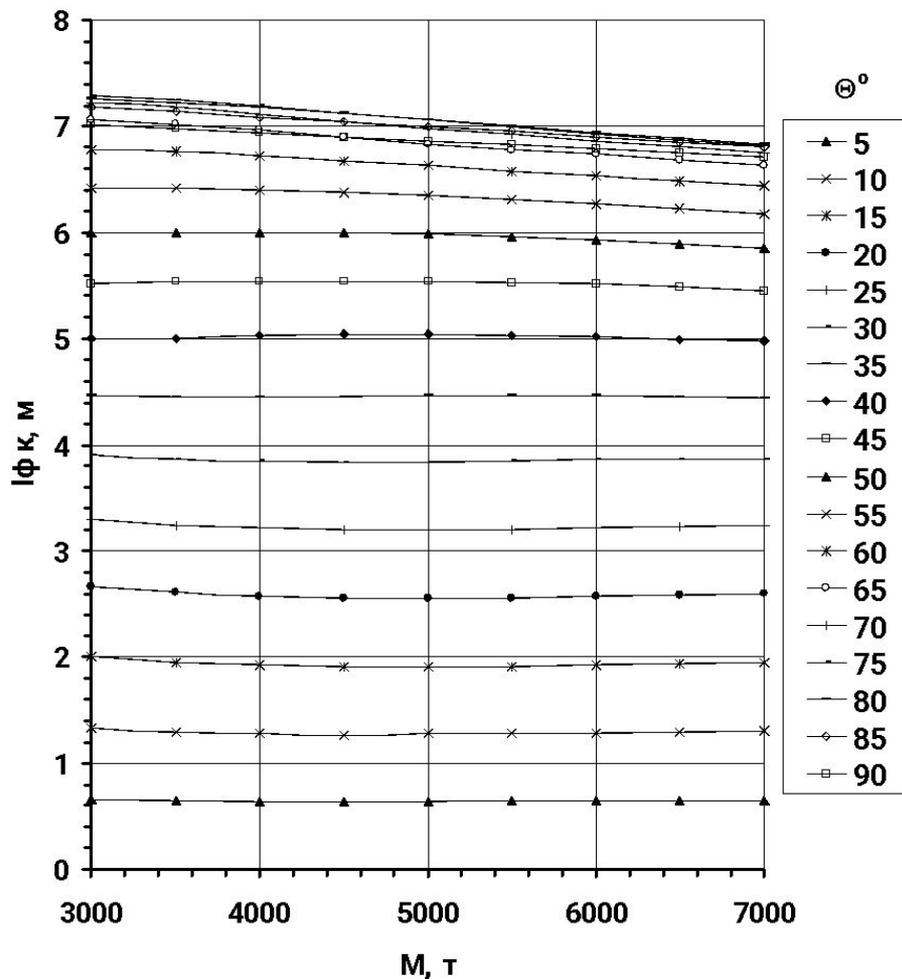
- Так выглядят плечи остойчивости формы «от киля» $I_{\phi k}$ и возвышения прометацентра Zm' при различных водоизмещениях в зависимости от угла крена



