

ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова
Кафедра МиУС

Коротков Б.П.

Теория судна. Статика

Лекция № 7

Остойчивость на больших
наклонениях



Вопросы лекции

1. Диаграммы статической остойчивости
2. Связь диаграммы статической остойчивости с мерами начальной остойчивости и метацентрическими формулами
3. Определение равновесных положений судна по ДСО
4. Пределы статической остойчивости

Знание, понимание и профессиональные навыки в соответствии с минимальным стандартом компетентности для вахтенных помощников капитана судов (в соответствии с ПДНВ)

1. Знание влияния груза, включая тяжеловесные грузы, на мореходность и остойчивость судна
2. Рабочее знание и применение информации об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграмм и устройств для расчета напряжений в корпусе

Знание, понимание и профессиональные навыки в соответствии с минимальным стандартом компетентности для капитанов и старших помощников капитана (в соответствии с ПДНВ)

1. Понимание основных принципов устройства судна, теорий и факторов, влияющих на посадку и остойчивость, а также мер, необходимых для обеспечения безопасной посадки и остойчивости
2. Использование диаграмм остойчивости и дифферента и устройств для расчета напряжений в корпусе, включая автоматическое оборудование, использующее базу данных, и знание правил погрузки и балластировки, для того чтобы удерживать напряжения в корпусе в приемлемых пределах

1. Диаграммы статической остойчивости

Общие понятия устойчивости на больших наклонениях

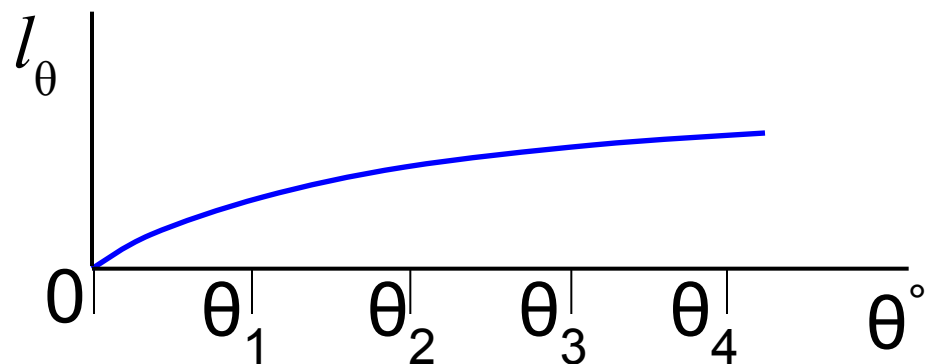
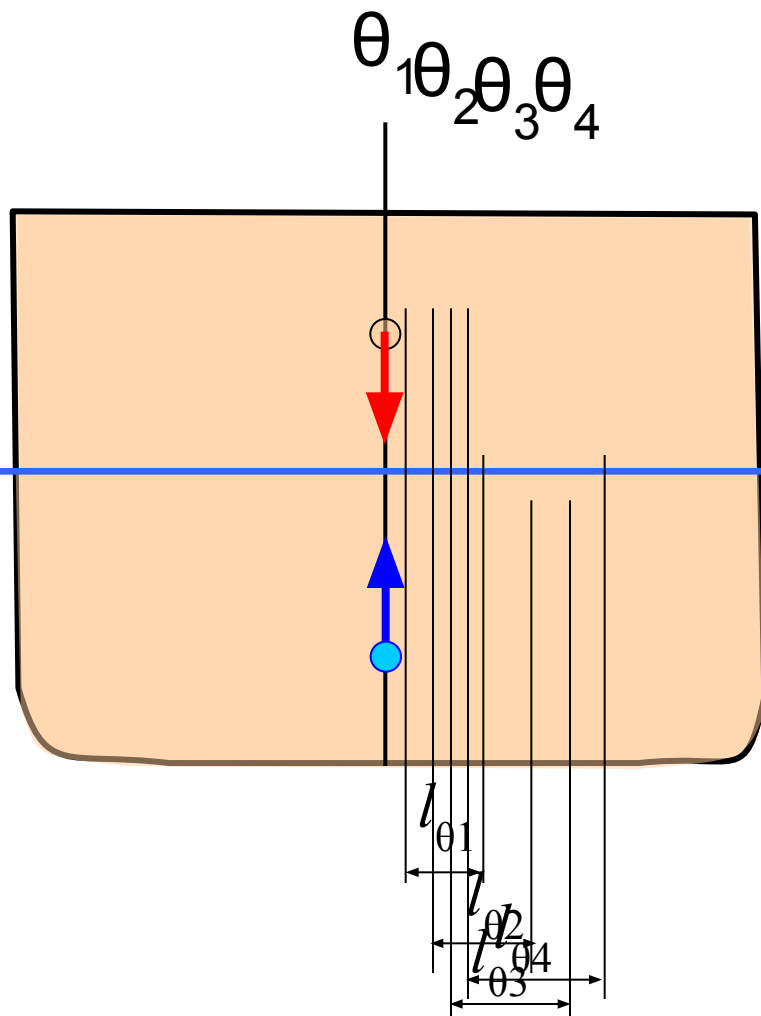
- Восстанавливающие моменты при больших наклонениях нельзя определять по метацентрическим формулам
- Результаты точных расчетов восстанавливающих моментов (плеч статической устойчивости) представляют в виде диаграмм статической устойчивости

Диаграммы статической остойчивости (ДСО):

