

ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова

Факультет навигации и связи

Кафедра Маневрирования и управления судном

Теория судна. Статика

Лекция № 2

Нагрузка судна



К.т.н., доц. Коротков Б.П.

Учебные вопросы

1. Условия и уравнения равновесия судна
2. Определение массы и координат центра тяжести судна. Нагрузка судна

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

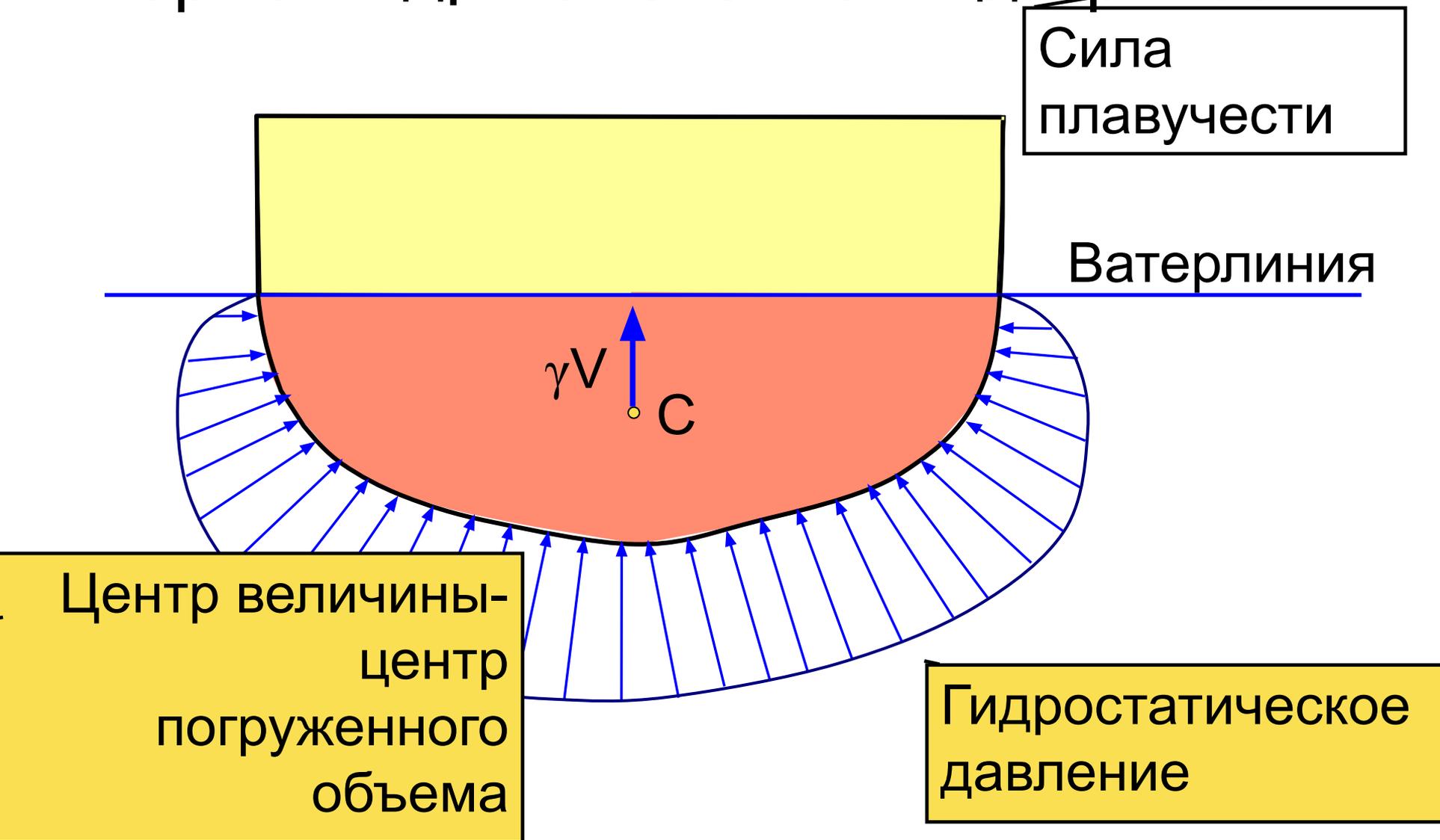
- Знание влияния груза, включая тяжеловесные грузы, на мореходность и остойчивость судна