Пантокарены и прометаценты

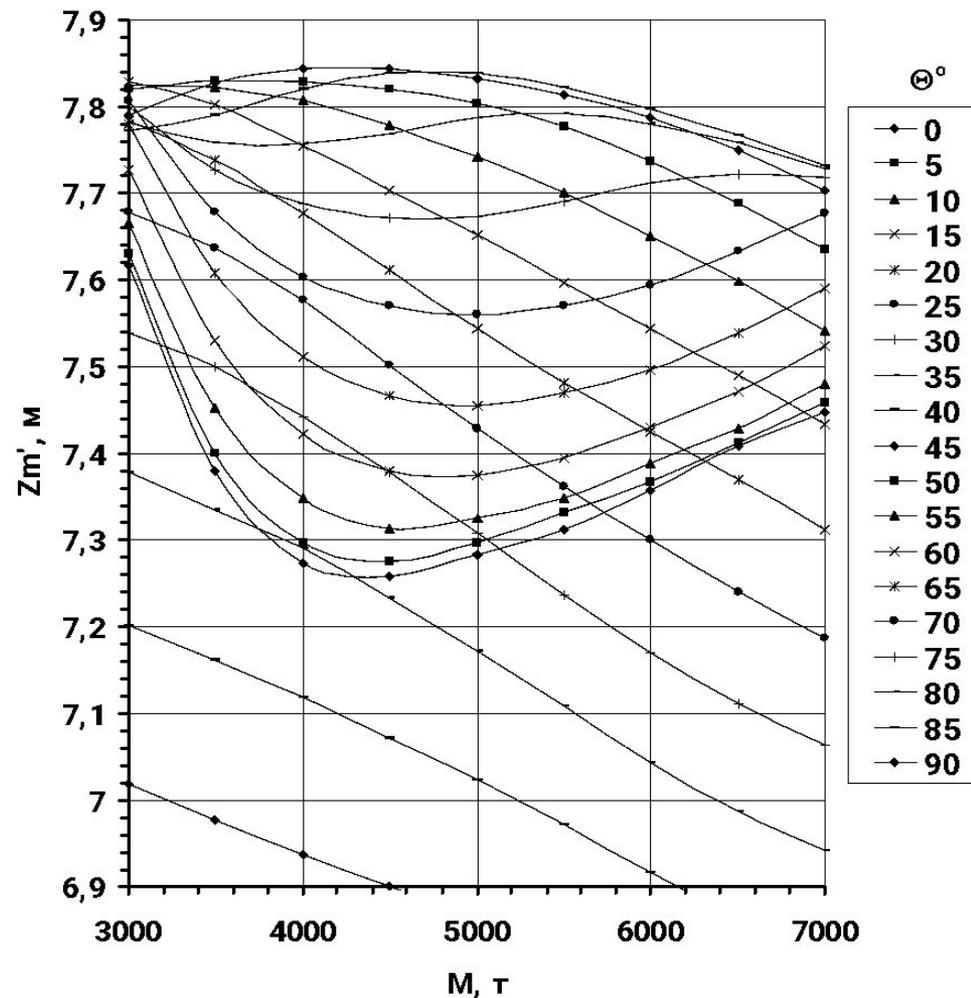
Плечи формы от киля

$$l_{\theta} = l_{\text{фк}} \cdot \sin \theta$$



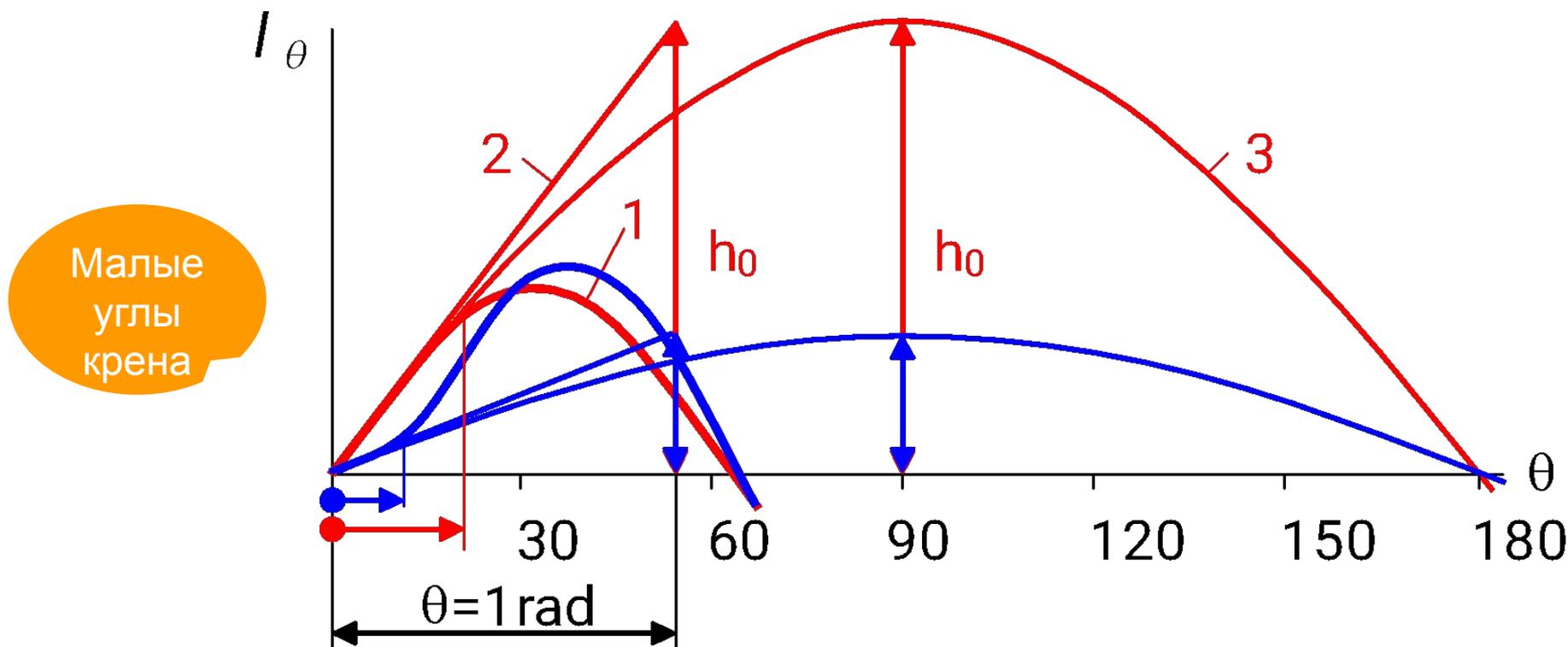
Возвышения прометацента

$$l_{\theta} = (Zm' - Zg) \cdot \sin \theta$$



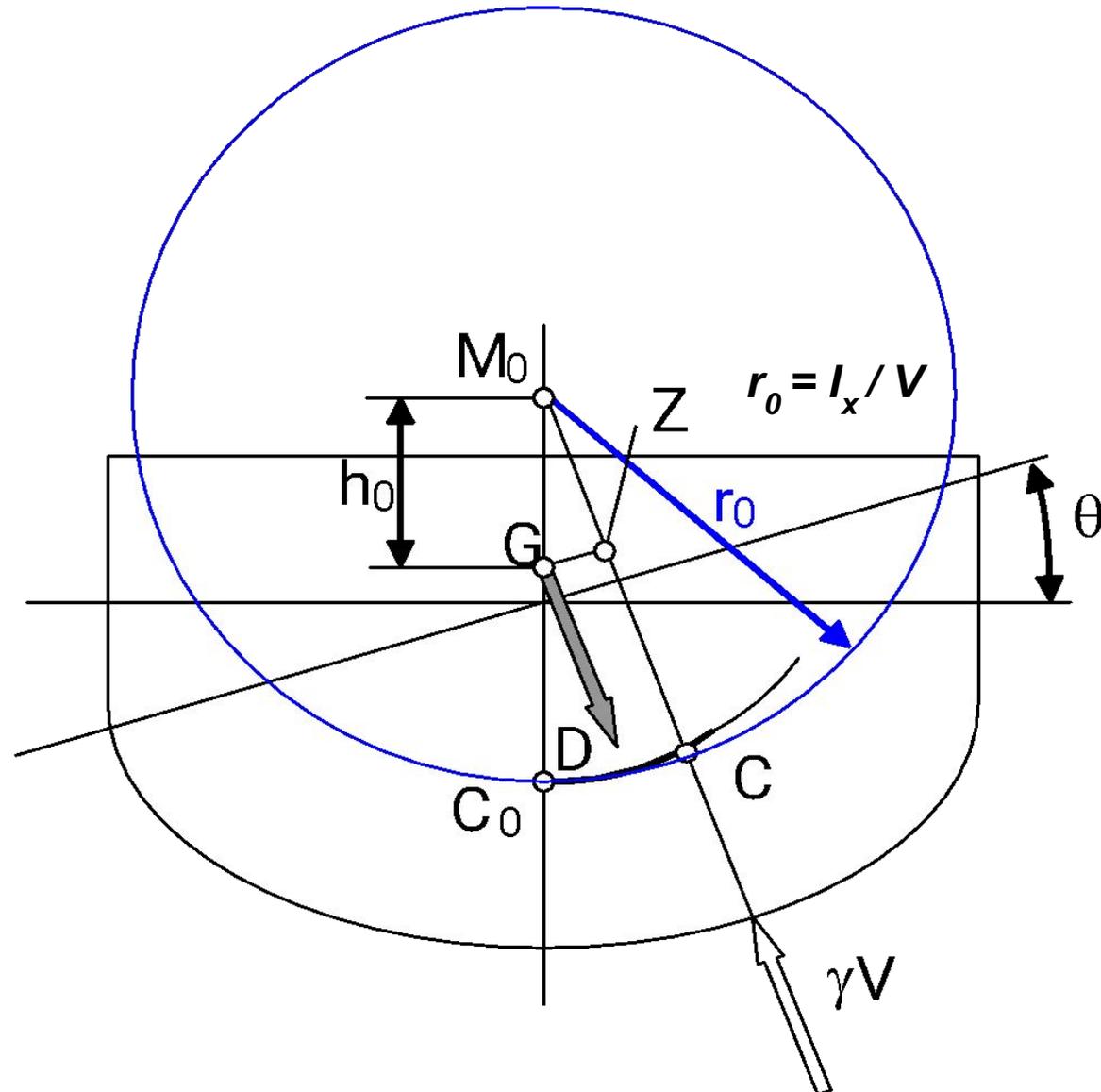
Метацентрические формулы устойчивости, малые углы крена

- $M_\theta = Dl_\theta$ $l_\theta = y_c \cos\theta + z_c \sin\theta - a \sin\theta$ (1)
- $M_\theta \approx D(Zm_0 - Zg)\theta = Dh_0\theta$ $l_\theta \approx (Zm_0 - Zg)\theta = h_0\theta$ (2)
- $M_\theta \approx D(Zm_0 - Zg) \sin\theta = Dh_0 \sin\theta$ $l_\theta \approx (Zm_0 - Zg) \sin\theta = h_0 \sin\theta$ (3)



Малые углы крена

- Малые углы крена это такие углы, при которых метацентр M_0 практически не выходит из ДП, а дуга, описанная метацентрическим радиусом r_0 , практически совпадает с истинной кривой C_0C