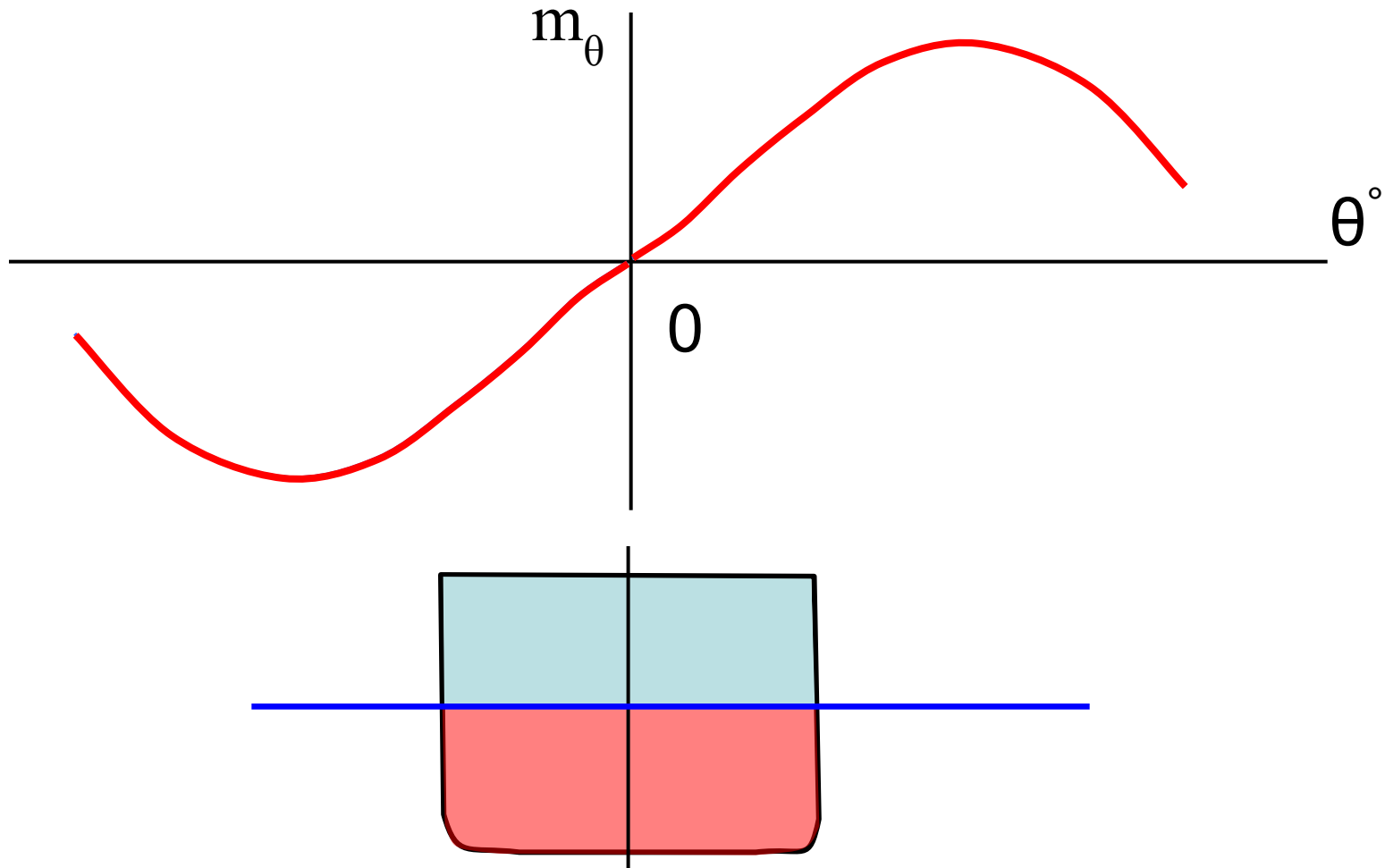
- Это зависимость восстанавливающего момента (плеча статической устойчивости) от угла наклона при постоянной нагрузке

$$\left. \begin{array}{l} -l_{\theta}(\theta) \text{ и } m_{\theta}(\theta) \\ -l_{\psi}(\psi) \text{ и } M_{\psi}(\psi) \end{array} \right\} \text{При } \Delta, z_g = \text{const}$$

Диаграмма поперечной статической остойчивости (ДСО)

