

**ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова**  
**Факультет навигации и связи**  
**К.т.н., доц. Коротков Б.П.**

**Теория судна. Статика**  
**Лекция № 11**

**Влияние жидких грузов на  
стойчивость судна**



# Вопросы лекции

1. Нейтральные плоскости мер начальной остойчивости
2. Влияние на остойчивость судна жидкого груза со свободной поверхностью
3. Влияние на посадку и остойчивость перемещения и приема жидких грузов

# 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. 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
2. Понимание основных принципов устройства судна, теорий и факторов, влияющих на посадку и остойчивость, а также мер, необходимых для обеспечения безопасной посадки и остойчивости

# 1. Нейтральные плоскости мер начальной остойчивости

# Изменения посадки и остойчивости при приеме малого груза

- Малый груз – это груз, не вызывающий заметного изменения формы и площади ватерлинии судна
- Оценка изменений посадки и остойчивости судна при приеме малого груза производится с помощью приближенных формул

# Приближенное определение приращений метацентрических ВЫСОТ

$$\delta h = \frac{m}{\Delta + m} \left( d + \frac{\delta d}{2} - z_p - h \right);$$

$$\delta H = \frac{m}{\Delta + m} \left( d + \frac{\delta d}{2} - z_p - H \right)$$

- $m$  – масса принимаемого (снимаемого) груза, при снятии груза имеет знак «-»
- $z_p$  – аппликата ЦТ груза

## Нейтральные плоскости метацентрических высот (НП):

- Горизонтальные плоскости, прием – снятие груза в которых не изменяет соответствующую метацентрическую высоту
- Прием груза выше нейтральной плоскости уменьшает МЦВ, ниже – увеличивает
- При снятии груза - наоборот

Положив в формулах  $\delta h$  и  $\delta H$   
 $\delta h = 0$  и  $\delta H = 0$ , получим:

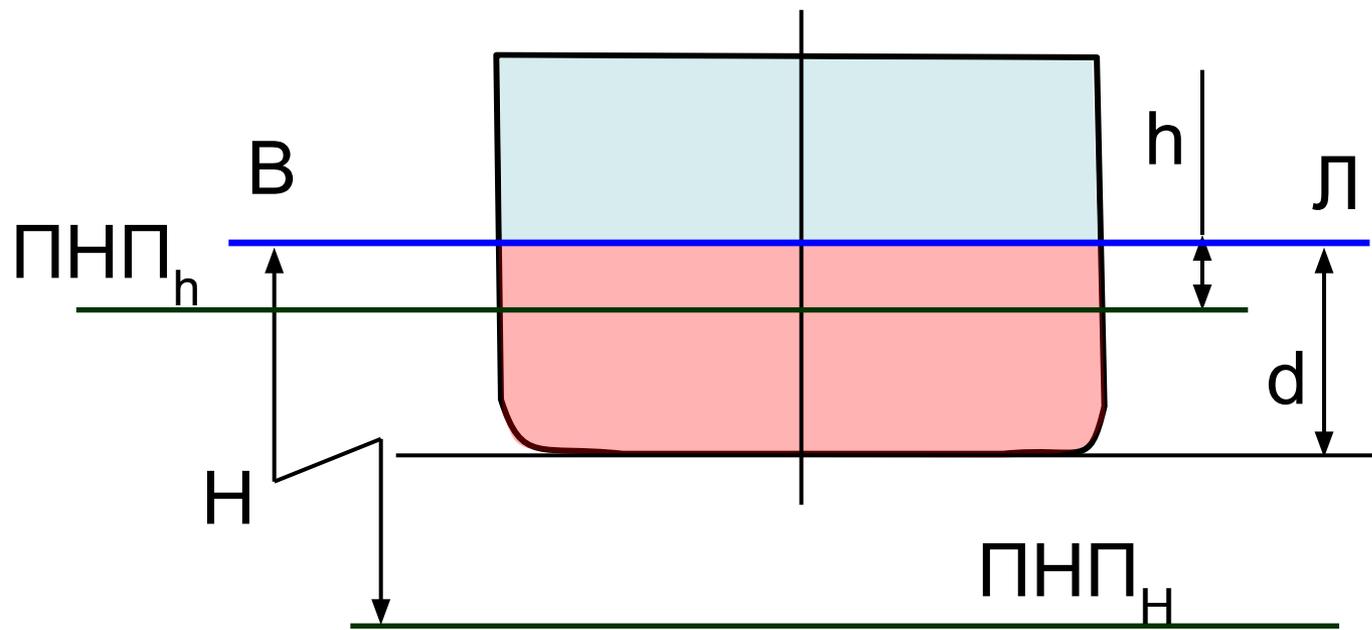
Уравнения нейтральных плоскостей:

$$z_h = d + \frac{\delta d}{2} - h; \quad z_H = d + \frac{\delta d}{2} - H$$

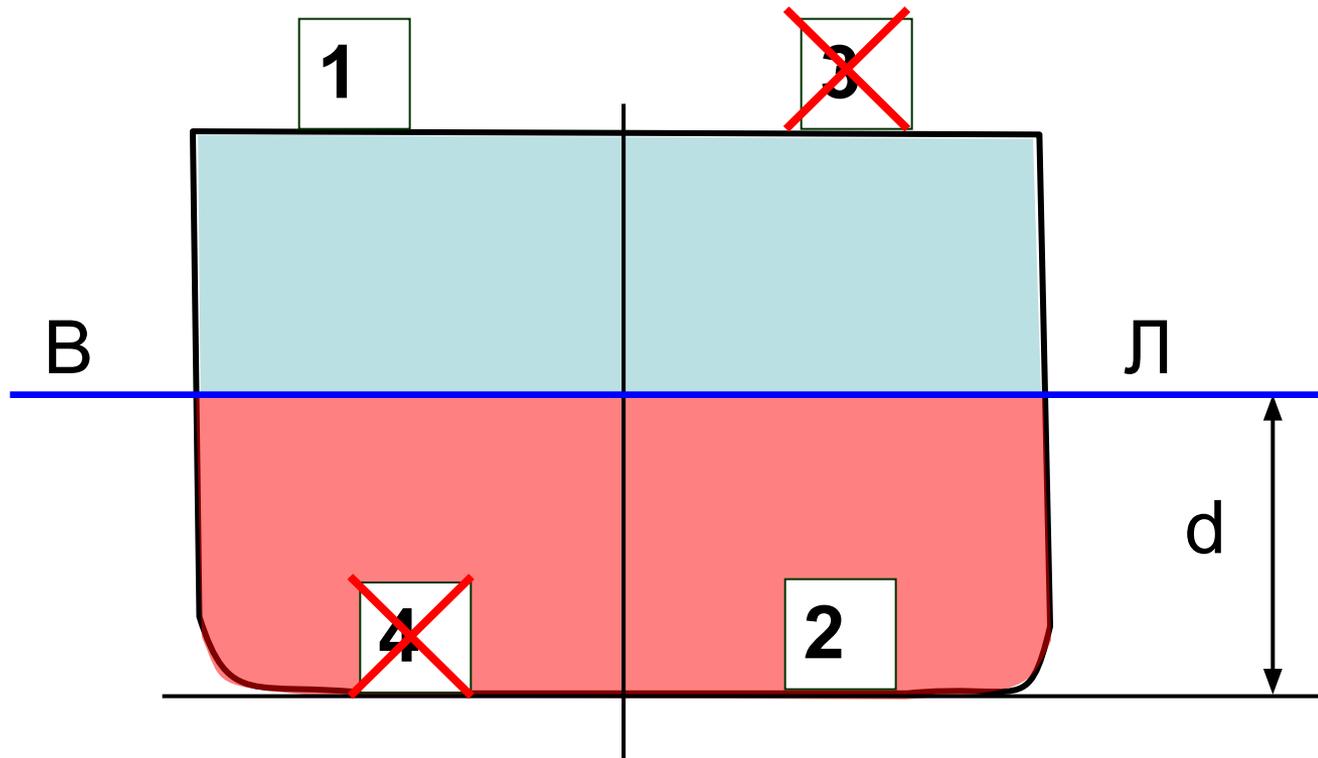
Для малого груза ( $\delta d/2 \approx 0$ )

Уравнения предельных НП:

$$z_h = d - h; \quad z_H = d - H$$



- Прием груза ниже  $\text{ПНП}_h$  увеличивает  $h$
- Прием груза выше  $\text{ПНП}_h$  уменьшает  $h$
- Снятие груза - изменения  $h$  противоположны
- Прием груза всегда уменьшает  $H$
- Снятие груза всегда увеличивает  $H$