1. Условия и уравнения равновесия судна

Силы, действующие на судно, плавающее без движения:

- Силы тяжести, приложенные к каждому элементу массы судна
- Поверхностные силы гидростатического давления, действующие на погруженную часть корпуса судна

Сила плавучести равна действующая нормальным статическим давлениям



Сила плавучести судна:

- Равна силе тяжести воды, вытесненной судном
- Направлена вертикально вверх
- Приложена в центре погруженной части непроницаемого объема судна C
- Точка C (x_c, y_c, z_c) называется центром величины (ЦВ) погруженного объема судна

Сила плавучести равна γV

$\gamma = \rho g$ – удельный вес забортной воды (кН/м^3)

V – объемное водоизмещение (м^3)

ρ - плотность забортной воды (т/м^3)

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$

- Плотность воды в морях России:
 - от $1,002 \text{ т/м}^3$ (заливы Балтийского моря)
 - до $1,027 \text{ т/м}^3$ (Японское море)

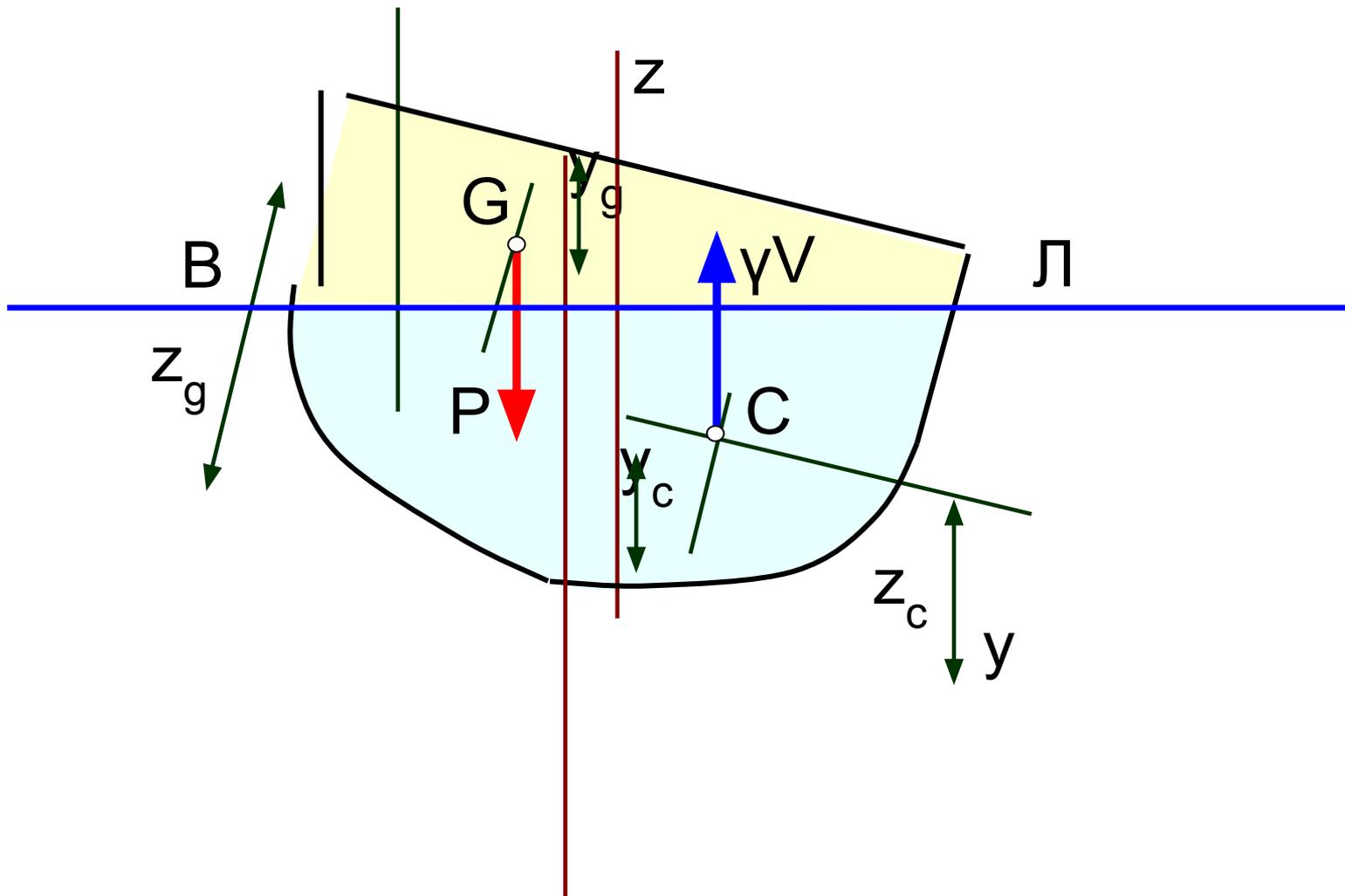
Сила тяжести судна - равнодействующая массовых сил