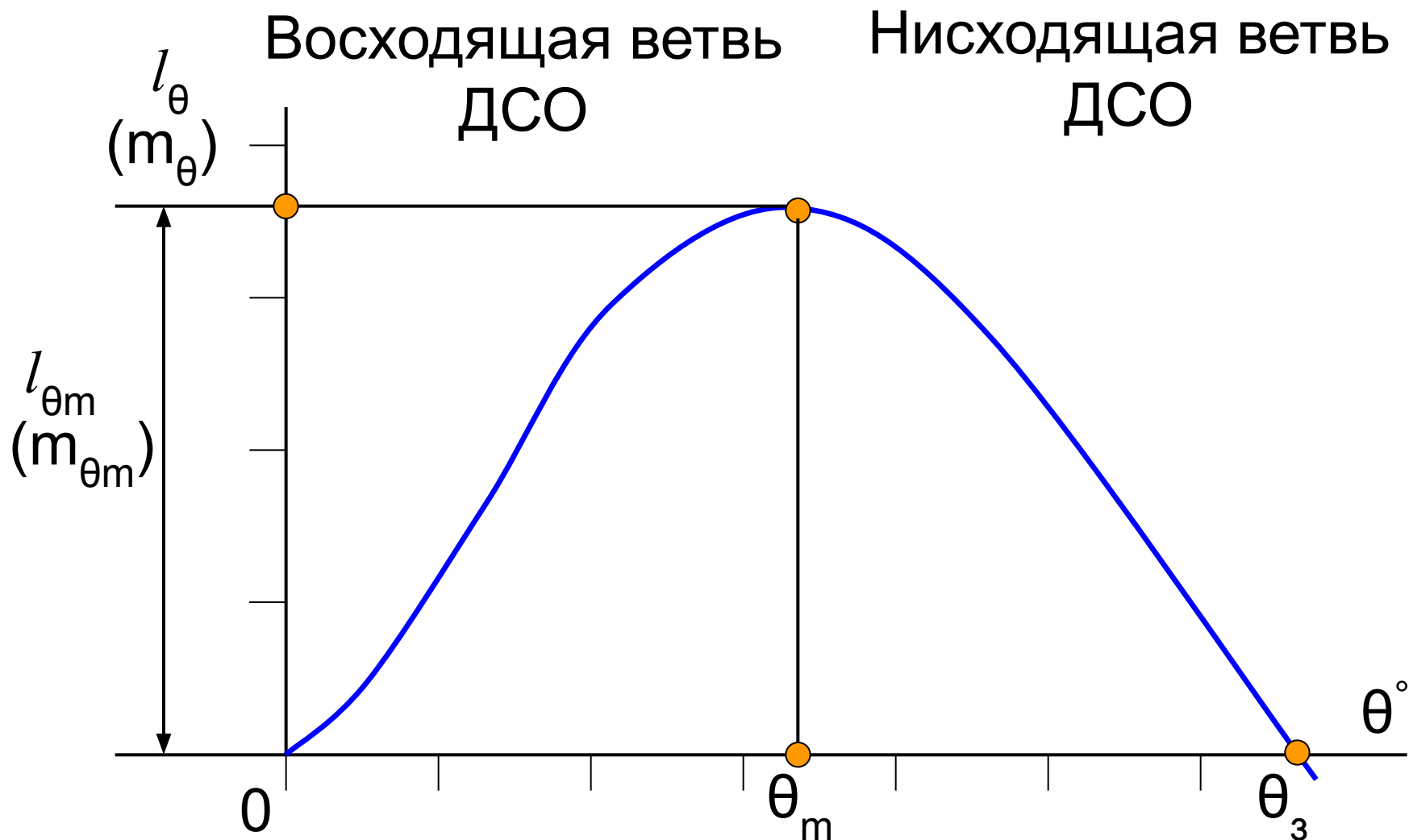


ДСО в масштабе момента, соответствующая наклонениям на оба борта



Диаграммы поперечной статической остойчивости

- В морской практике используют поперечную ДСО в масштабе плеч остойчивости $I_{\theta}(\theta)$
- Поперечную ДСО неповрежденного судна изображают в виде одной ветви, соответствующей наклонению на ПБ



Общие характеристики ДСО

Общие характеристики ДСО

- θ_m – угол максимума ДСО
- θ_z – угол заката ДСО
- $l_{\theta_m} (m_{\theta_m})$ – максимальное плечо статической остойчивости (максимальный восстанавливающий момент)

l_{θ_m} и m_{θ_m} называют запасом статической остойчивости судна

Общие характеристики ДСО грузовых судов в полном грузу

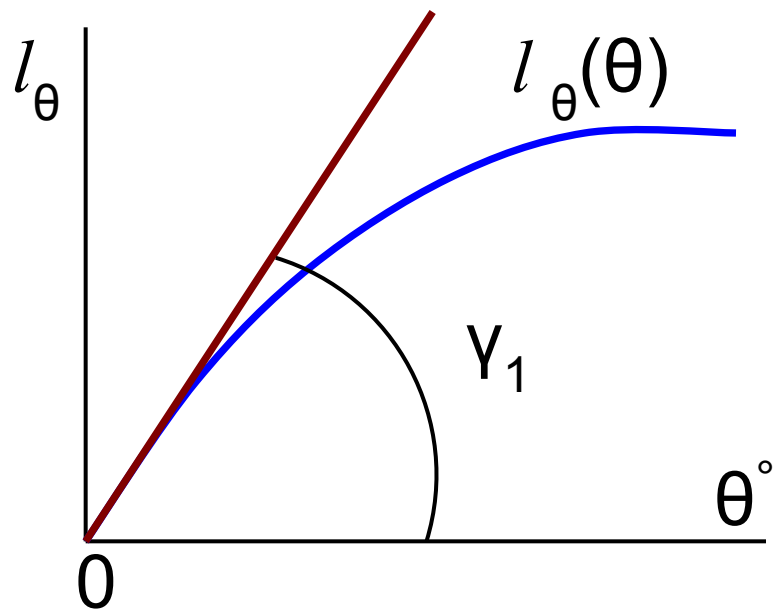
- Углы максимума и заката поперечной ДСО:
 - $|\theta_m| = 25 \div 50^\circ$;
 - $|\theta_3| = 60 \div 100^\circ$
- Угол максимума ДСО обычно близок к углу входа в воду кромки верхней палубы при наклонении

