

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 δh и δH
 $\delta h = 0$ и $\delta H = 0$, получим:

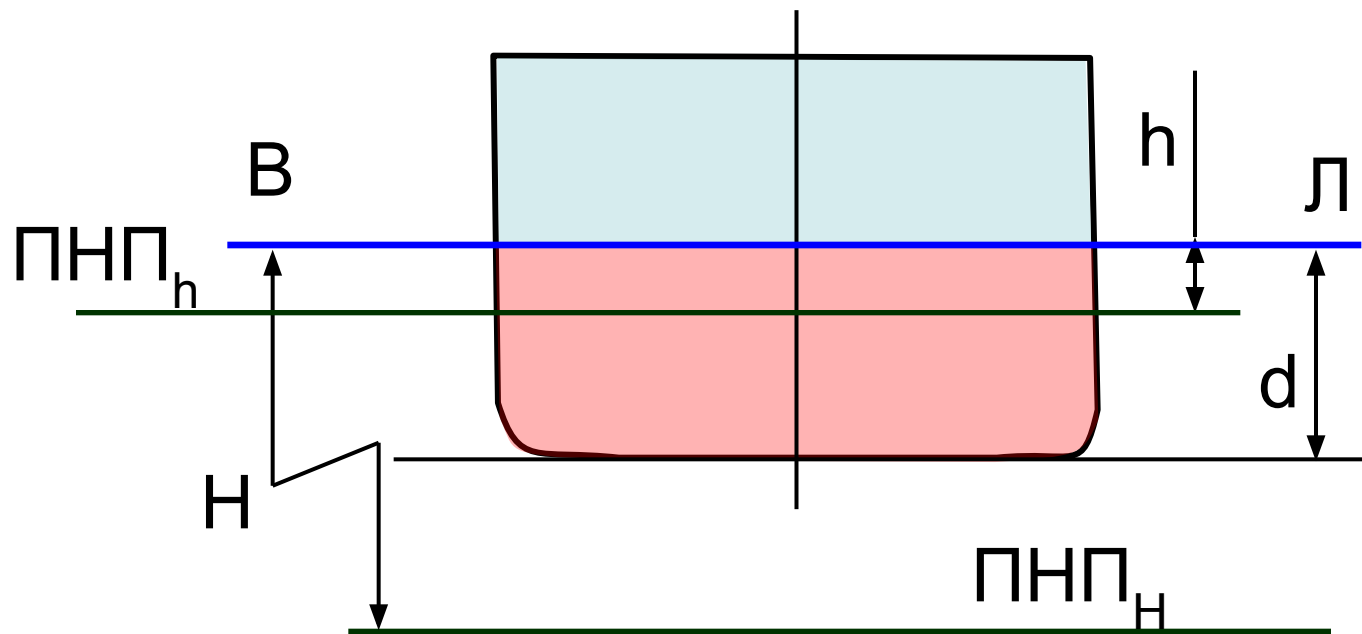
Уравнения нейтральных плоскостей:

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

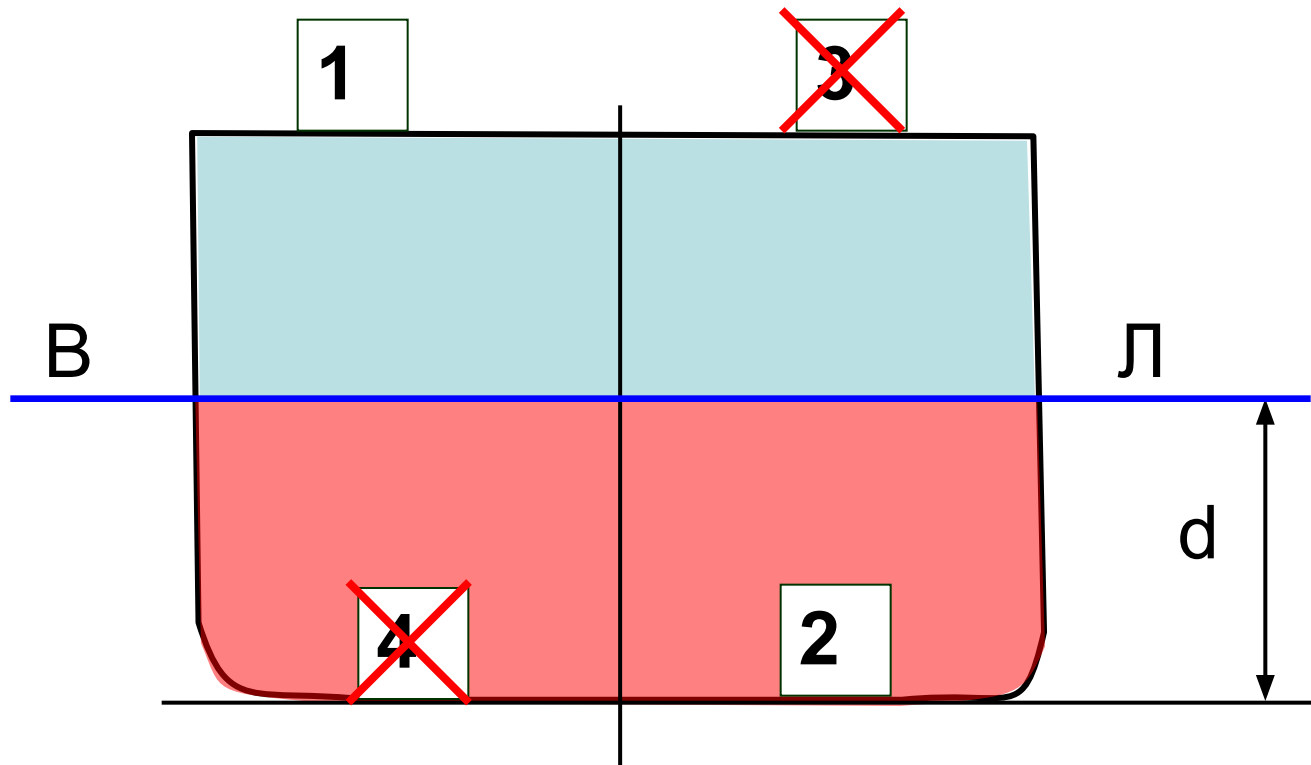
Для малого груза ($\delta d/2 \approx 0$)

Уравнения предельных НП:

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



- Прием груза ниже ПНП_h увеличивает h
- Прием груза выше ПНП_h уменьшает h
- Снятие груза - изменения h противоположны
- Прием груза всегда уменьшает H
- Снятие груза всегда увеличивает H