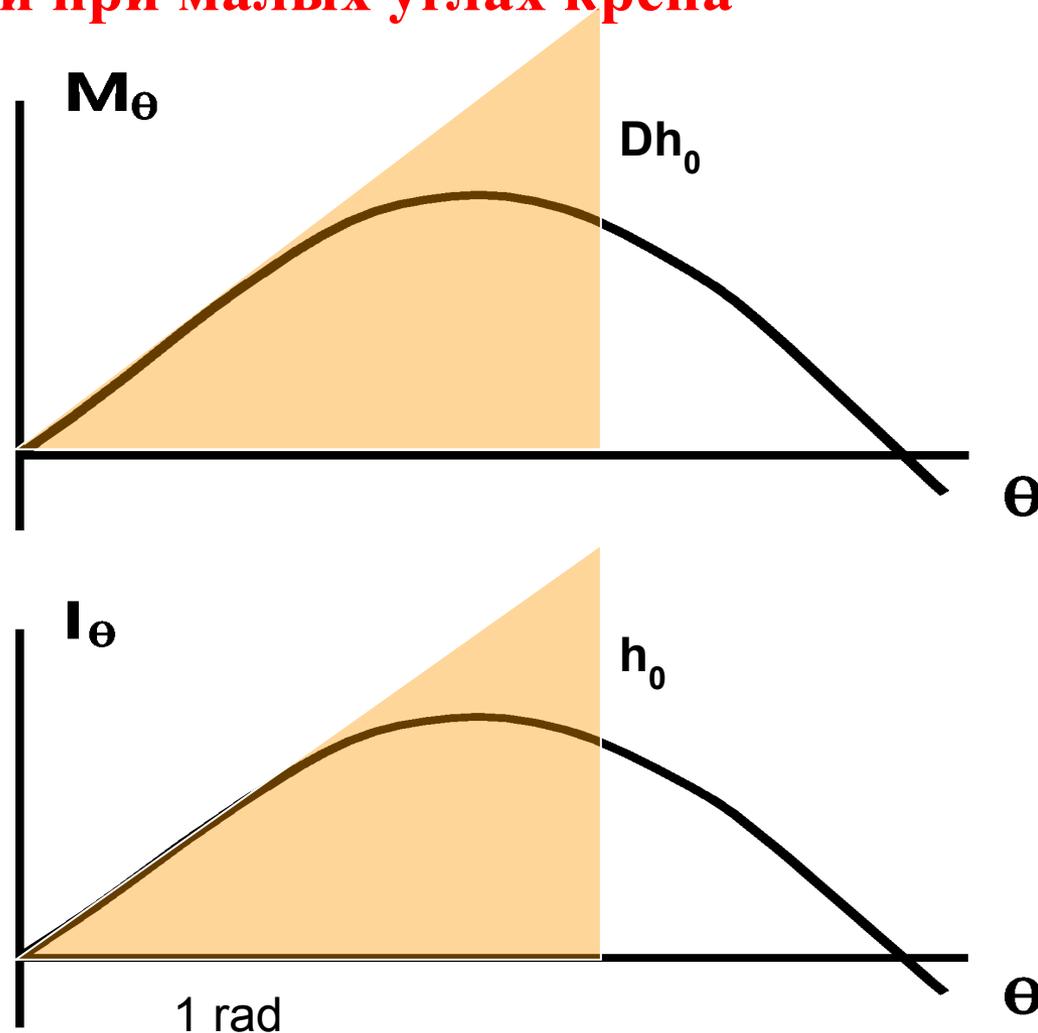


Чем измерить остойчивость при малых углах крена?

- Когда угол крена стремится к нулю, восстанавливающий момент также стремится к нулю и плохо характеризует остойчивость.
- Гораздо лучше её характеризует скорость изменения момента.
- А это – угол наклона начального участка ДСО. Тангенс этого угла определяется производной.

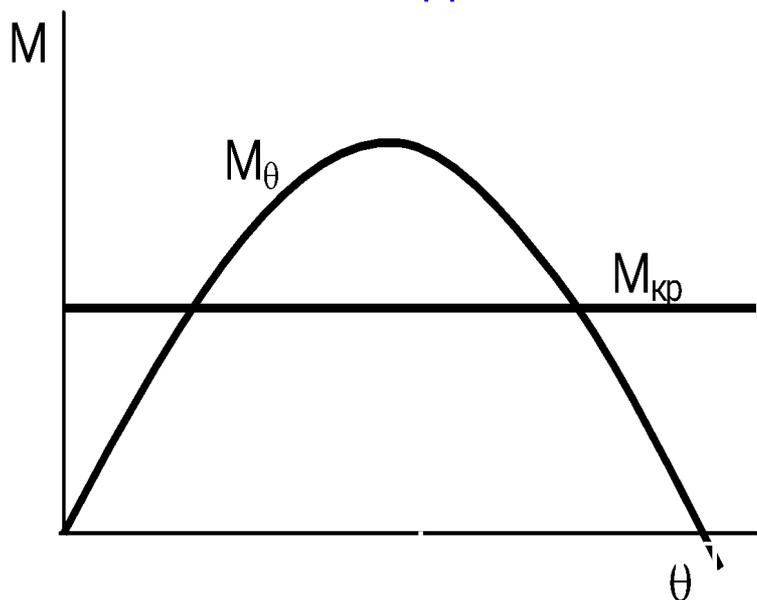
Коэффициент остойчивости и метацентрическая высота как мера остойчивости при малых углах крена