2. Связь ДСО с мерами начальной устойчивости и метацентрическими формулами

Поперечная метацентрическая высота:

$$h = \left. \frac{\partial l_{\theta}}{\partial \theta} \right|_{\theta=0}$$

- h равна тангенсу угла наклона начальной касательной к функции $l(\theta)$
- Поперечная метацентрическая высота равна тангенсу угла наклона начальной касательной к ДСО



$$h = \mu_1 \operatorname{tg} \gamma_1$$

μ_1 [м/град] – масштабный коэффициент

Пояснения – см. учебник «Статика судна», 2009г,
стр. 69

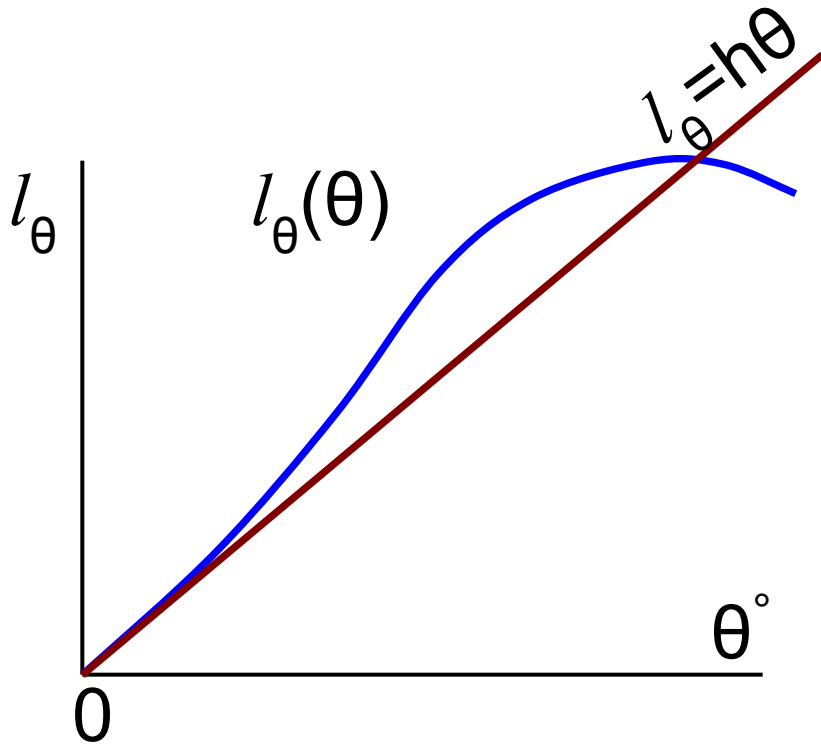
Связь ДСО с метацентрическими формулами

- Уравнение начальной касательной к ДСО имеет вид:

$$l_{\theta} = h \theta$$

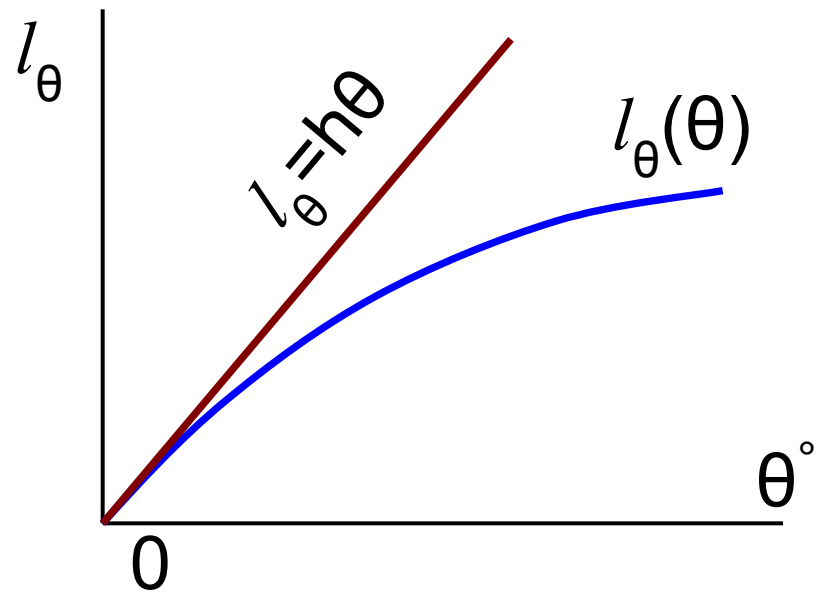
- Это метацентрическая формула
- Начальная касательная к ДСО – это график, изображающий метацентрическую формулу

