

**ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова**

**Факультет навигации и связи**

**Теория судна**

**Статика**

**Лекция №4**

**Общие понятия устойчивости**



**к.т.н., доц.**

**Коротков Б.П.**

# Рассмотренные вопросы

1. Общие понятия об устойчивости
2. Равнообъемные наклонения
3. Перемещения центра величины при равнообъемных наклонениях

# 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

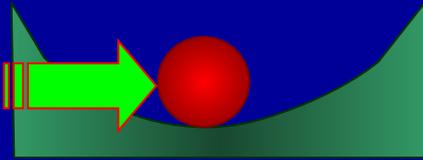
# Знание, понимание и профессиональные навыки в соответствии с минимальным стандартом компетентности для капитанов и старших помощников капитана (в соответствии с ПДНВ)

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

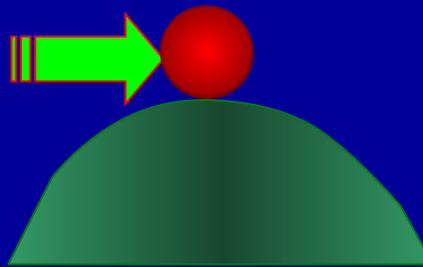
# 1. Общие понятия об устойчивости

Остойчивостью называется способность плавающего судна, выведенного из положения равновесия воздействием внешних сил, вновь возвращаться в первоначальное положение после прекращения действия этих сил

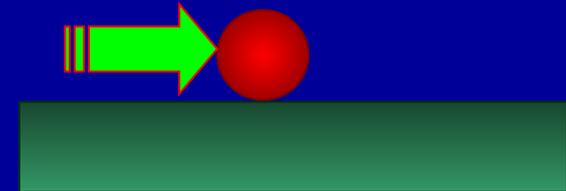
# Виды равновесия



Устойчивое



Неустойчивое



Безразличное

Остойчивость

```
graph LR; A[Остойчивость] --> B[Начальная остойчивость]; A --> C[Остойчивость на больших наклонениях];
```

Начальная остойчивость

Остойчивость на больших наклонениях

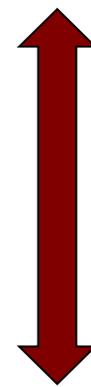
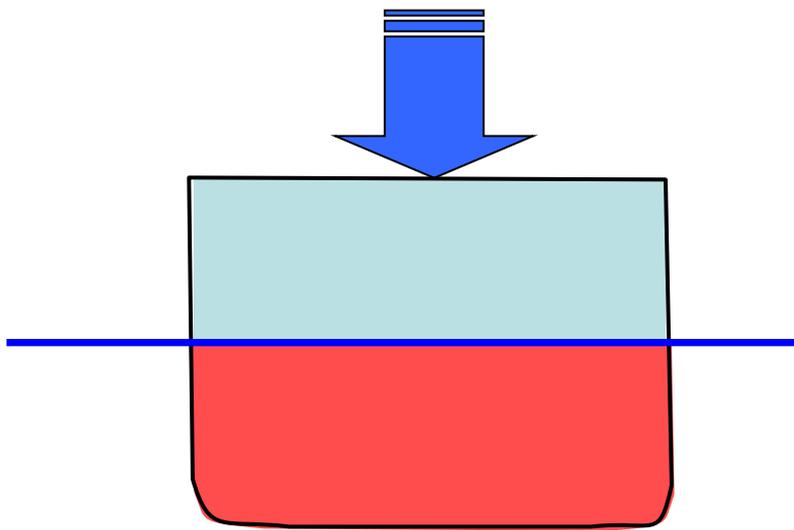
Начальная остойчивость – это остойчивость судна по отношению к бесконечно малым отклонениям от положений равновесия

# Признак начальной остойчивости

Судно остойчиво, если после любого произвольного бесконечно малого отклонения, изменяющего его посадку, будучи предоставленным самому себе, оно возвращается в исходное положение равновесия