- Сила тяжести судна $P = g \Delta$
 Δ - водоизмещение судна, его масса, (т)
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$
- Сила тяжести судна:
 - направлена вертикально вниз
 - приложена в центре тяжести судна G
 (x_g, y_g, z_g)
- В положении равновесия $\Delta = \rho V$

На судно без хода на тихой воде действуют вертикальные силы P и γV :

- P - Сила тяжести судна, приложенная в центре тяжести судна $G (x_g, y_g, z_g)$
- γV - Сила плавучести, приложенная в центре величины погруженного объема $C (x_c, y_c, z_c)$

Силы, действующие на судно

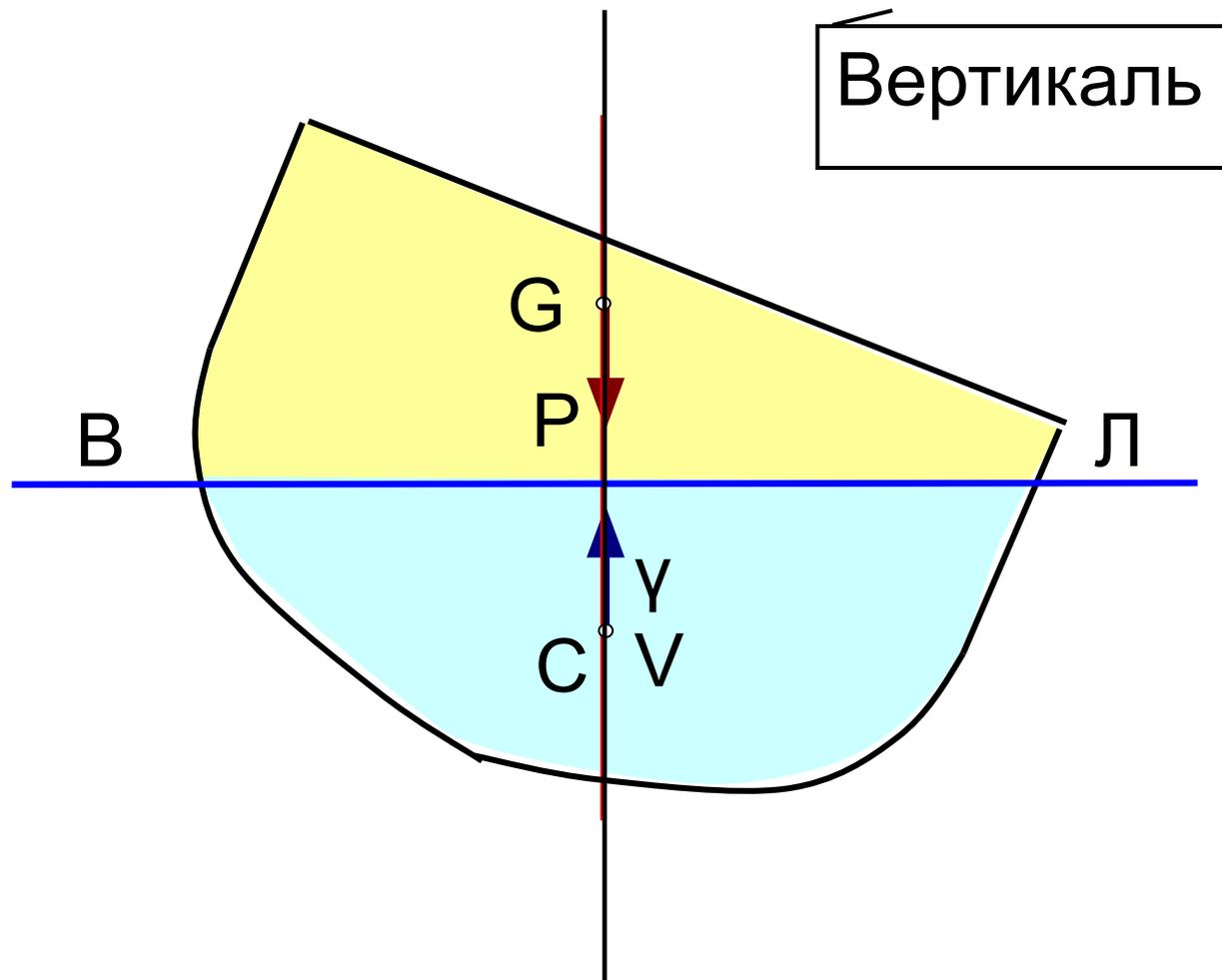


Условия и уравнения равновесия судна

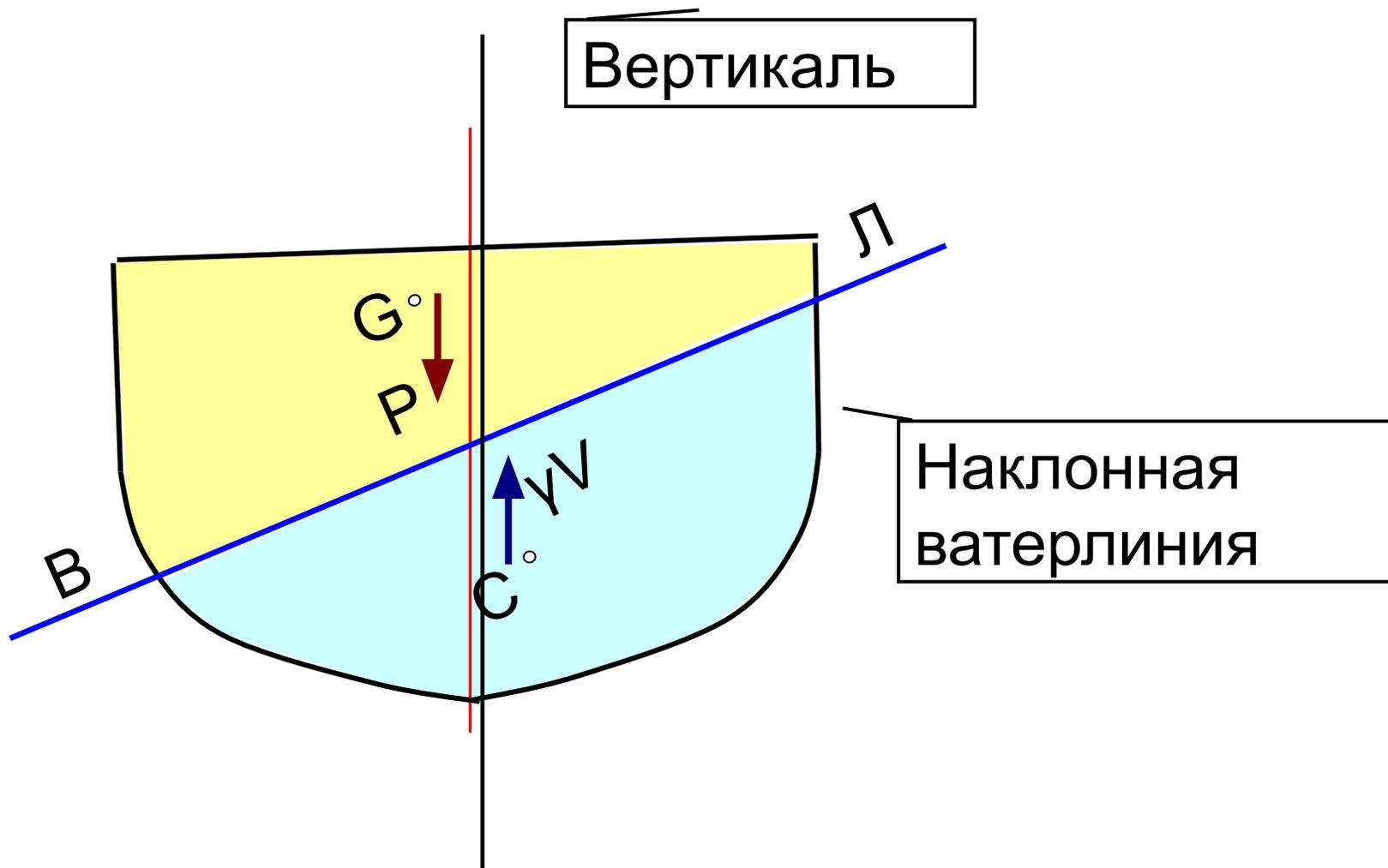
Судно находится в равновесии,
если:

1. Сила тяжести по величине
равна силе плавучести и
2. Центр тяжести и центр
величины лежат на одной
вертикали

Силы, действующие на судно в положении равновесия с креном на ПБ



Традиционное изображение судна, сидящего с креном на ПБ



Уравнения равновесия – это математическая запись условий равновесия:

$$P = \gamma V$$

$$x_c - x_g = (z_g - z_c) \operatorname{tg}\psi$$

$$y_c - y_g = (z_g - z_c) \operatorname{tg}\theta$$

- ψ - это угол дифферента
- θ - это угол крена
- Если на судне есть подвижные и жидкие грузы, x_g , y_g и z_g зависят от ψ и θ

Использование уравнений равновесия для решения прямой задачи

- Прямая задача – это расчетное определение посадки (d , d_n , d_k , θ и ψ) судна по заданной нагрузке (Δ , x_g , y_g , z_g)
- Этот расчет выполняется судоводителем перед началом приема груза

Использование уравнений равновесия для решения обратной задачи

- Обратная задача – определение параметров нагрузки по фактической посадке судна
- Опыт кренования проводится для уточнения нагрузки судна порожнем
- Вывеска судна проводится для определения фактического водоизмещения судна

Проведение «Драфт – сюрвея» - решение обратной задачи

- «Драфт-сюрвей» - определение фактического количества принятого на судно (выгруженного) груза по изменениям посадки судна до и после погрузки (выгрузки)

2. Определение массы и координат центра тяжести судна. Нагрузка судна

Нагрузка судна

- ***Нагрузкой судна*** называется совокупность всех находящихся на судне грузов
- К грузам относят:
 - судовой груз
 - Судовые запасы
 - корпус судна, переборки, палубы и др.
 - двигатели, системы и устройства, оборудование и т.п.

Параметры нагрузки

- ***Параметры нагрузки*** – это суммарные характеристики нагрузки судна:
 - Водоизмещение судна Δ , т
 - Координаты центра тяжести x_g , y_g , z_g

Расчет нагрузки судна - это определение параметров нагрузки Δ , x_g , y_g , z_g

- Первоначальный расчет нагрузки выполняется при проектировании судна
- При необходимости нагрузка судна уточняется после постройки проведением опыта кренования
- Текущий расчет нагрузки судна выполняет судоводитель перед началом загрузки

Расчет проектной нагрузки

- Все грузы судна подразделяют на ***постоянные и переменные***
- ***Переменные грузы:*** все виды запасов, команда с багажом, перевозимые грузы и водяной балласт
- ***Постоянные грузы:*** все остальные (корпус, переборки, палубы, механизмы и машины, трубопроводы и т.п.)