- $dM_{\theta} / d\theta = Dh_0$
коэффициент
остойчивости
- $dI_{\theta} / d\theta = h_0$
метацентрическая
высота

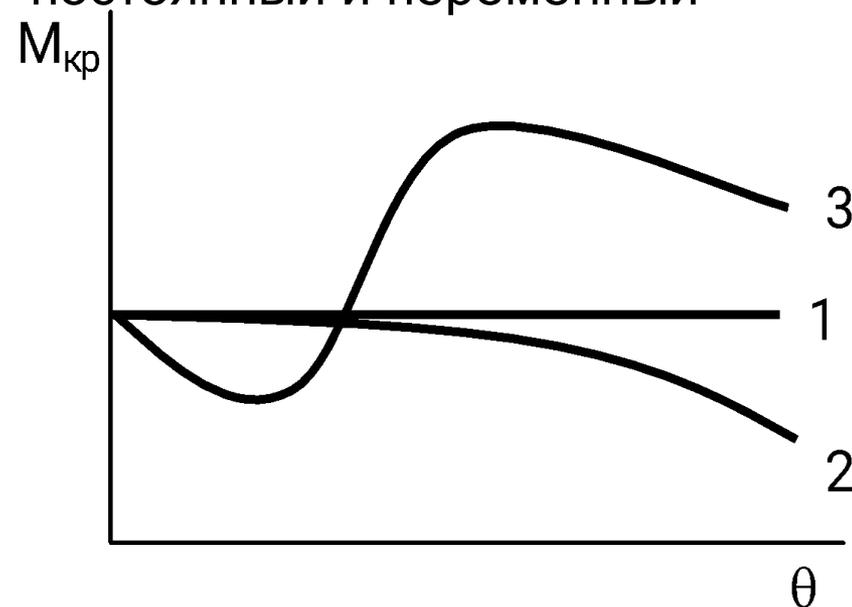


Кренящий момент как функция угла крена

Этот кренящий момент $M_{кр}$ статический или динамический?



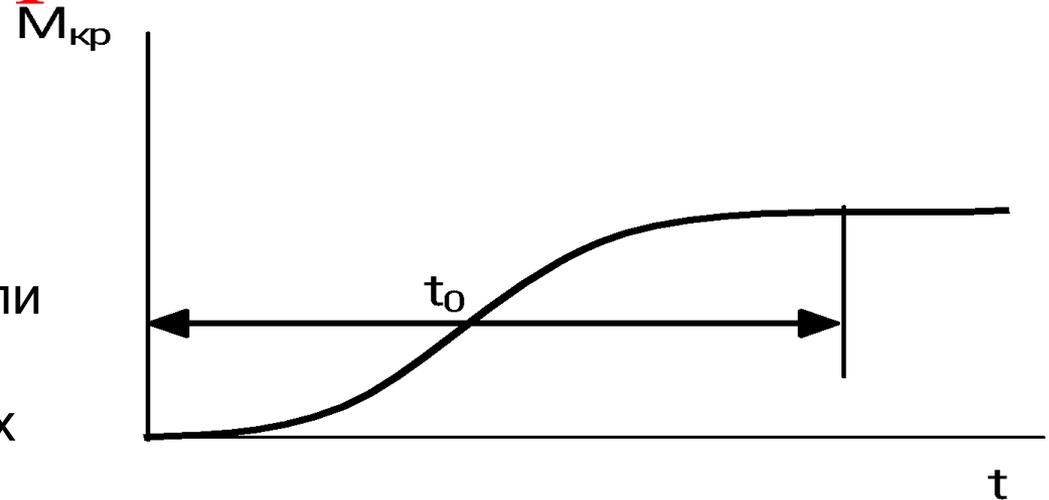
В зависимости от угла крена момент может быть постоянный и переменный