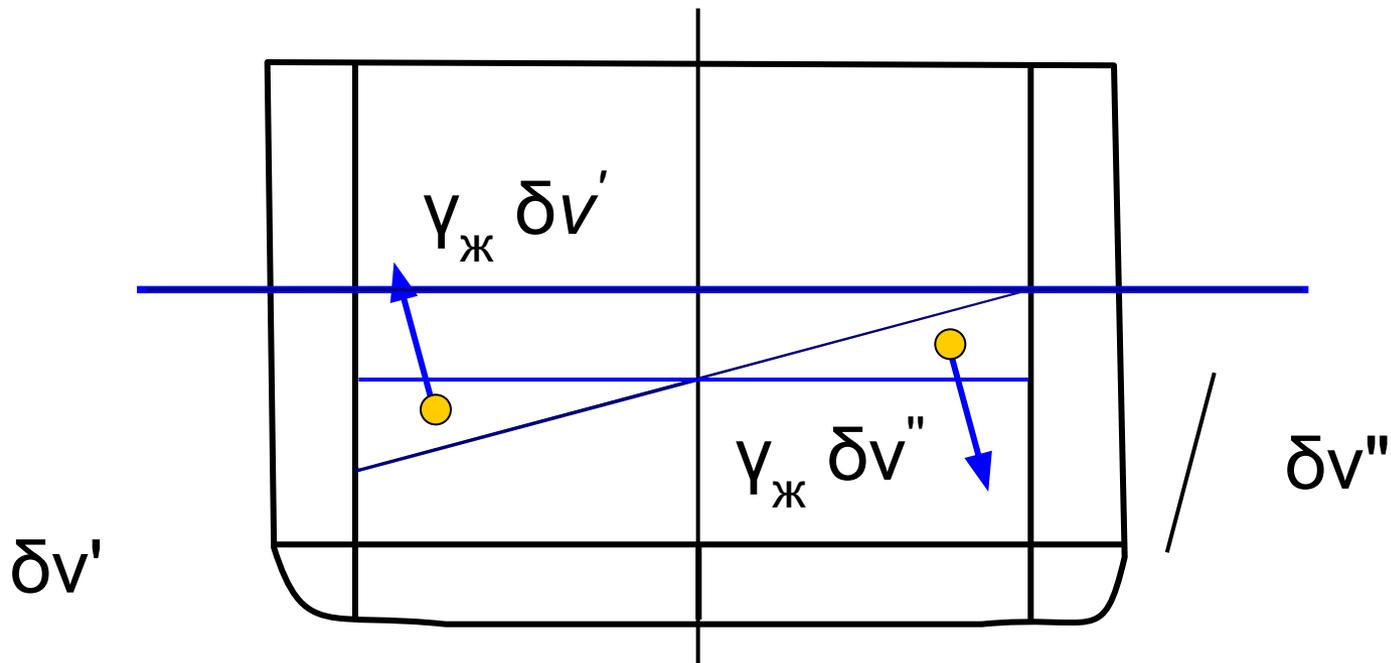


1.  $h$  уменьшилась,  $H$  уменьшилась
2.  $h$  увеличилась,  $H$  уменьшилась
3.  $h$  увеличилась,  $H$  увеличилась
4.  $h$  уменьшилась,  $H$  увеличилась

## 2. Влияние на остойчивость судна жидкого груза со свободной поверхностью

# Жидкие грузы на грузовом судне:

- Топливо, питательная вода, масло
- Балласт в цистернах
- Жидкий груз, заполняющий цистерну частично, имеет свободную поверхность площадью  $s$



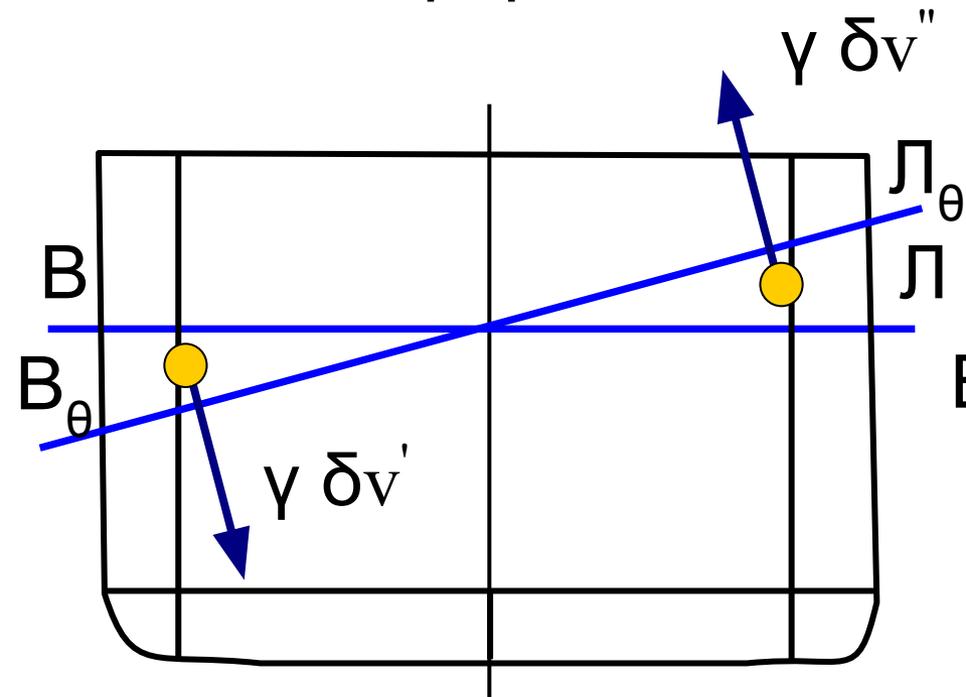
Приращение восстанавливающего момента:

$$\delta m_{\theta_{ж}} = M(\gamma_{ж} \delta v', \gamma_{ж} \delta v'')$$

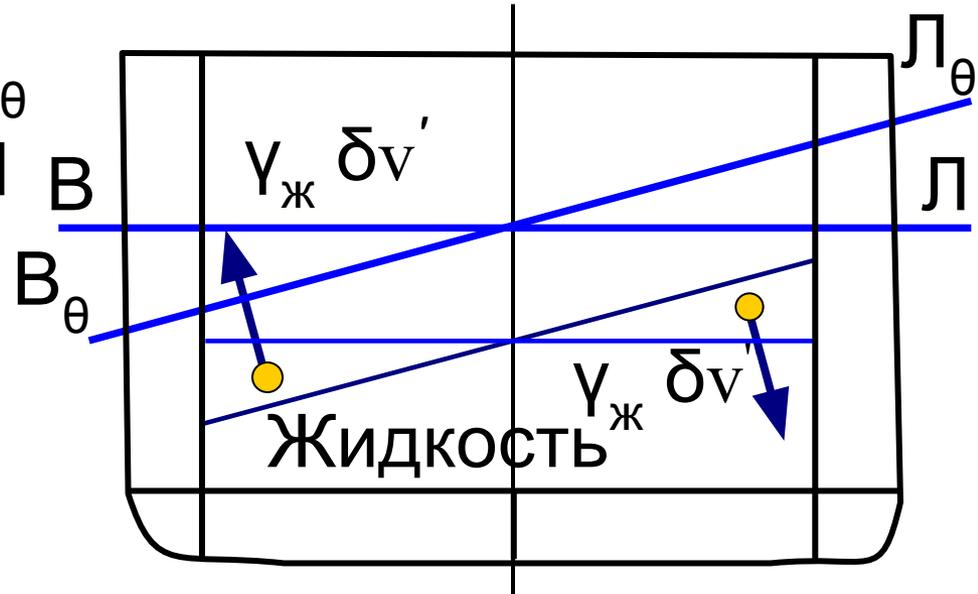
Момент действует в сторону наклонения,  
уменьшая остойчивость судна

# Момент устойчивости формы

# Момент от переливания жидкого груза



$$m_{\theta\phi} = \gamma I_x \theta$$



$$\delta m_{\theta\text{ж}} = -\gamma_{\text{ж}} i_x \theta$$

$I_x$  – момент инерции площади ватерлинии

$i_x$  – момент инерции площади свободной поверхности жидкости

# Приращение восстанавливающего момента

$$\delta m_{\theta ж} = - \gamma_{ж} i_x \theta$$

$$\delta M_{\psi ж} = - \gamma_{ж} i_y \psi$$

- $\gamma_{ж}$  – удельный вес жидкого груза
- $i_x, i_y$  – моменты инерции площади свободной поверхности груза
- Знак «-» показывает, что переливание жидкого груза уменьшает остойчивость.

# Приращение плеча статической ОСТОЙЧИВОСТИ

$$\delta l_{\theta ж} = \frac{\delta m_{\theta ж}}{P} = -\frac{\gamma_{ж}}{\gamma V} i_x \theta = -\frac{\gamma_{ж}}{\gamma} \frac{i_x}{V} \theta$$

или, учитывая, что  $\gamma_{ж} = \rho_{ж} g$ ,  $\gamma = \rho g$ :