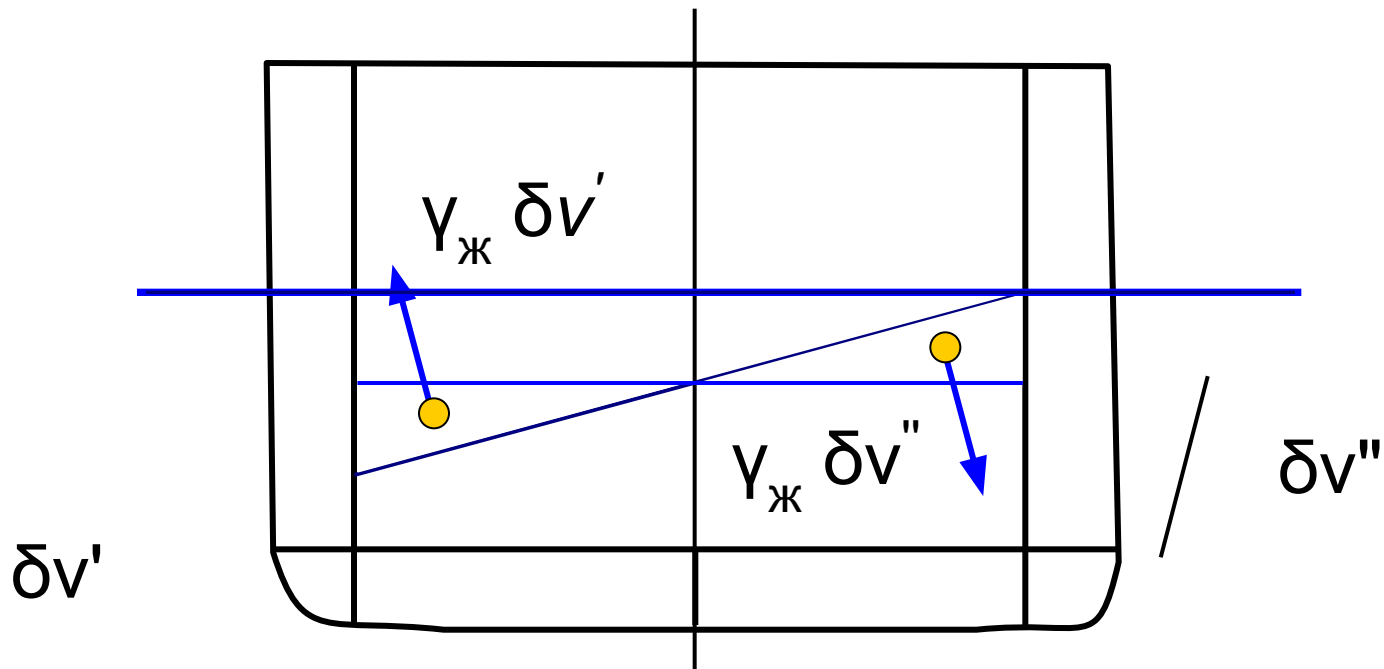


1. h уменьшилась, H уменьшилась
2. h увеличилась, H уменьшилась
3. h увеличилась, H увеличилась
4. h уменьшилась, H увеличилась

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



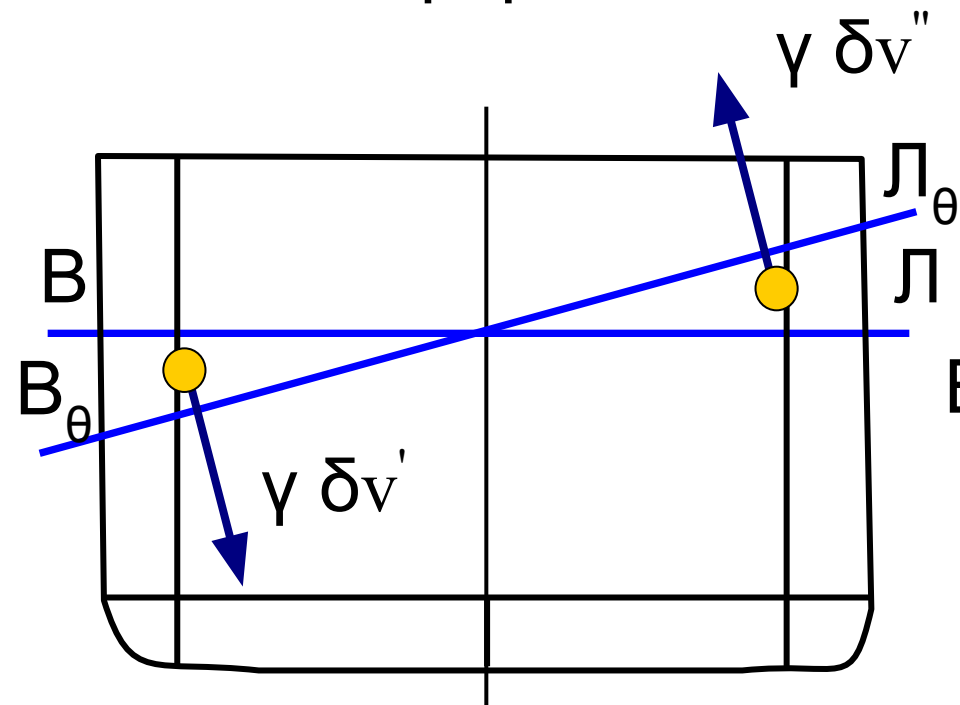
Приращение восстанавливающего момента:

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

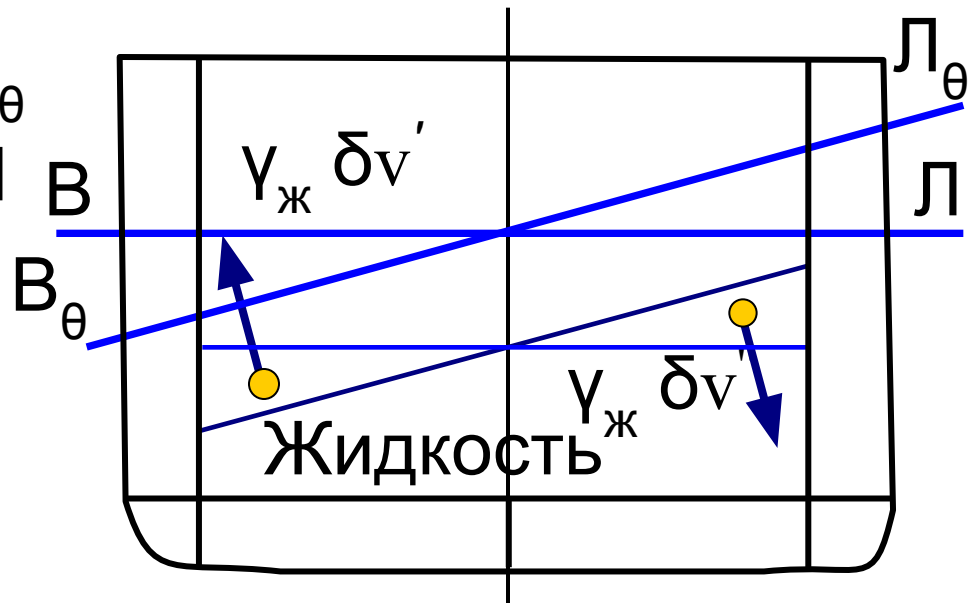
Момент действует в сторону наклона,
уменьшая остойчивость судна

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