$M=f(\theta)$ – это постоянный или переменный момент

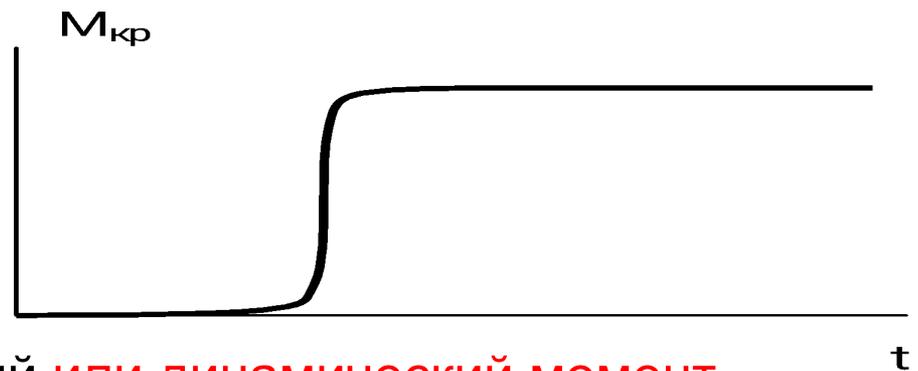
Кренящий момент как функция времени

времени



Статический момент нарастает постепенно.

Время нарастания t_0 раз в 10 или больше превышает период собственных колебаний T_θ



Динамический момент прикладывается внезапно, почти мгновенно

$M=f(t)$ – это статический или динамический момент

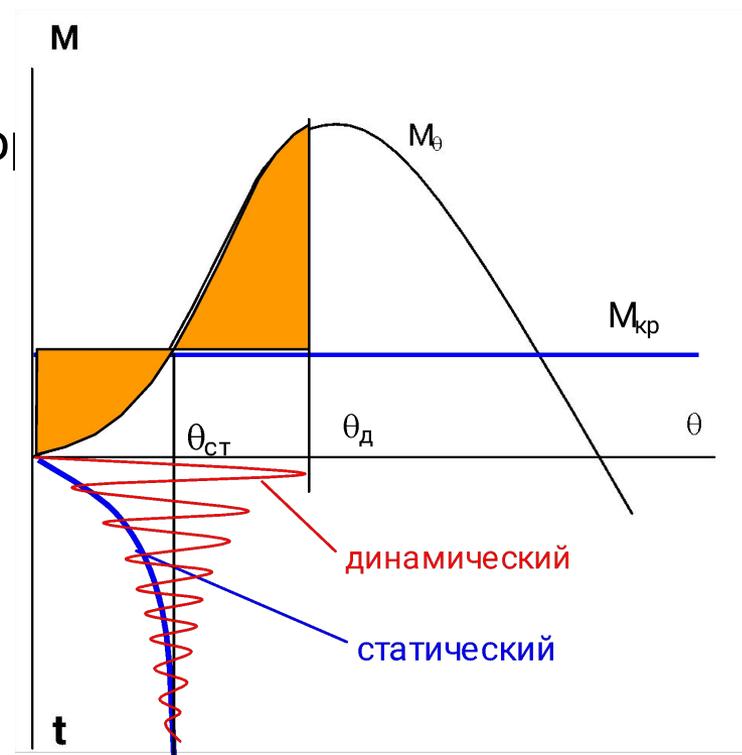
Крен судна под действием статически и динамически приложенного кренящего момента на тихой воде

Под действием **статического** момента судно кренится до тех пор пока не сравняются **моменты**