$$\delta l_{\theta ж} = -\frac{\rho_{ж}}{\Delta} i_x \theta$$

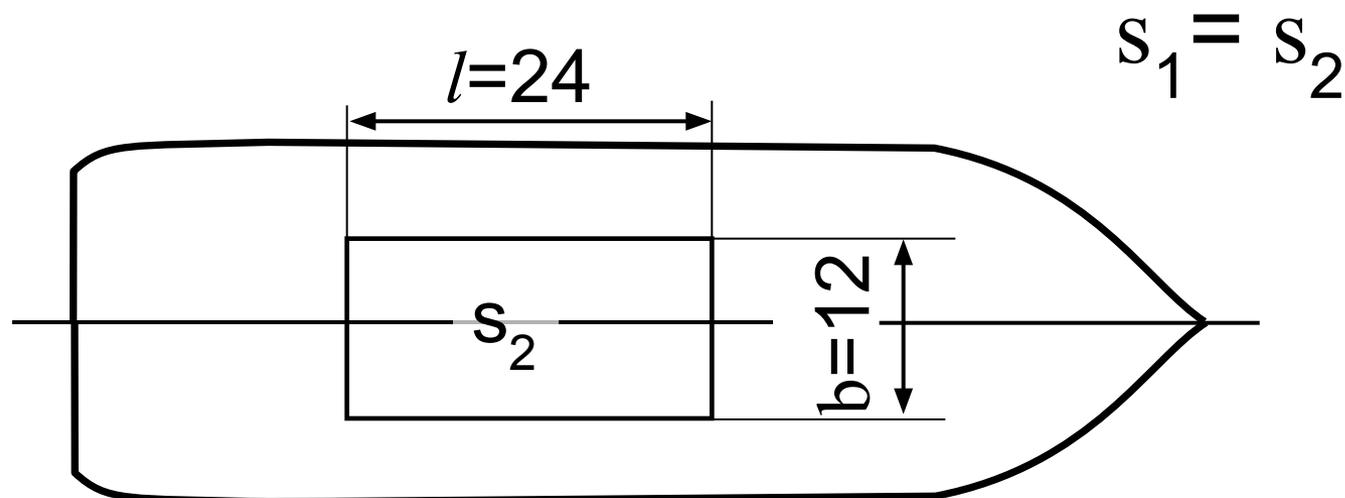
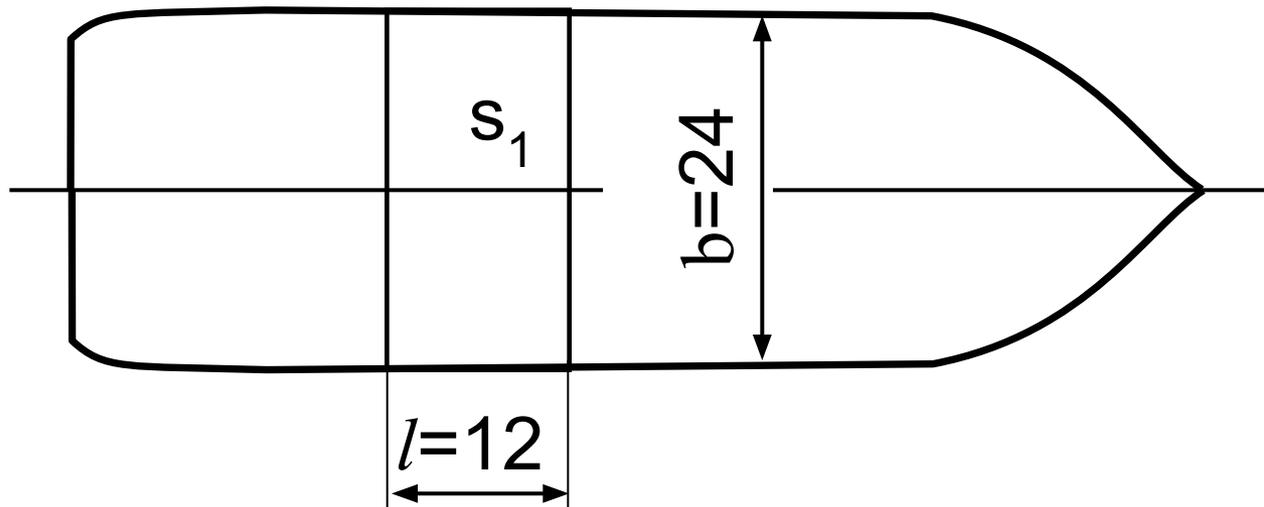
# Изменения метацентрических высот

$$\delta h_{\text{ж}} = -\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \frac{\dot{i}_x}{V}; \quad \delta H_{\text{ж}} = -\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \frac{\dot{i}_y}{V}$$

- Потеря МЦВ зависит от  $\dot{i}_x$  и  $\dot{i}_y$
- Величины  $\dot{i}_x$  и  $\dot{i}_y$  зависят от размеров и формы свободной поверхности
- Увеличение ширины цистерны значительно увеличивает  $\dot{i}_x$

# Численный пример

- Судно  $\Delta = 30\,000\text{т}$
- Частично заполнена пресной водой  
прямоугольная цистерна шириной  $b$  и  
длиной  $l$   
Вар.1:  $b_1 = 24\text{м}$ ,  $l_1 = 12\text{м}$ ,  $s_1 = 288\text{м}^2$   
Вар.2:  $b_2 = 12\text{м}$ ,  $l_2 = 24\text{м}$ ,  $s_2 = s_1 = 288\text{м}^2$
- Заборная вода пресная:  $\rho = \rho_{\text{ж}} = 1,00\text{т/м}^3$



$$s_1 = s_2$$

Цистерны имеют прямоугольную форму

# Моменты инерции свободных поверхностей:

- Для прямоугольника:  $i_x = \frac{1b^3}{12}$
- Для вар. 1:  $i_{x1} = \frac{12 \cdot 24^3}{12} = 13824 \text{ м}^4$
- Для вар. 2:  $i_{x2} = \frac{24 \cdot 12^3}{12} = 3456 \text{ м}^4$
- В итоге:  $i_{x1} = 4i_{x2}$