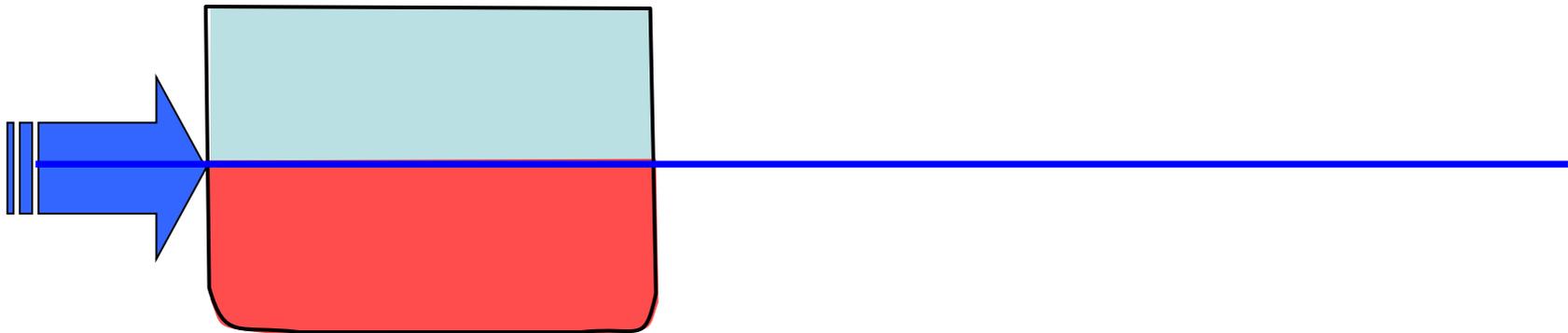
# Произвольное отклонение складывается из составляющих:

- Вертикальное отклонение
  - Горизонтальные отклонения
  - Угловые отклонения (крен и/или дифферент)
  - Угловые отклонения в вертикальной плоскости называют наклонениями судна (поперечными и продольными)