ДСО с выраженной
“S” - образностью



Высокобортные суда

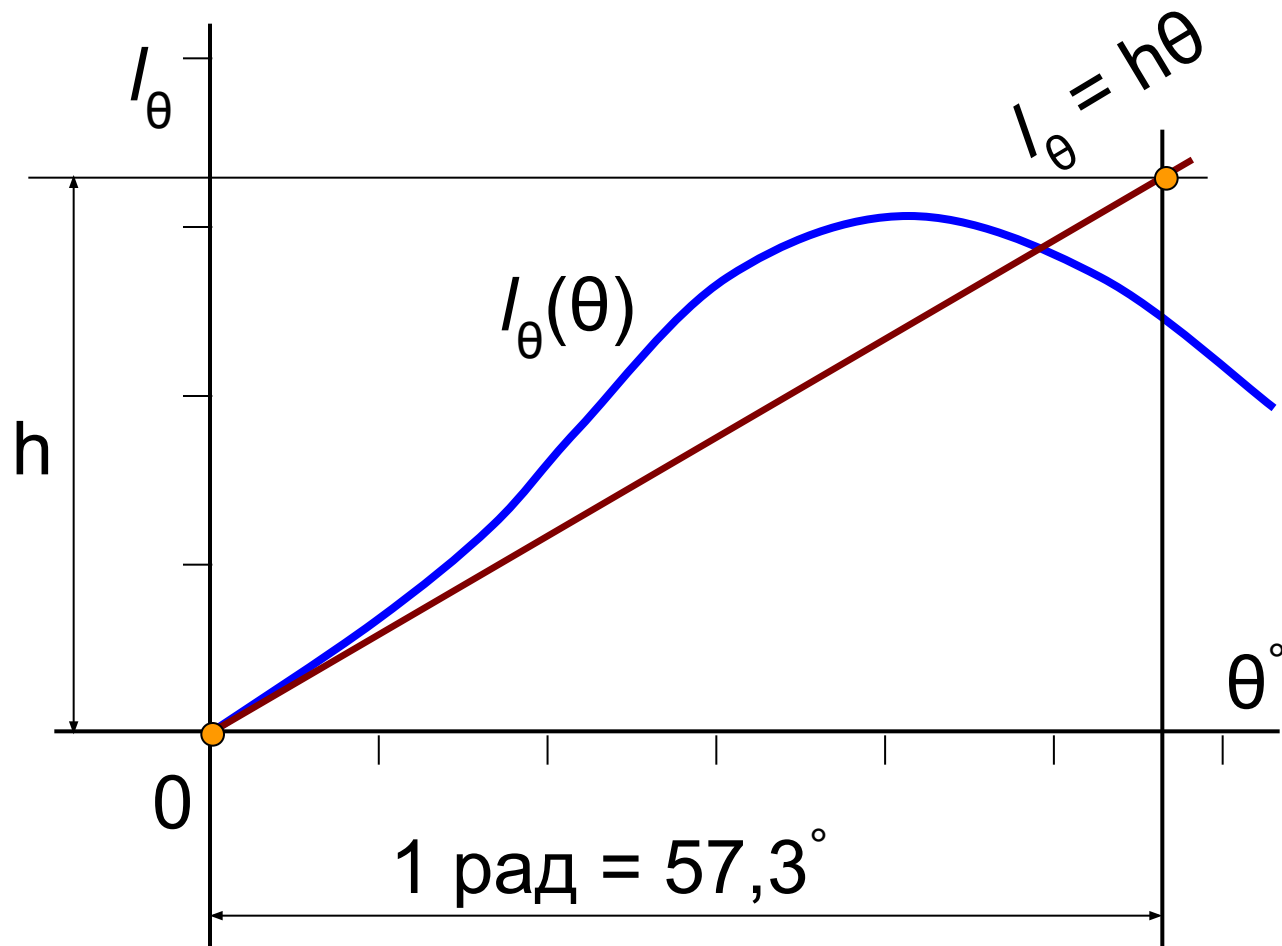
ДСО без
“S” - образности



Наливные суда
в полном грузу

Построение начальной касательной к ДСО

- Цели построения:
 - Проверка правильности выполненного расчета и построения ДСО
 - Уточнение вида начального участка ДСО



В т. $\theta=0$, $l_\theta=0$. В т. $\theta = 1$ ($57,3^\circ$), $l_\theta = h \cdot 1 = h$
 Есть 2 точки прямой: $(0;0)$ и $(57,3;h)$

3. Определение равновесных положений судна по ДСО

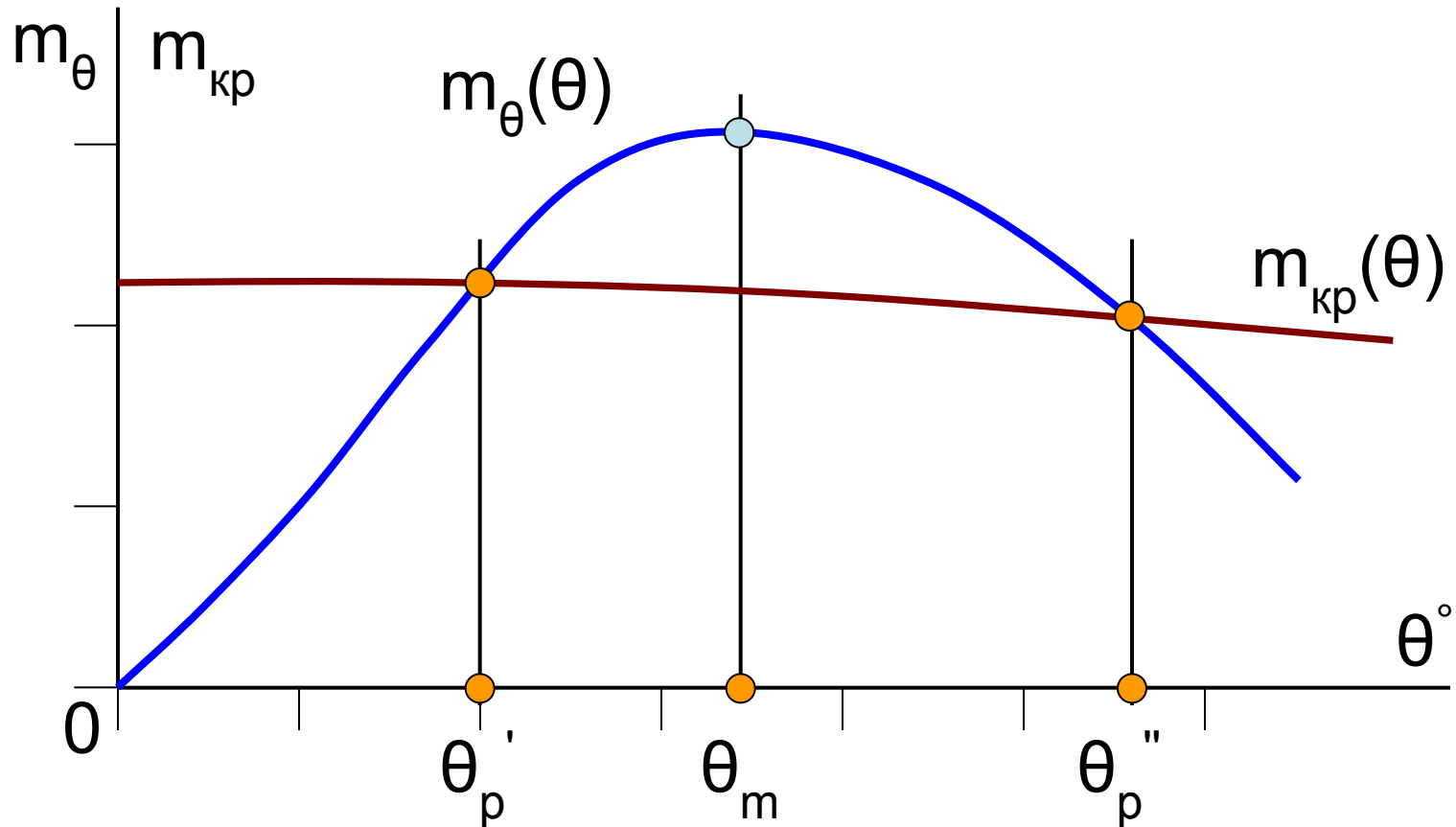
На судно действует кренящий момент $m_{кр}$