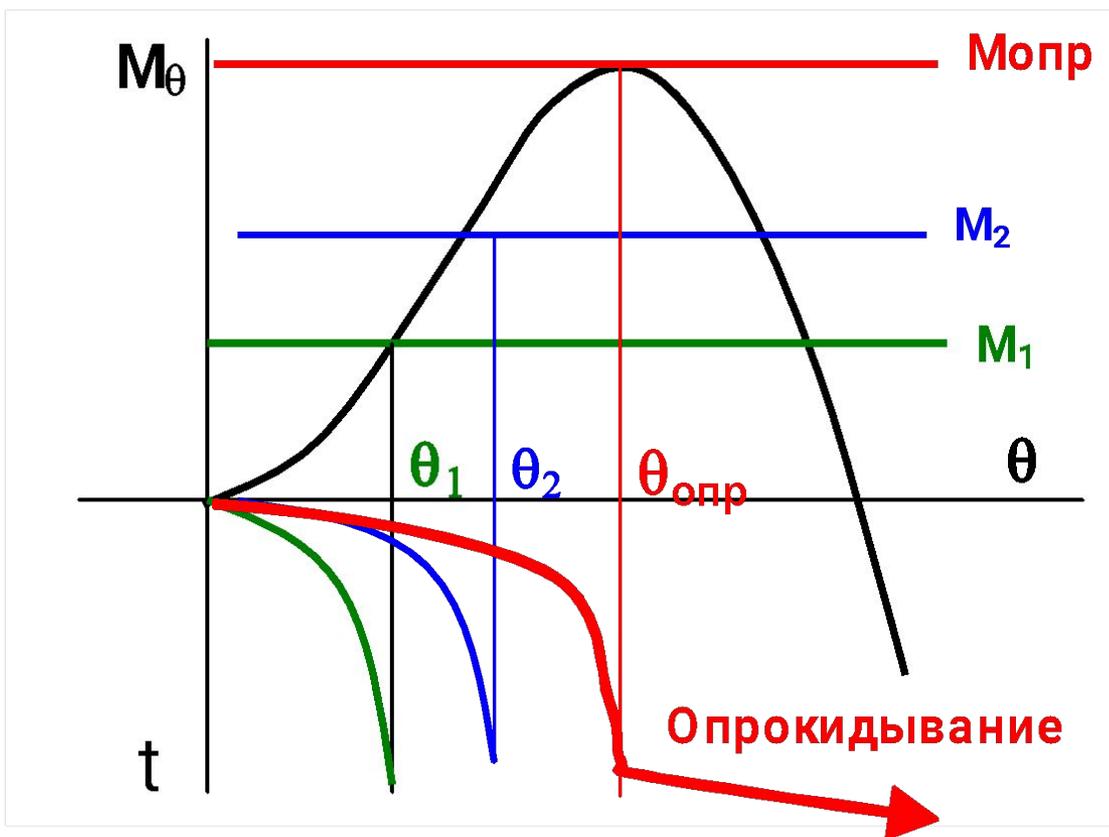
$$M_{кр} = M_{\theta}$$

Под действием **динамического** момента судно кренится до тех пор, пока не сравняются **работы**

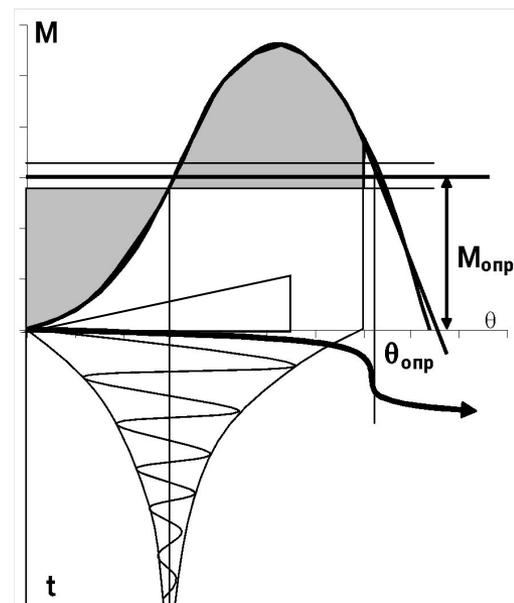
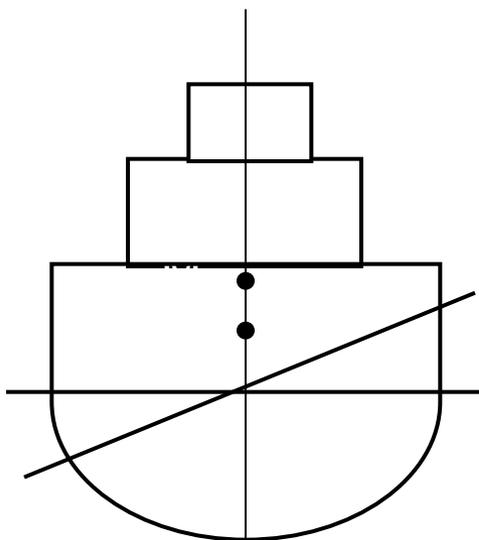
$$A_{кр} = A_{\theta}$$



Опрокидывание судна на тихой воде под действием статически приложенного кренящего момента

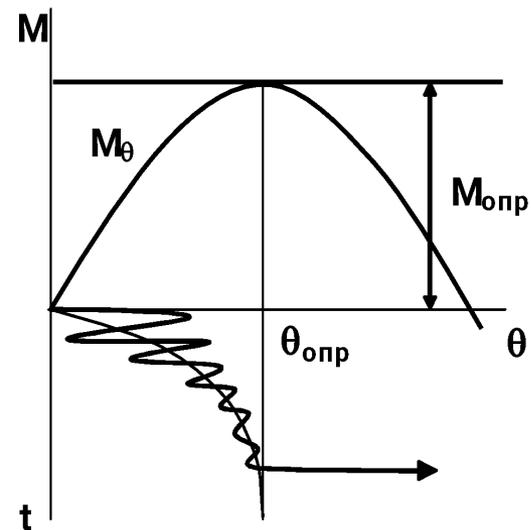
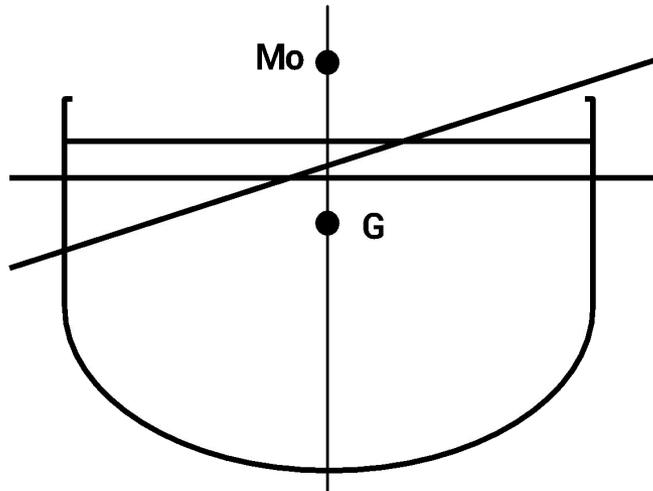