Вертикальное  
отклонение

Судно всегда  
остойчиво

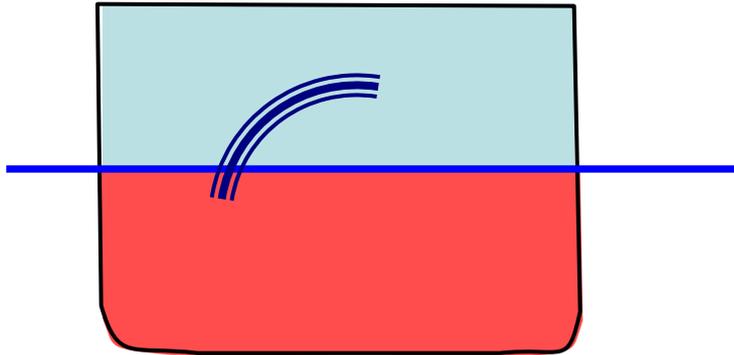


Горизонтальное  
отклонение

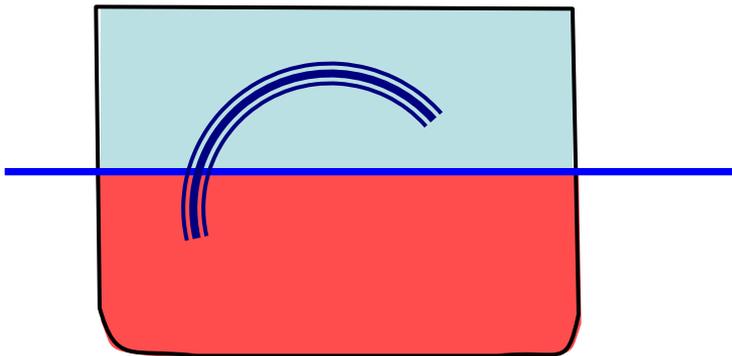


Судно в безразличном  
равновесии

# Поперечное наклонение судна



Судно устойчиво



Судно не устойчиво

При наклонениях судно может быть устойчивым и не устойчивым

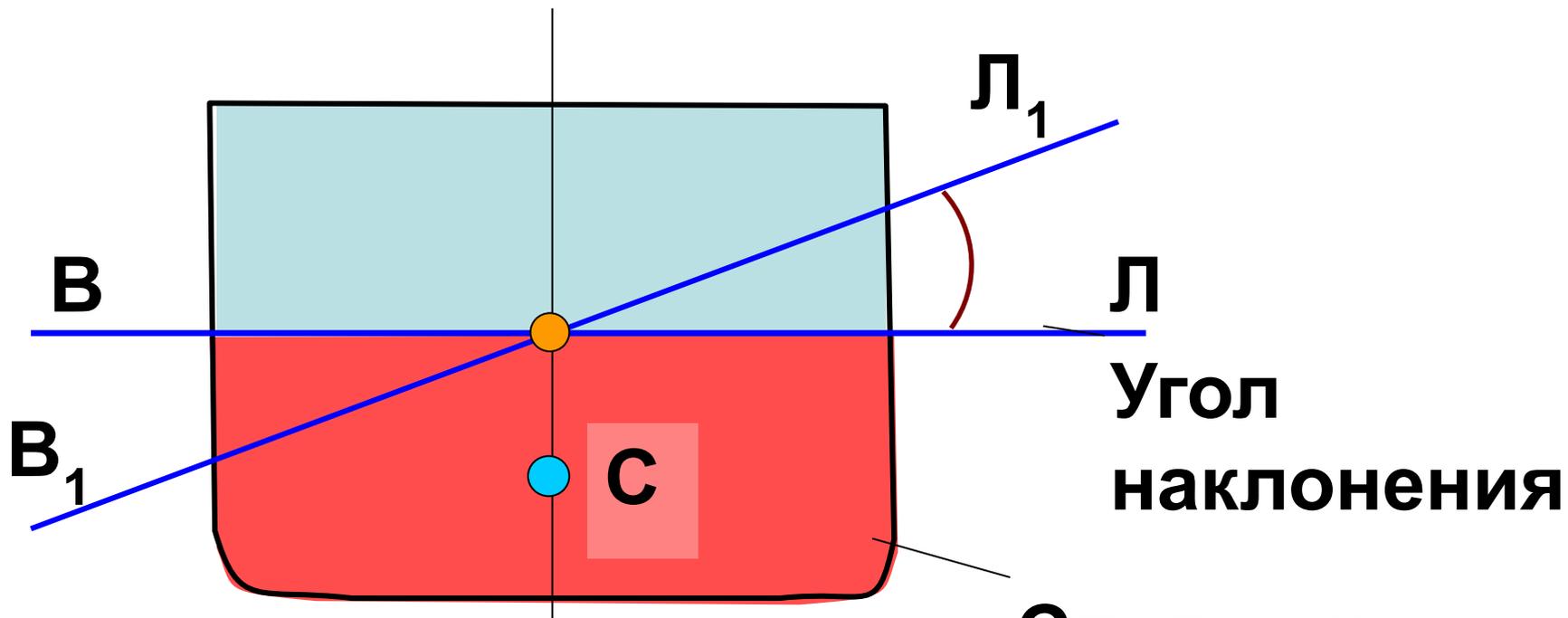
# Признак устойчивости равновесия судна

Судно устойчиво, если оно  
устойчиво на всех возможных  
наклонениях

# Определения

- Ось наклона – это линия пересечения исходной и конечной ватерлиний при наклоне
- Плоскость наклона – плоскость, перпендикулярная оси наклона и проходящая через центр величины судна при исходной посадке
- Угол наклона – это угол между исходной и конечной ватерлиниями