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

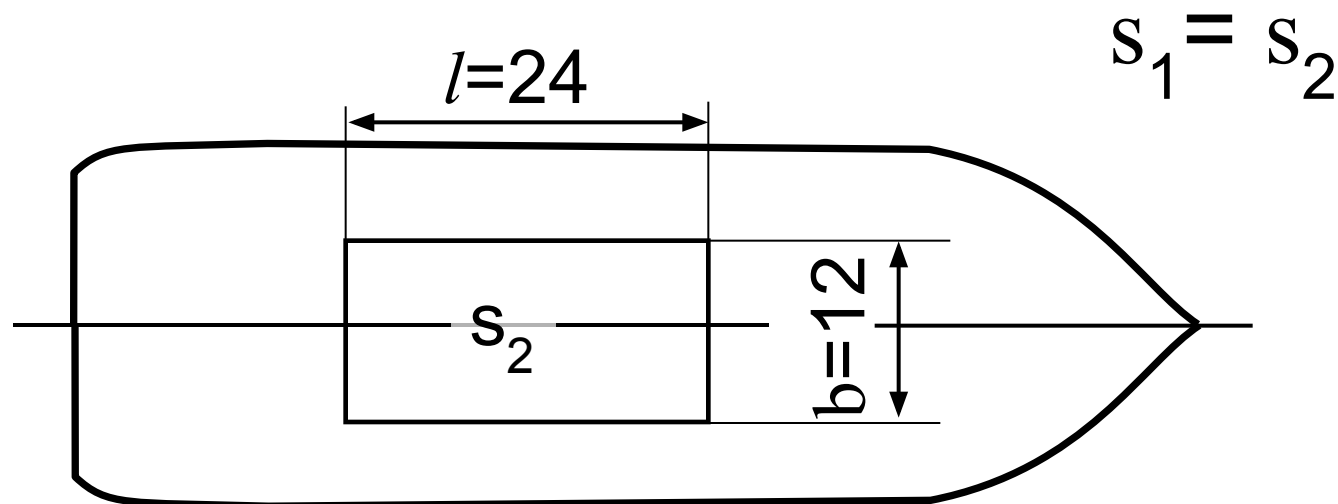
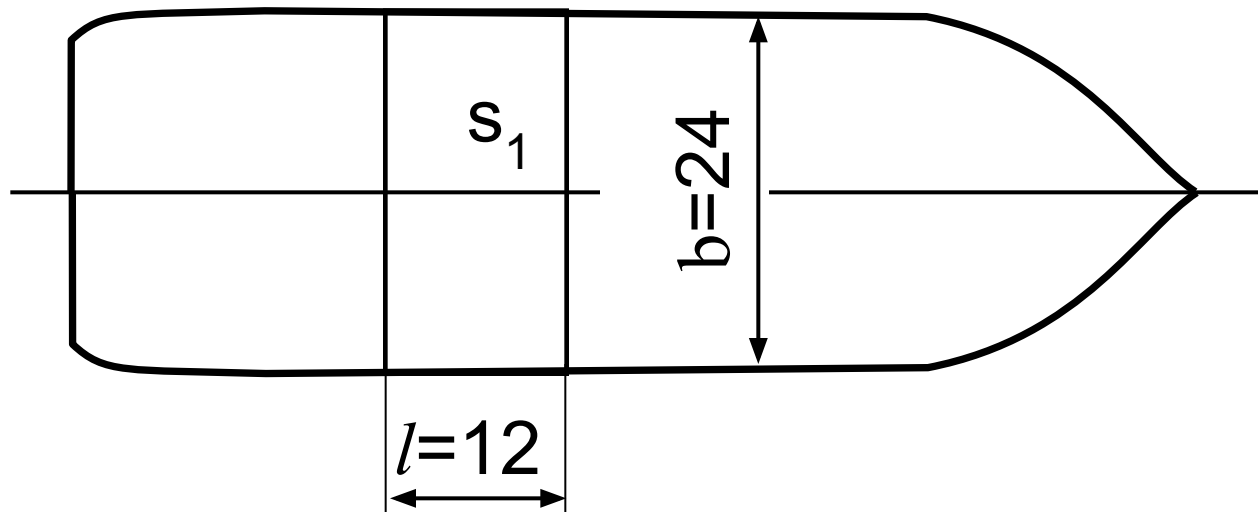
Изменения метацентрических высот