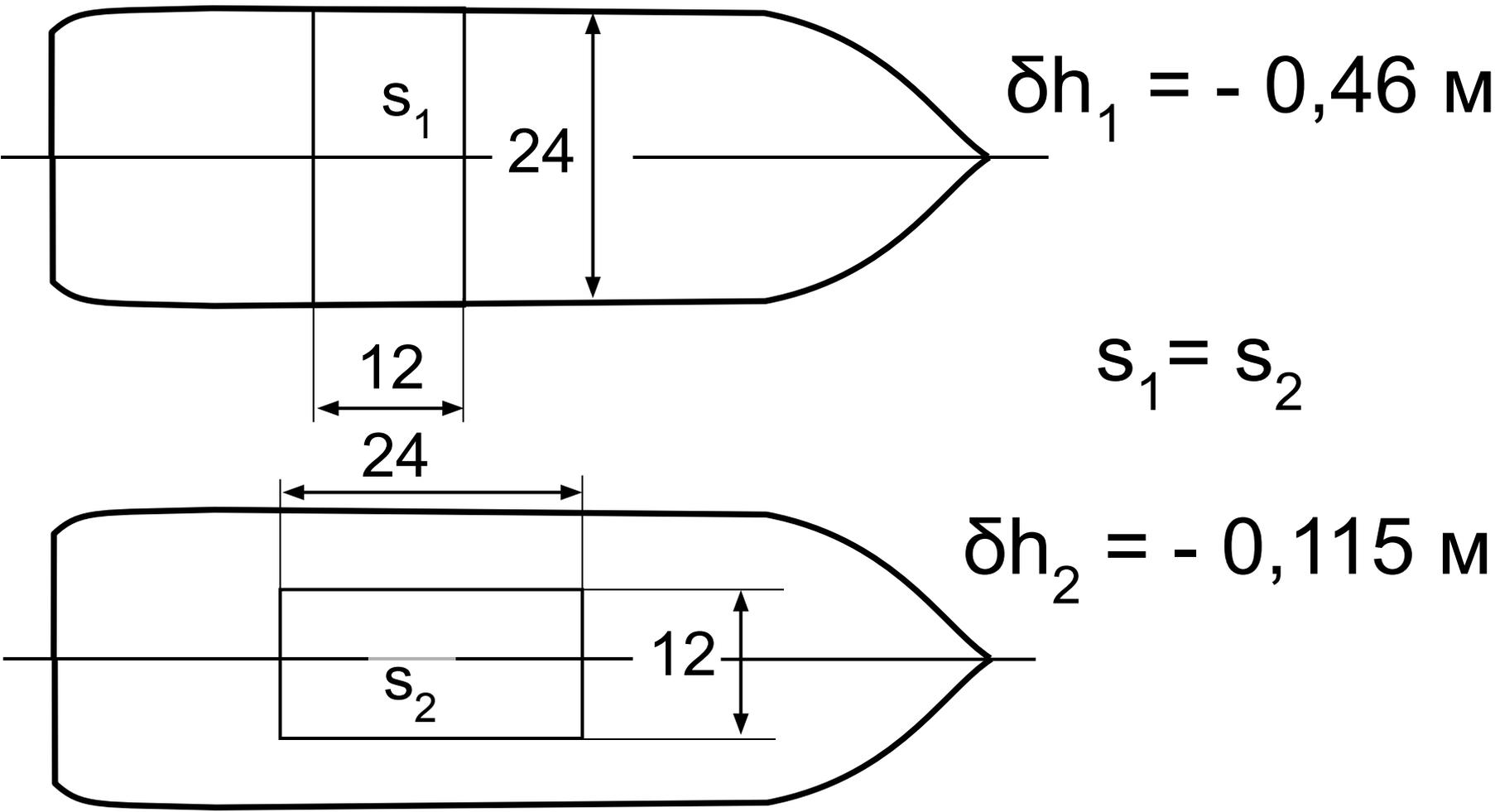
# Приращения метацентрических высот:

$$\delta h = -\frac{\rho_{\text{ж}} \dot{i}_x}{\rho V}$$

$$\delta h_1 = -\frac{1}{1} \frac{13824}{30000} = -0,46\text{м}$$

$$\delta h_2 = -\frac{1}{1} \frac{3456}{30000} = -0,115\text{м}$$

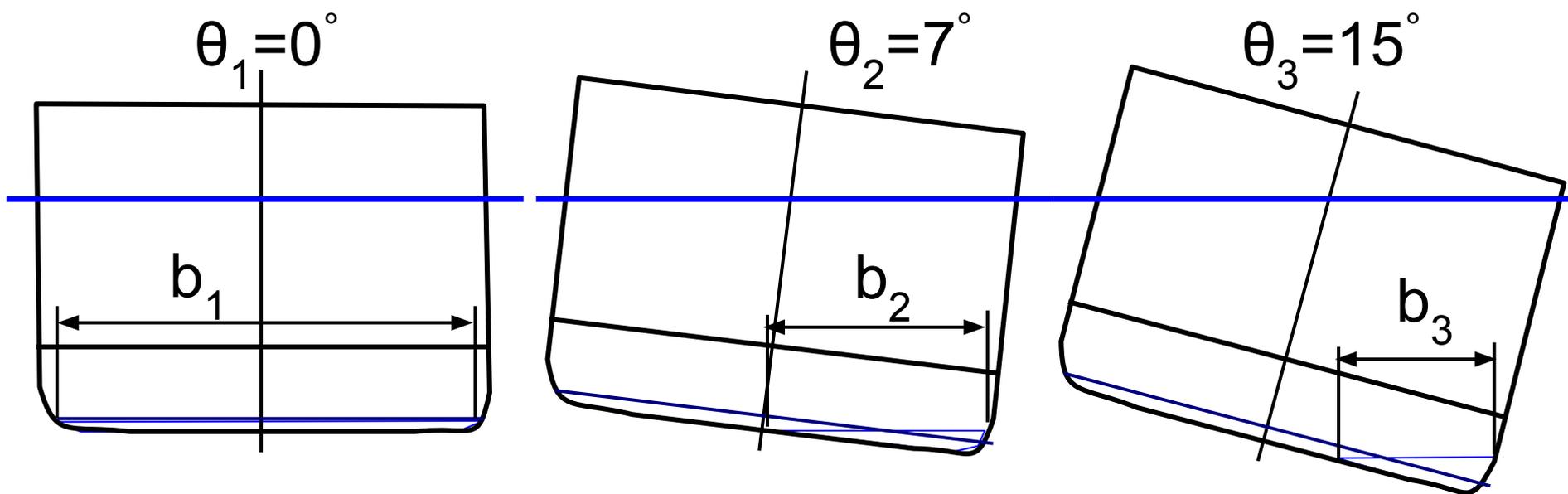
$$|\delta h_1| = 4|\delta h_2|$$



Наибольшие потери поперечной  
 устойчивости создают широкие  
 цистерны

# Влияние жидкого груза на остойчивость недействительно, если:

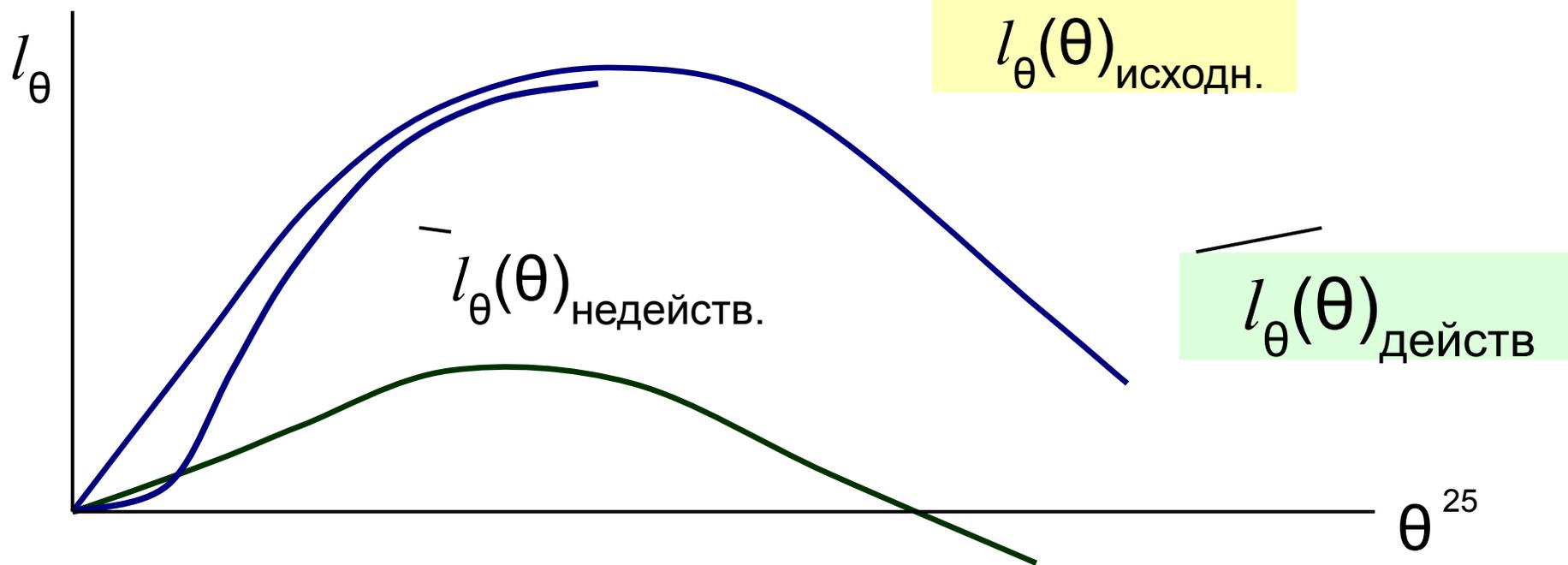
- a) Цистерна заполнена незначительно, или
- b) Цистерна заполнена на значительную часть объема
- При наклонении судна площадь свободной поверхности жидкости значительно уменьшается
- По Правилам Регистра учет переливания жидкого груза производится при заполнении цистерн менее, чем на 98%