- В новом равновесном положении

$$m_{кр} = m_{\theta}$$

- Углы, при которых ДСО пересекается с графиком кренящего момента $m_{кр}(\theta)$ - это равновесные углы крена θ_p

$m_{кр} = m_{\theta}$ при углах θ_p' и θ_p''



На восходящей ветви ДСО $\theta_p' < \theta_m$

На нисходящей ветви ДСО $\theta_p'' > \theta_m$

Два вопроса:

1. Может ли судно иметь сразу два равновесных положения при действии статического кренящего момента?

Ответ: Да!

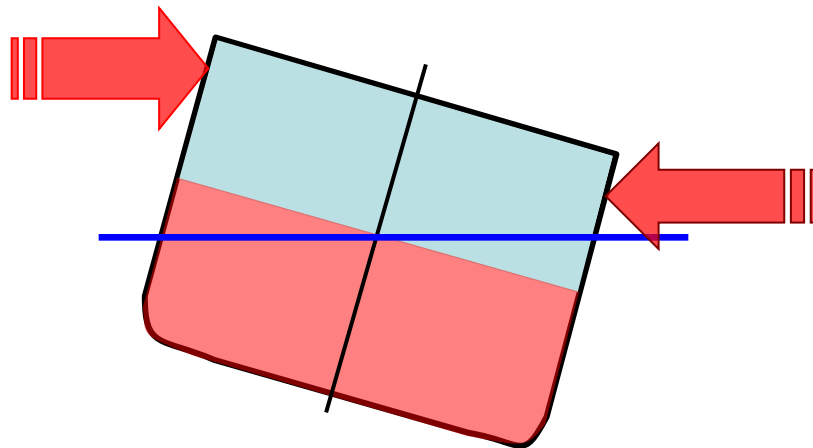
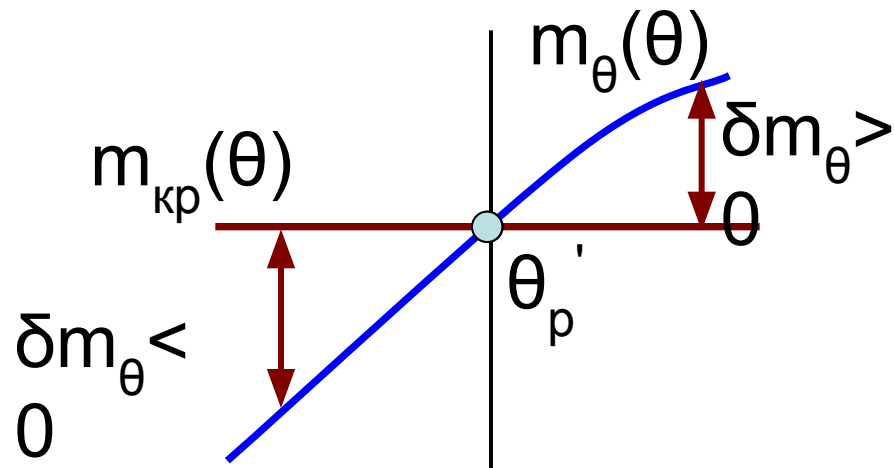
2. Может ли судно плавать неограниченно долго с любым из этих углов крена?

Ответ: Нет!