# Ось, плоскость и угол наклонения



Плоскость наклона –  
плоскость изображения

След оси  
наклона

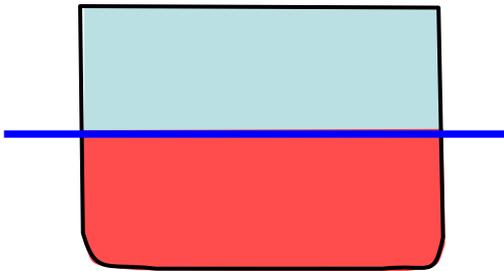
## 2. Равнообъемные наклоны

# Равнообъемные наклонения

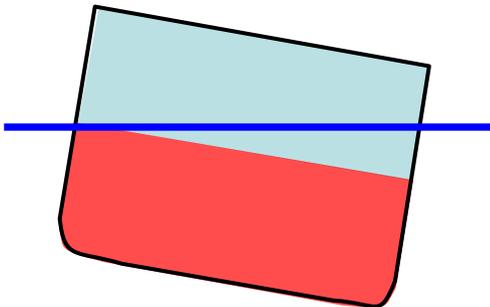
- При равнообъемных наклонениях величина погруженного объема судна остается постоянной
- Произвольное наклонение судна можно представить, как:
  1. Равнообъемное наклонение
  2. Вертикально-поступательное перемещение

# Произвольное наклонение судна

Исходное положение  
судна

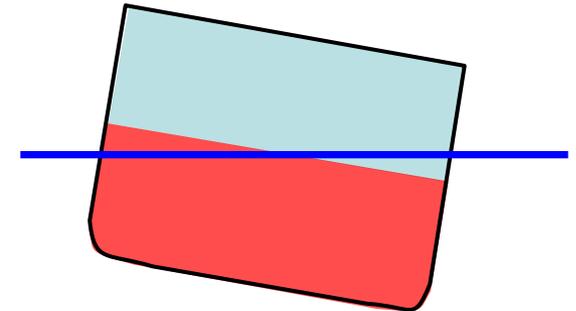


Конечное положение  
судна

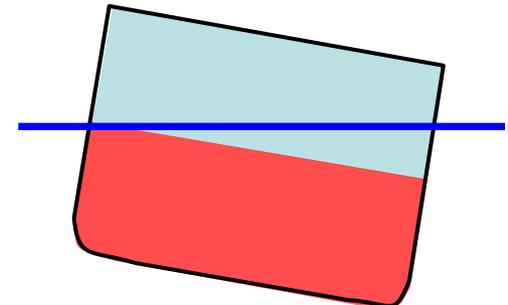


Поэтапно:

1. Равнообъемное  
наклонение



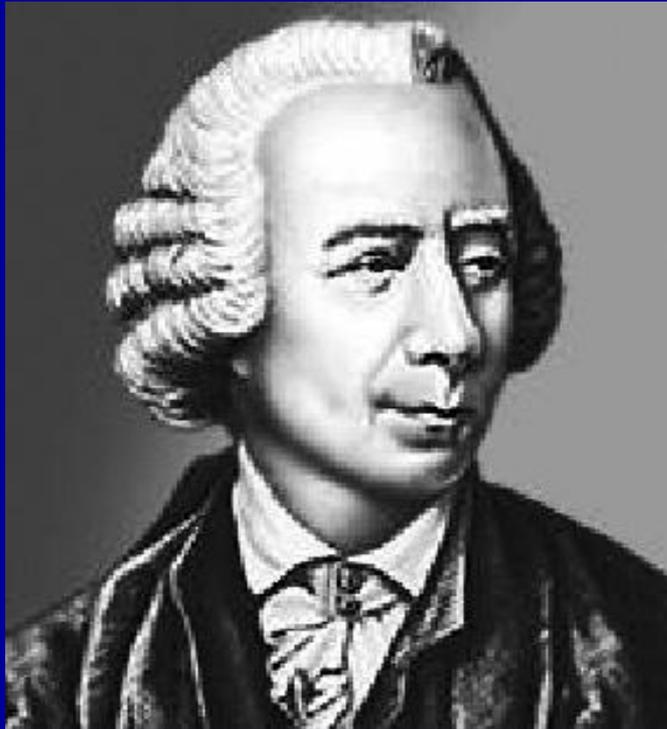
2. Вертикальное  
перемещение



# Признак устойчивости судна

- Судно является устойчивым, если оно устойчиво по отношению к любым возможным бесконечно малым равнообъемным наклонам из данного положения равновесия
- В дальнейшем рассматриваем только поперечные и продольные наклоны с углами крена  $\theta$  и дифферента  $\psi$

Выдающийся ученый, математик,  
механик и астроном, один из  
основателей науки «теория  
корабля»



В 1731-41 и с 1766  
академик Санкт-  
Петербургской Академии  
Наук

Леонард Эйлер  
(1707-83)

# Могила Л. Эйлера на кладбище Алекса́ндро-Невской Лавры



# Теорема Эйлера о равнообъемных наклонениях:

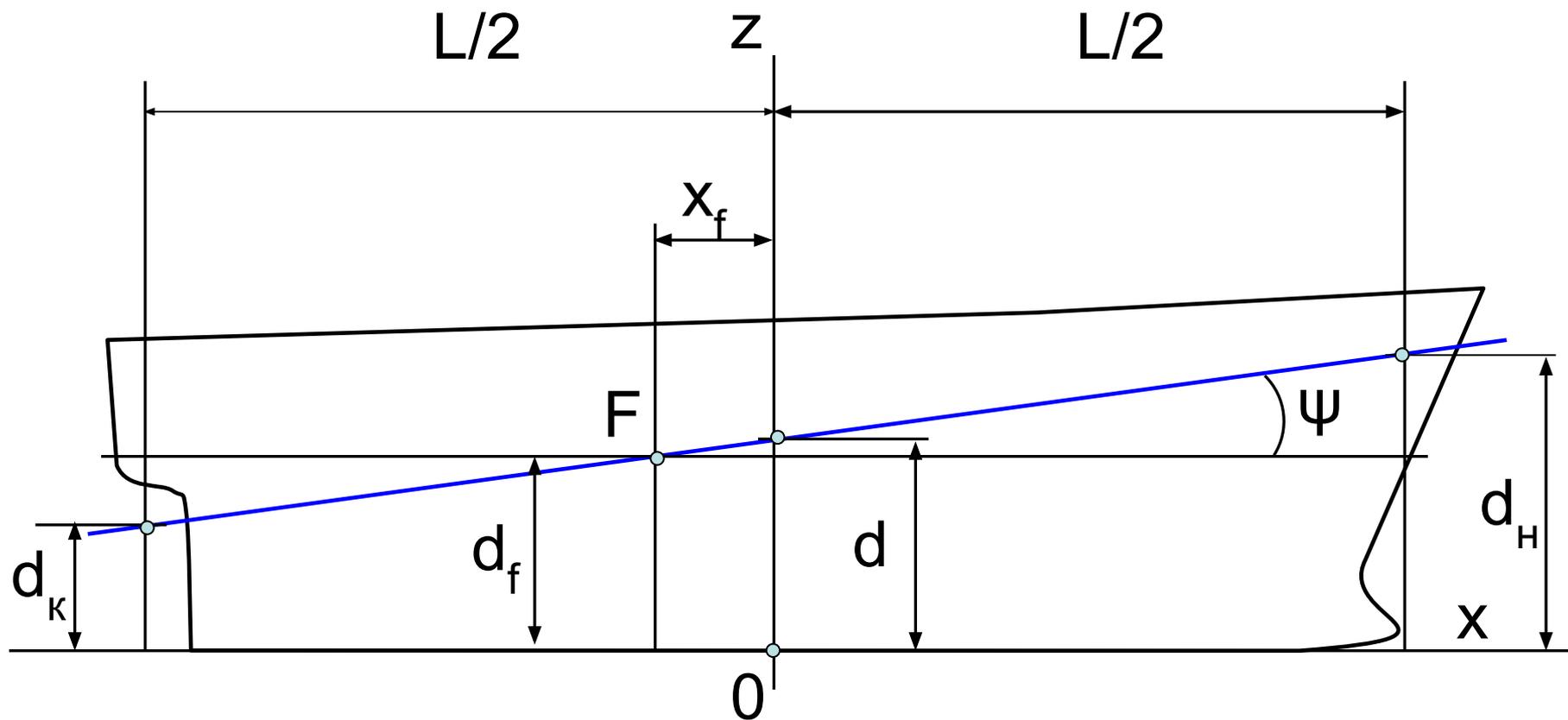
- Бесконечно близкие равнообъемные ватерлинии пересекаются по оси, проходящей через их общий центр тяжести
- Ось бесконечно малого равнообъемного наклонения проходит через центр тяжести площади ватерлинии