$$b_1 > b_2 > b_3$$

$$i_{x1} > i_{x2} > i_{x3}$$

$$|\delta l_{ж1}| > |\delta l_{ж2}| > |\delta l_{ж3}|$$



- Действительное влияние жидких грузов существенно уменьшает начальную остойчивость и остойчивость на больших наклонениях
- При недействительной потере заметно уменьшается только начальная остойчивость

### 3. Влияние на посадку и остойчивость нескольких жидких грузов

- Влияние на остойчивость нескольких жидких грузов зависит от того, сообщаются или нет между собой цистерны с грузами
- Сообщение между цистернами усиливает влияние жидких грузов на остойчивость

# Цистерны с жидким грузом, не сообщающиеся между собой

- Переливание жидкости в каждой из них происходит независимо друг от друга
- Приращения восстанавливающих моментов, плеч остойчивости и метацентрических высот равны суммам поправок, найденных для каждой цистерны отдельно

# Приращение метацентрической ВЫСОТЫ

$$\delta h_{\text{жГ}} = \sum_{i=1}^n \delta h_i = -\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^n \rho_{\text{жГ}} \dot{i}_{\text{xi}}$$

# Учет переливания жидких грузов при расчете нагрузки судна

- Исправленная МЦВ с учетом переливания жидких грузов:

$$h_{\text{испр}} = z_m - z_g + \delta h_{\text{жг}}$$

- Иным образом МЦВ можно представить в виде:

$$h_{\text{испр}} = z_m - (z_g + \delta z_g),$$

где  $\delta z_g = -\delta h_{\text{жг}}$

# Поправка к статическому моменту водоизмещения

- Статический момент водоизмещения судна  $M_z = \Delta \cdot z_g$  увеличивается на  $\delta M_h$  :

$$M_{z \text{ испр}} = M_z + \delta M_h$$

Здесь:  $\delta M_h = -\Delta \cdot \delta h_{жг}$ , [т м]

$\Delta$  - водоизмещение судна, [т]

# Определение поправок $\delta M_{hi}$

- $\delta M_{hi}$  для каждой цистерны занесены в таблицы данных по судовым запасам и балластным танкам в «Информации капитану...»
- При расчете нагрузки судна эти поправки суммируются и прибавляются к статическому моменту дедвейта:

$$\delta M_h = \sum \delta M_{hi}$$

# Влияние на остойчивость сообщения между цистернами

- Количество переливающейся жидкости между сообщающимися бортовыми цистернами при наклонении судна возрастает
- Возрастает и потери остойчивости, причем, тем больше, чем дальше друг от друга расположены цистерны

# Выводы

1. Наличие большого количества цистерн, частично заполненных жидкостью, может существенно снизить остойчивость судна
2. Судовая инструкция по расходованию запасов запрещает одновременное расходование жидких грузов из многих цистерн

### 3. Влияние на посадку и остойчивость приема и перемещения жидких грузов

# Прием-снятие и перемещение жидких грузов

- Расчет посадки и остойчивости выполняется так же, как и расчет для твердого груза плотностью  $\rho_{ж}$  (см. лекцию №10)
- К найденным метацентрическим высотам прибавляются поправки на переливание  $\delta h_{жг}$  и  $\delta H_{жг}$

# Задание на самостоятельную работу:

- Пособие «Теория судна. Статика»:
  - Стр. стр. 116 – 117 прочитать
  - Стр. стр. 117 – 121 проработать
  - Стр. 121 – 123 Влияние сообщения между цистернами – изучить и законспектировать

Конец