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

- 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: $b_2 = 12\text{м}$, $l_2 = 24\text{м}$, $s_2 = s_1 = 288\text{м}^2$
- Забортная вода пресная: $\rho = \rho_{\text{ж}} = 1,00\text{т/м}^3$



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: $i_{x1} = 4i_{x2}$

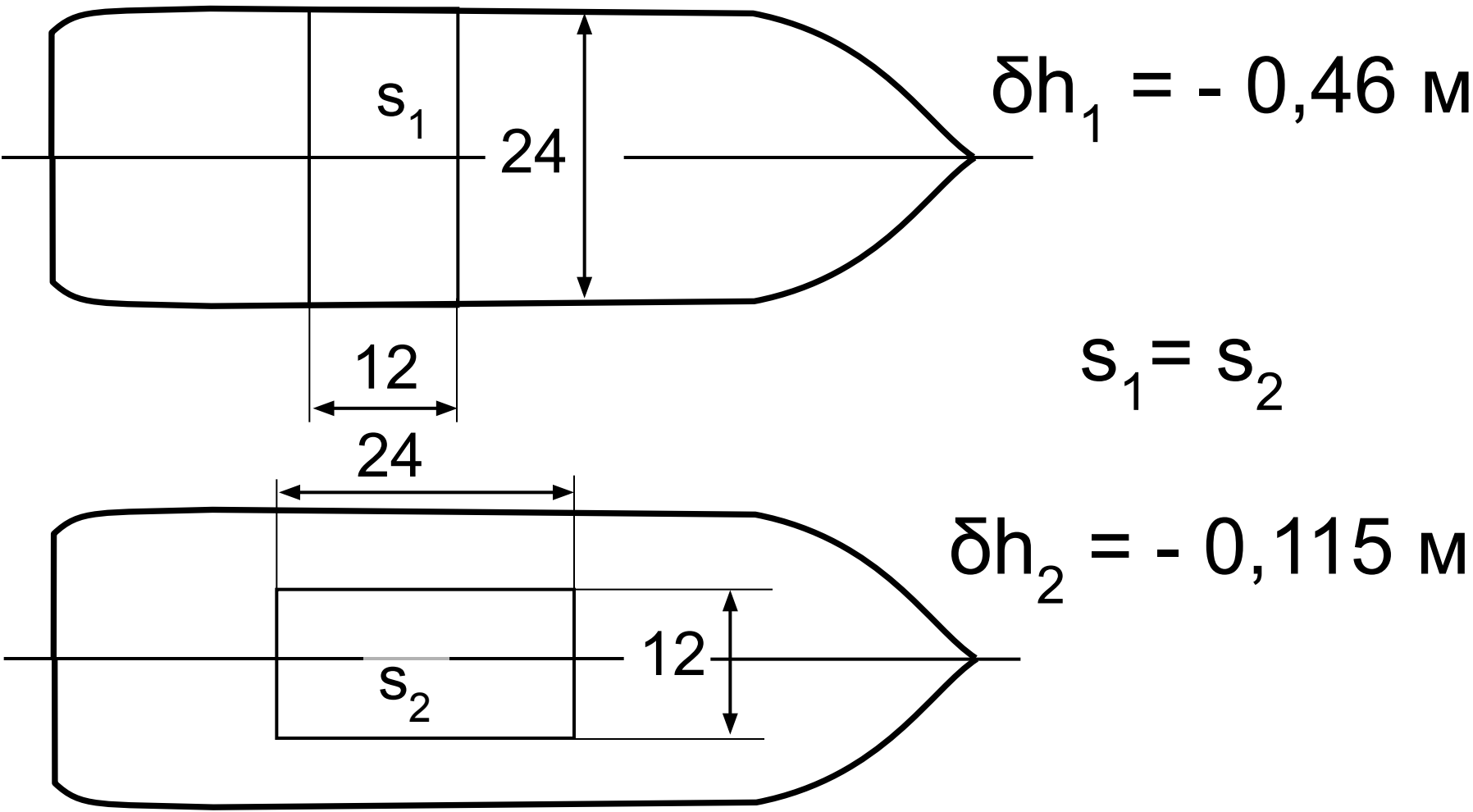
Приращения метацентрических высот:

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

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

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

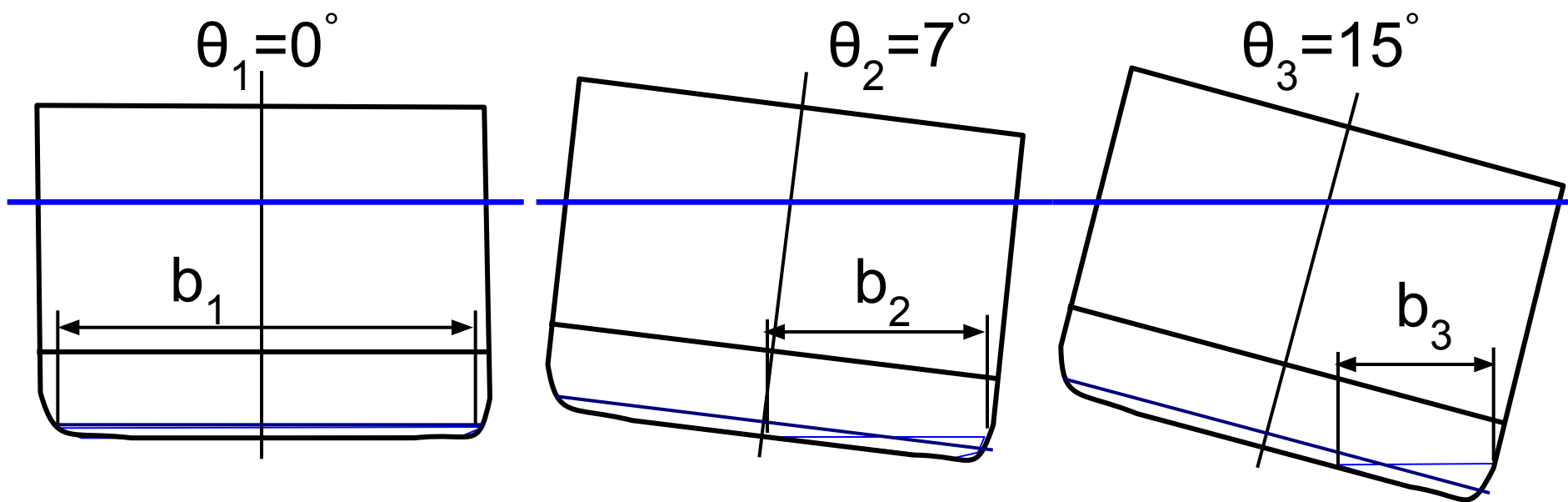
$$|\delta h_1| = 4|\delta h_2|$$



Наибольшие потери поперечной
 остойчивости создают широкие
 цистерны

Влияние жидкого груза на остойчивость недействительно, если:

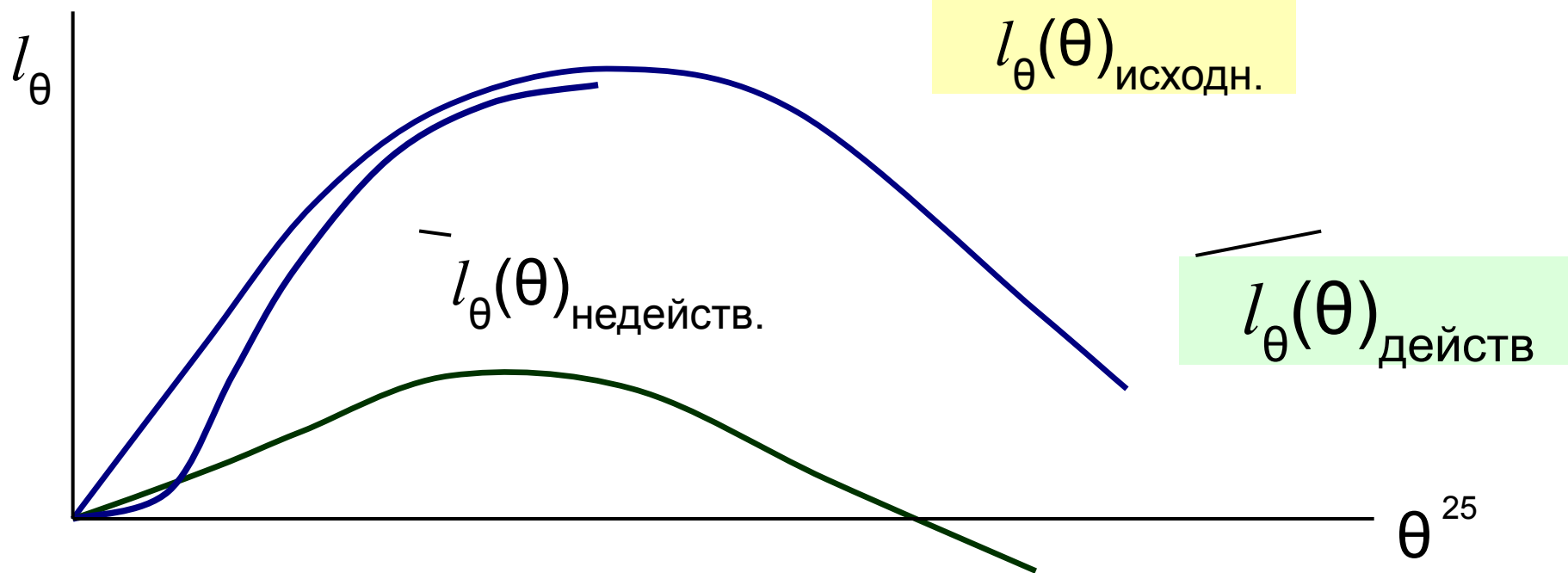
- a) Цистерна заполнена незначительно, или
- b) Цистерна заполнена на значительную часть объема
- При наклонении судна площадь свободной поверхности жидкости значительно уменьшается
- По Правилам Регистра учет переливания жидкого груза производится при заполнении цистерн менее, чем на 98%



$$b_1 > b_2 > b_3$$

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

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



- 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

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

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 δM_h :

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

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

Δ - водоизмещение судна, [т]

Определение поправок δM_{hi}

- δM_{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