Углы θ_p' и θ_p'' равновесны

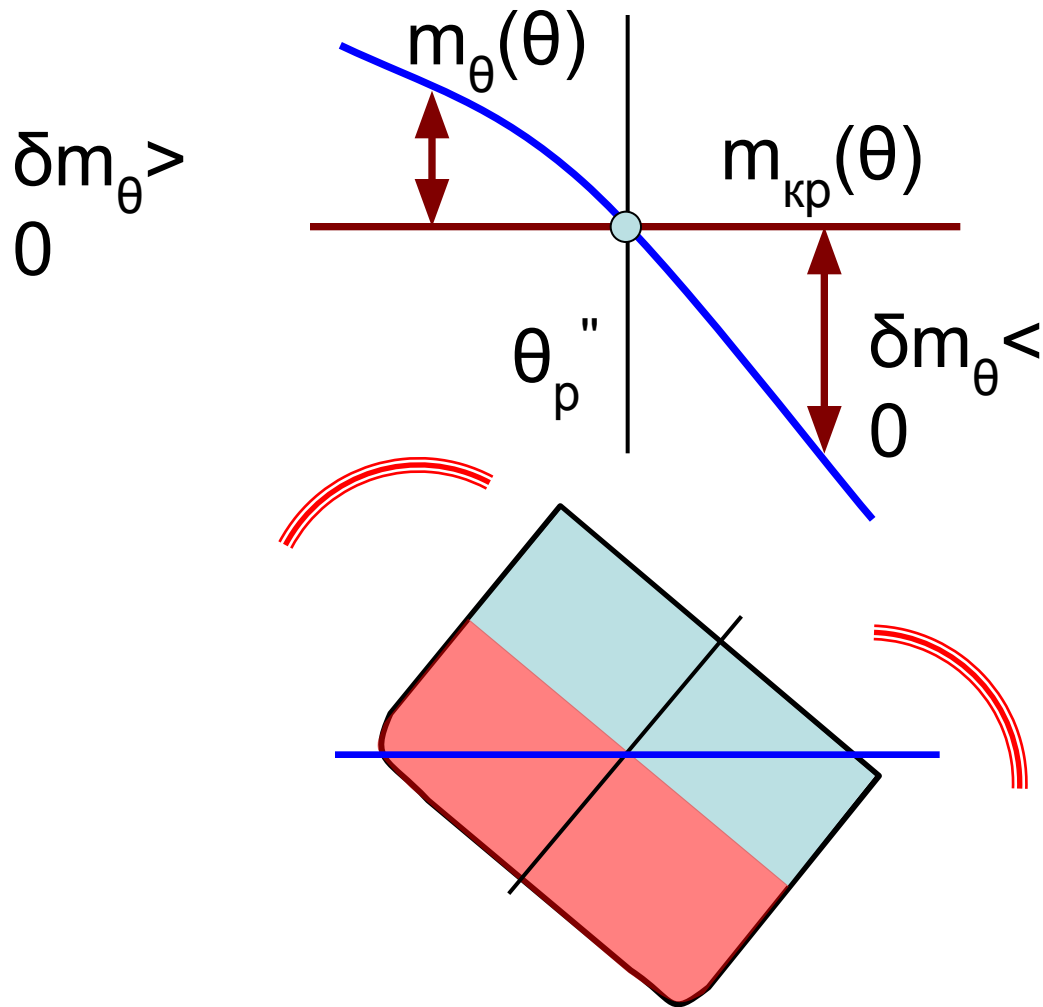
Но оба ли они устойчивы?