Отдельный груз (например, насос) называется статьей нагрузки

- Однородные статьи сводят в подгруппы, группы и разделы
- Массы каждой статьи m_i и их статические моменты $m_i x_i$, $m_i y_i$, $m_i z_i$ заносят в таблицу расчета нагрузки
- В каждой подгруппе рассчитывают суммы: Σm_i , $\Sigma m_i x_i$, $\Sigma m_i y_i$, $\Sigma m_i z_i$, далее их суммируют в группах и разделах

Определение водоизмещения и координат ЦТ судна – результат расчета нагрузки

$$\Delta = \sum m_i;$$

$$x_g = \frac{1}{\Delta} \sum m_i x_i;$$

$$y_g = \frac{1}{\Delta} \sum m_i y_i;$$

$$z_g = \frac{1}{\Delta} \sum m_i z_i$$

Водоизмещение судна порожнем

- **Водоизмещение порожнем** ($\Delta_0, \Delta_{\text{пор}}$) – водоизмещение судна без груза, топлива, смазочного масла, балластной, пресной, котельной воды в цистернах, провизии, расходных материалов, а также без пассажиров, экипажа и их вещей

Дедвейт судна

- **Дедвейт** (DW, Δ_w) – это разность между водоизмещением судна по грузовую ватерлинию, соответствующую назначенному летнему надводному борту в воде с плотностью $1,025 \text{ т/м}^3$ и водоизмещением порожнем
- **Дедвейт судна** – это разность между массой судна с полным грузом и массой порожнего судна. $\Delta_w = \Delta_{\text{полн}} - \Delta_{\text{пор}}$

Дедвейт и грузоподъемность

- В *дедвейт* входят масса команды и пассажиров с багажом, провизии, судовых запасов, расходных материалов, полезного груза в трюмах и постоянного водяного балласта в цистернах.
- *Полезная или чистая грузоподъемность* – это масса всех грузов и пассажиров с багажом

Нагрузка судна в эксплуатации

- После спуска судна на воду его нагрузка уточняется в ходе проведения опыта ***кренования***
- Для судна в эксплуатации нагрузка порожнем является исходной при выполнении расчетов фактической нагрузки

Расчет фактической нагрузки судна

- Расчет нагрузки судна выполняется перед выходом в море вручную, либо на ПК с установленной на нем одобренной Регистром программой расчета
- Наличие на борту ПК не освобождает судоводителя от необходимости уметь выполнять расчет вручную (требование РМРС)

Исходные данные для расчета фактической нагрузки:

- Данные о нагрузке судна порожнем, откорректированные при проведении последнего кренования: Δ_0 , x_{g0} , z_{g0} ;
- Данные о принимаемых грузах, судовых запасах, топливе, пассажирах: m_i , x_i , y_i , z_i

Данные о грузах (из грузовых документов):

- Плотность ρ [т/м³]
- Удельный погрузочный объем (УПО):
 $\mu=1/\rho$ [м³/т] - для насыпных и навалочных грузов
- Масса и положение центра тяжести для штучных, крупногабаритных грузов
- Положение центра тяжести грузового контейнера с грузом принимается на середине высоты контейнера (в центре)

«Информация капитану об стойчивости и прочности судна»

- Все материалы, необходимые для выполнения расчета нагрузки, а также проверки выполнения требований к стойчивости и прочности судна, содержатся в «Информации капитану об стойчивости и прочности судна»

«Информация капитану» содержит:

- Данные о нагрузке судна порожнем
- Данные об элементах погруженного объема
- Данные о грузовых помещениях, цистернах для топлива и судовых запасов
- вспомогательные графики, таблицы
- указания по выполнению необходимых расчетов и т.п.

Форма таблицы расчета нагрузки

Статьи нагрузки	Отход, 100% запасов					Приход, 10% запасов			
	m_i Т	Z_{gi} М	X_{gi} М	$m_i Z_{gi}$ ТМ	$m_i X_{gi}$ ТМ	m_i Т	Z_{gi} М	$m_i Z_{gi}$ ТМ	$m_i X_{gi}$ ТМ
Груз:									
Тр. №1	9000	4	45	36000	405000	9000	4	36000	405000
Тд. №1	6000	12	46	72000	276000	6000	12	72000	276000

Результат расчета фактической нагрузки судна:

Δ , x_g , z_g на отход и на приход судна
в порт назначения

- Эти величины используются для расчета параметров посадки (d , d_n и d_k), проверки остойчивости и прочности судна, выходящего в рейс и находящегося в плавании
- Проверка готовности судна к выходу включает проверку выполнения расчета нагрузки

Самостоятельная работа

- Теория судна. Статика. п.п. 1.3, 1.4

Конец