

**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

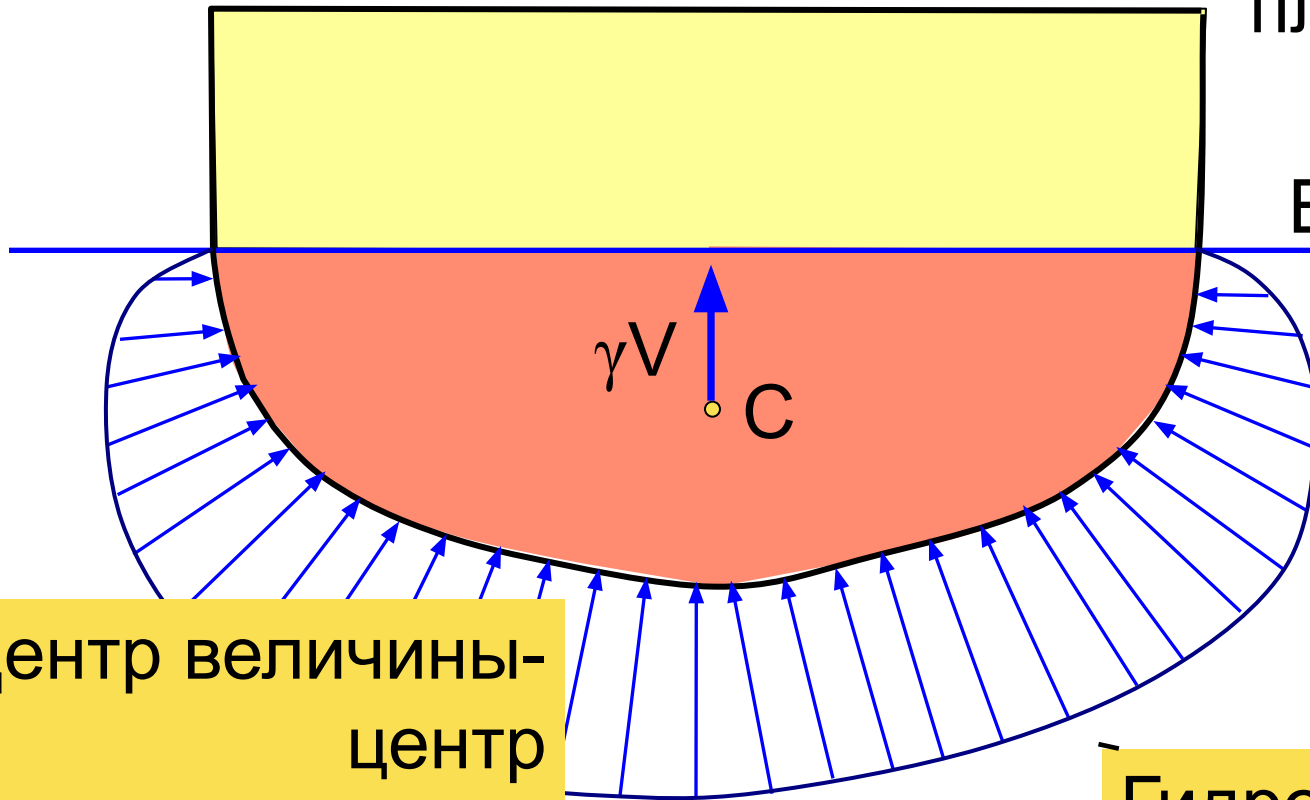
# Силы, действующие на судно, плавающее без движения:

- 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

Ватерлиния



Центр величины-  
центр  
погруженного  
объема

Гидростатическое  
давление

# 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 $\gamma V$

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

$V$  – объемное водоизмещение ( $\text{м}^3$ )

$\rho$  - плотность забортной воды ( $\text{т/м}^3$ )

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$

- 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  $P = g \Delta$   
 $\Delta$  - 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  $\gamma V$ :