Положение устойчиво



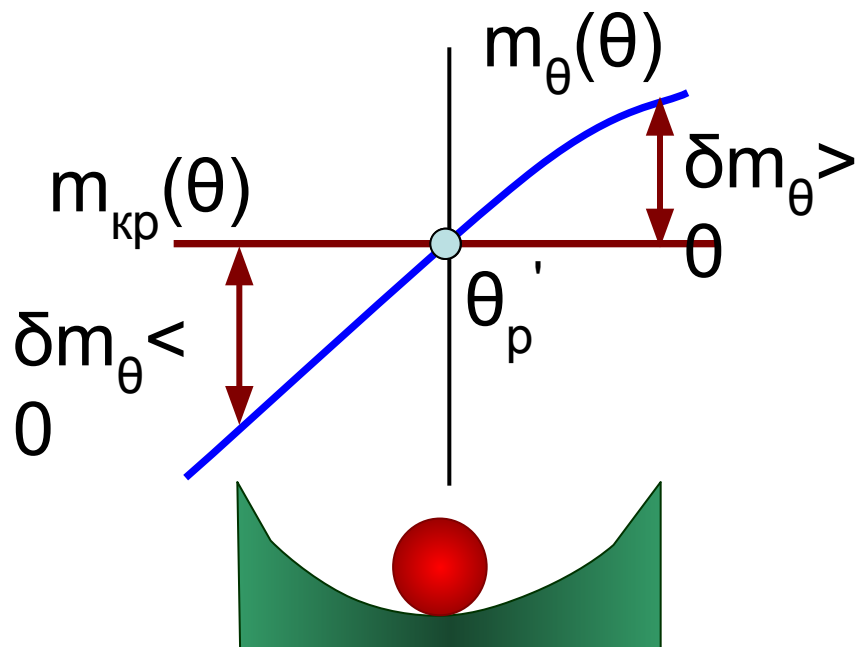
Восходящая ветвь ДСО

Положение неустойчиво

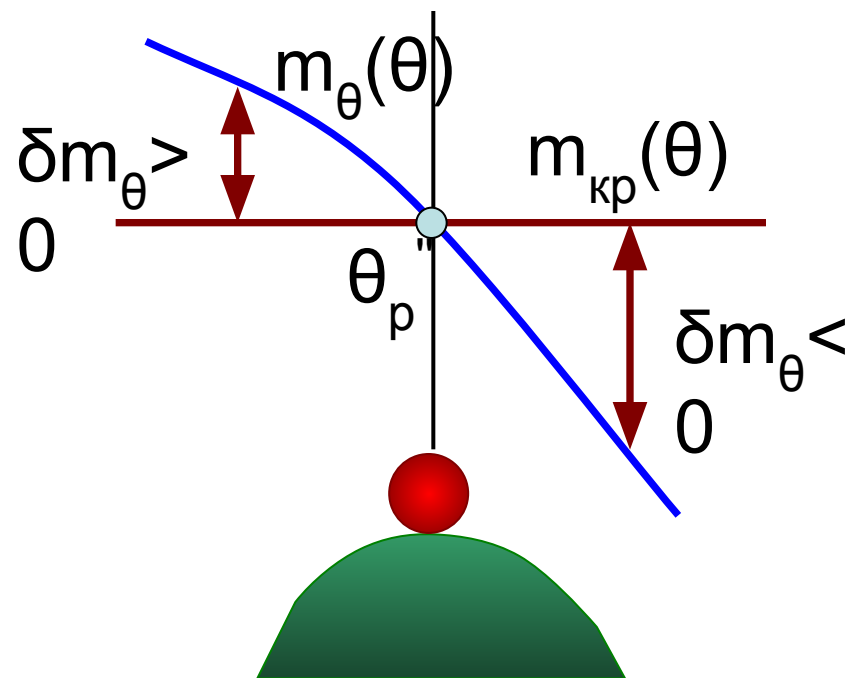


Нисходящая ветвь ДСО

Восходящая ветвь ДСО



Нисходящая ветвь ДСО



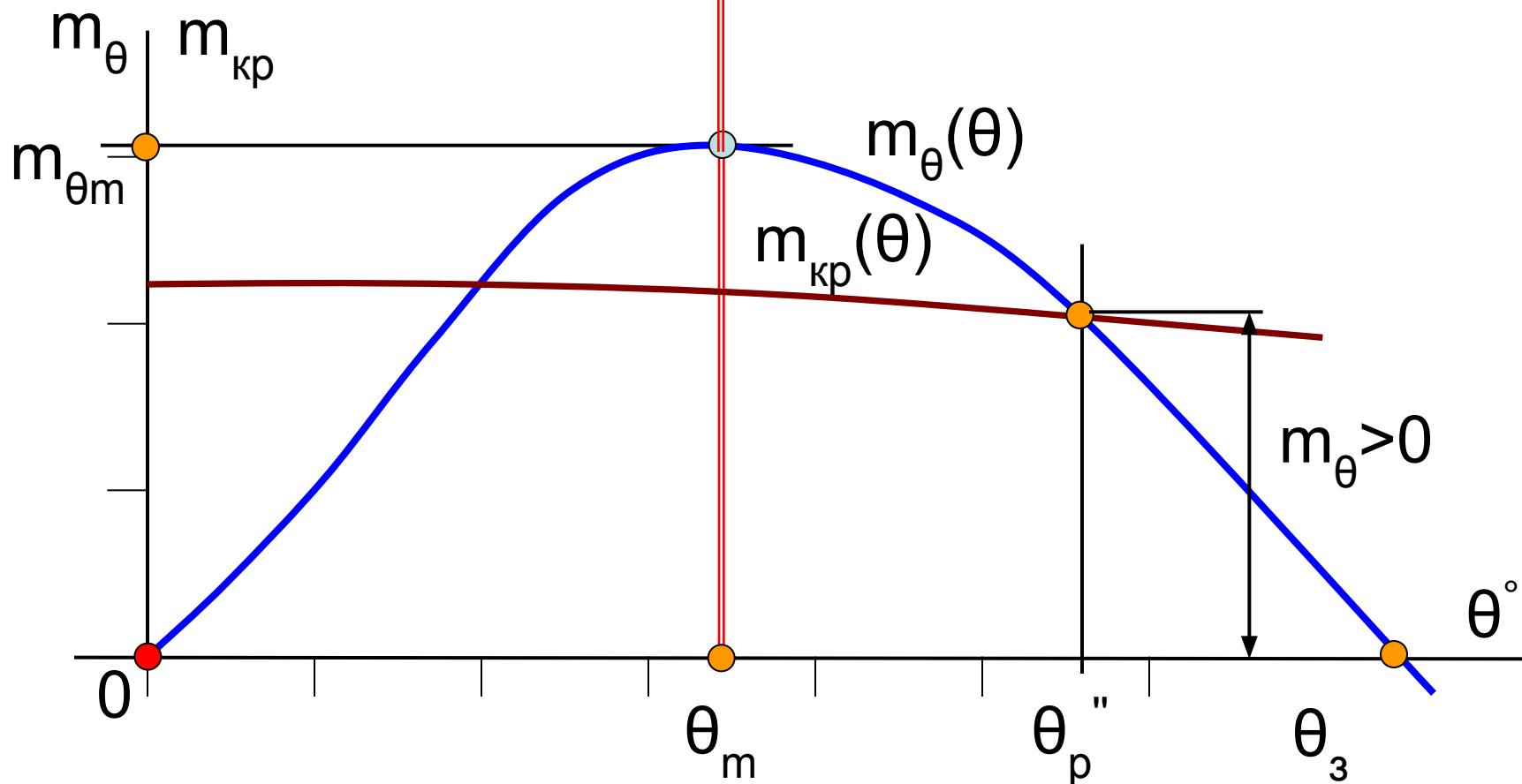
Положение устойчиво

Положение не устойчиво

4. Пределы статической ОСТОЙЧИВОСТИ

Область возможных
устойчивых положений
равновесия

Область неустойчивых
положений равновесия



Возможности наклона судна

- При действии на судно постоянных или мало меняющихся кренящих моментов устойчивые положения возможны только при углах, не превышающих θ_m
- Кратковременные наклоны судно может выдержать до углов, не превышающих угла заката ДСО θ_3

Запас статической остойчивости

- Максимальный восстанавливающий момент $m_{\theta m}$ равен величине предельного постоянного кренящего момента, который может выдержать судно
- Момент $m_{\theta m}$ и плечо $l_{\theta m}$ называют «Запасом статической остойчивости»

Угол максимума ДСО

- Угол максимума ДСО θ_m близок к углу входа в воду кромки верхней палубы судна
- При небольших осадках угол θ_m примерно соответствует углу оголения скулы судна при крене

Опасность ухода в воду верхней палубы

- Уход в воду кромки верхней палубы судна или оголение скулы при крене — признаки возможной близкой потери устойчивости судном, что очень опасно
- Наибольший допустимый крен судна на практике — меньший из двух: угол ухода в воду кромки ВП, либо угол заливания водой внутренних помещений судна

- Сохранение непроницаемости надводного борта судна необходимо не только для поддержания запаса плавучести, но и запаса статической устойчивости

Задание для СМЗ

- Учебник стр. стр. 65-77 внимательно изучить, законспектировать