Опрокидывание высокобортных судов на тихой воде под действием динамически приложенного кренящего момента



- Высокобортное судно – судно с S-образной ДСО
- Опрокидывание если происходит, то в первом размахе (динамически)

Опрокидывание низкобортных судов на тихой воде под действием динамически приложенного кренящего момента



- Низкобортное судно – это обычно судно с выпуклой ДСО
- При первом накрениении, когда в воду входит палуба и фальшборт, резко увеличивается сила демпфирования и процесс накрениения существенно замедляется

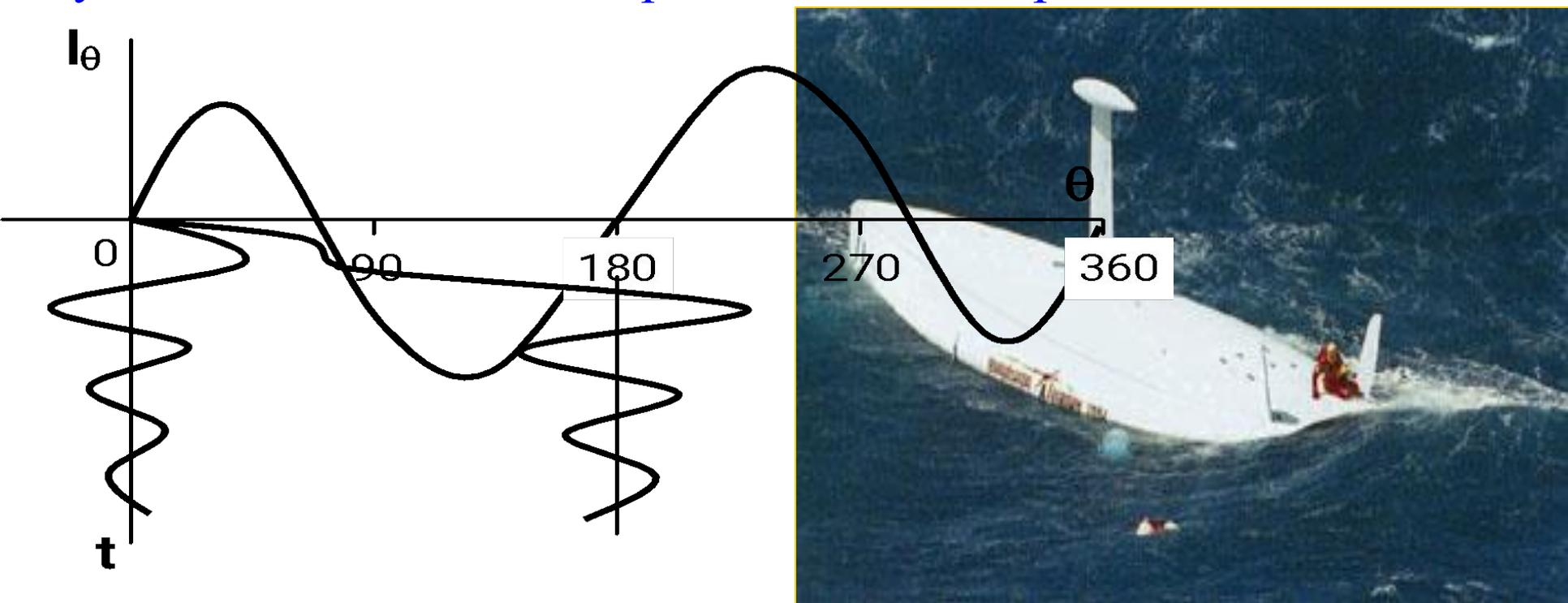
Опрокидывание низкобортных судов на тихой воде под действием динамически приложенного кренящего момента

- Судно совершает затухающие колебания вокруг постепенно возрастающего «псевдостатического» угла крена
- Если крен достигает угла максимума диаграммы статической остойчивости, то судно опрокидывается. Это происходит практически

«в статике»

Что такое потеря устойчивости ?

- Потеря устойчивости означает переход к такому режиму движения, который практически недопустим. При этом судно начнёт совершать колебания относительно второго устойчивого положения равновесия – вверх килём



Благодарю за внимание