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

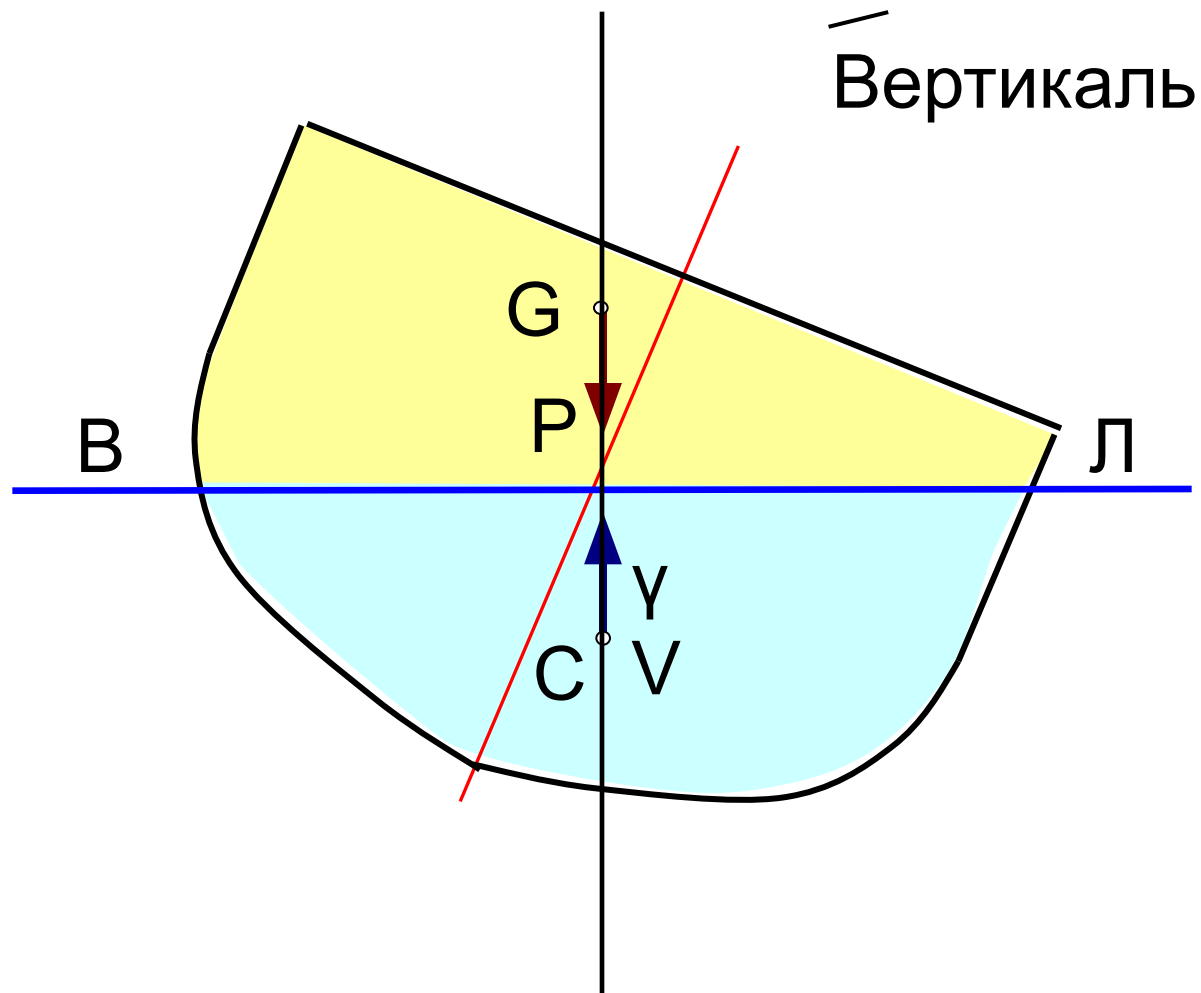


# Условия и уравнения равновесия судна

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





Уравнения равновесия – это математическая запись условий равновесия:

$$P = \gamma V$$

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

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

- $\psi$  - это угол дифферента
- $\theta$  - это угол крена
- Если на судне есть подвижные и жидкие грузы,  $x_g$ ,  $y_g$  и  $z_g$  зависят от  $\psi$  и  $\theta$

# Использование уравнений равновесия для решения прямой задачи

- Прямая задача – это расчетное определение посадки ( $d$ ,  $d_n$ ,  $d_k$ ,  $\theta$  и  $\psi$ ) судна по заданной нагрузке ( $\Delta$ ,  $x_g$ ,  $y_g$ ,  $z_g$ )
- 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  $\Delta$ , т
  - Координаты центра тяжести  $x_g$ ,  $y_g$ ,  $z_g$

# Расчет нагрузки судна - это определение параметров нагрузки $\Delta$ , $x_g$ , $y_g$ , $z_g$

- 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:  $\Sigma m_i$ ,  $\Sigma m_i x_i$ ,  $\Sigma m_i y_i$ ,  $\Sigma m_i z_i$ , 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** ( $DW, \Delta_w$ ) – 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:  $\Delta_0$ ,  $x_{g0}$ ,  $z_{g0}$ ;
- Данные о принимаемых грузах, судовых запасах, топливе, пассажирах:  $m_i$ ,  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$

# Данные о грузах (из грузовых документов):

- Плотность  $\rho$  [т/м<sup>3</sup>]
- Удельный погрузочный объем (УПО):  
 $\mu = 1/\rho$  [м<sup>3</sup>/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
<b>Груз:</b>									
<b>Тр. №1</b>	9000	4	45	36000	405000	9000	4	36000	405000
<b>Тд. №1</b>	6000	12	46	72000	276000	6000	12	72000	276000

# Результат расчета фактической нагрузки судна:

$\Delta$ ,  $x_g$ ,  $z_g$  на отход и на приход судна  
в порт назначения

- Эти величины используются для расчета параметров посадки ( $d$ ,  $d_n$  и  $d_k$ ), проверки устойчивости 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