# Использование теоремы Эйлера

- Теорема Эйлера применима и для небольших конечных наклонений
- Теорема Эйлера используется в практических задачах уточнения посадки и определения ЭПО судна, сидящего с дифферентом

$$d_H = d + \left(\frac{L}{2} - x_f\right) \psi$$

$$d_K = d - \left(\frac{L}{2} + x_f\right) \psi$$

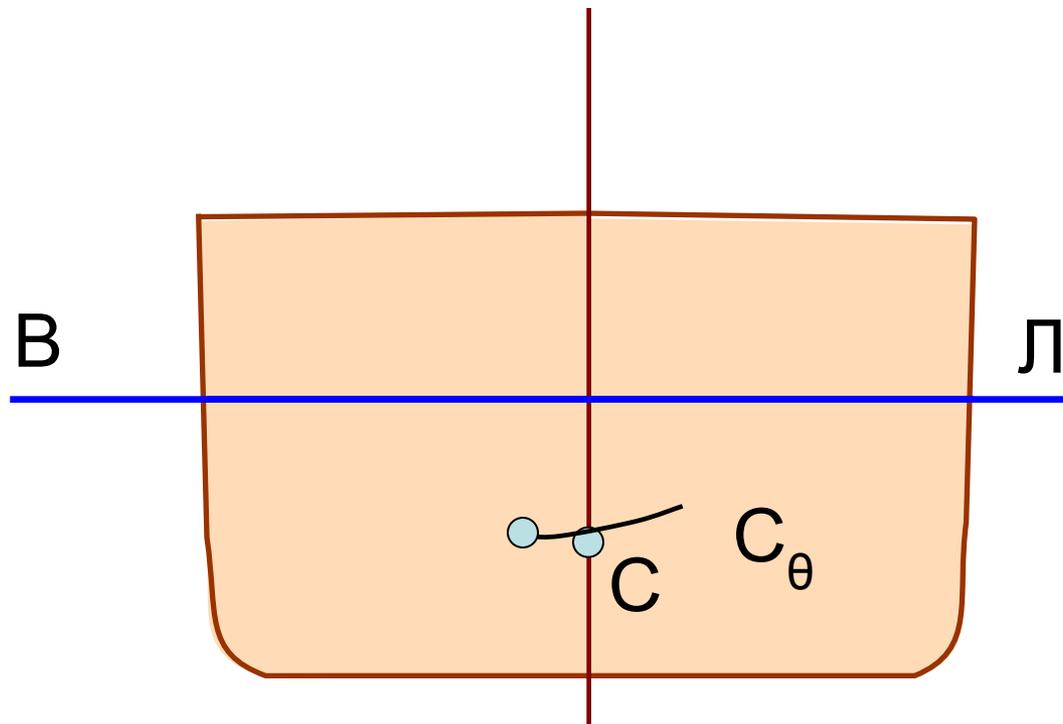


# Уточненное определение объемного водоизмещения $V$ при посадке судна с небольшим дифферентом:

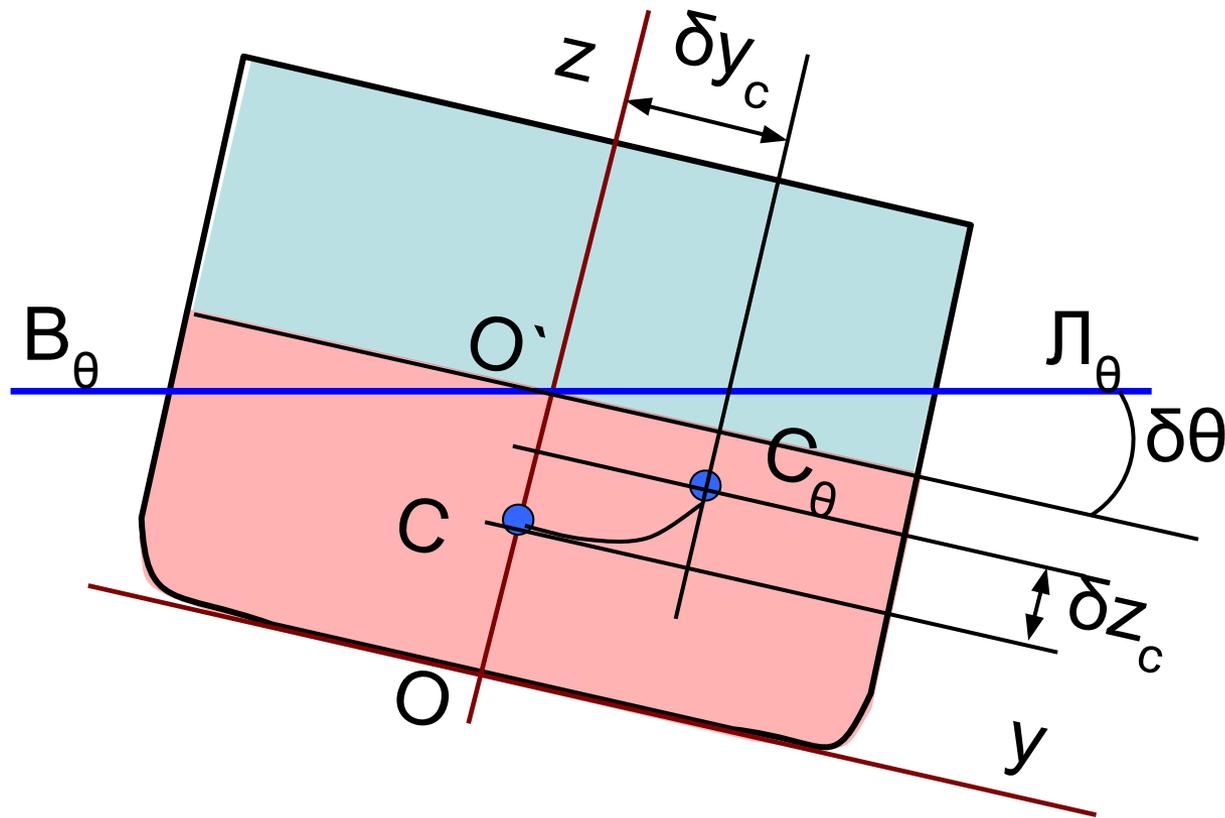
1. В грузовой размер  $V(d)$  войти с осадкой  $d_f = d + x_f \psi$
2. Определить  $V$ , соответствующую посадке без дифферента с осадкой  $d_f$
3. По теореме Эйлера она равна  $V$  судна, сидящего с дифферентом с осадкой  $d$  на миделе

### 3. Перемещения центра величины при равнообъемных наклонениях

# Перемещение ЦВ при равнообъемных наклонениях



# Приращения координат ЦВ при поперечном наклонении на угол $\delta\theta$

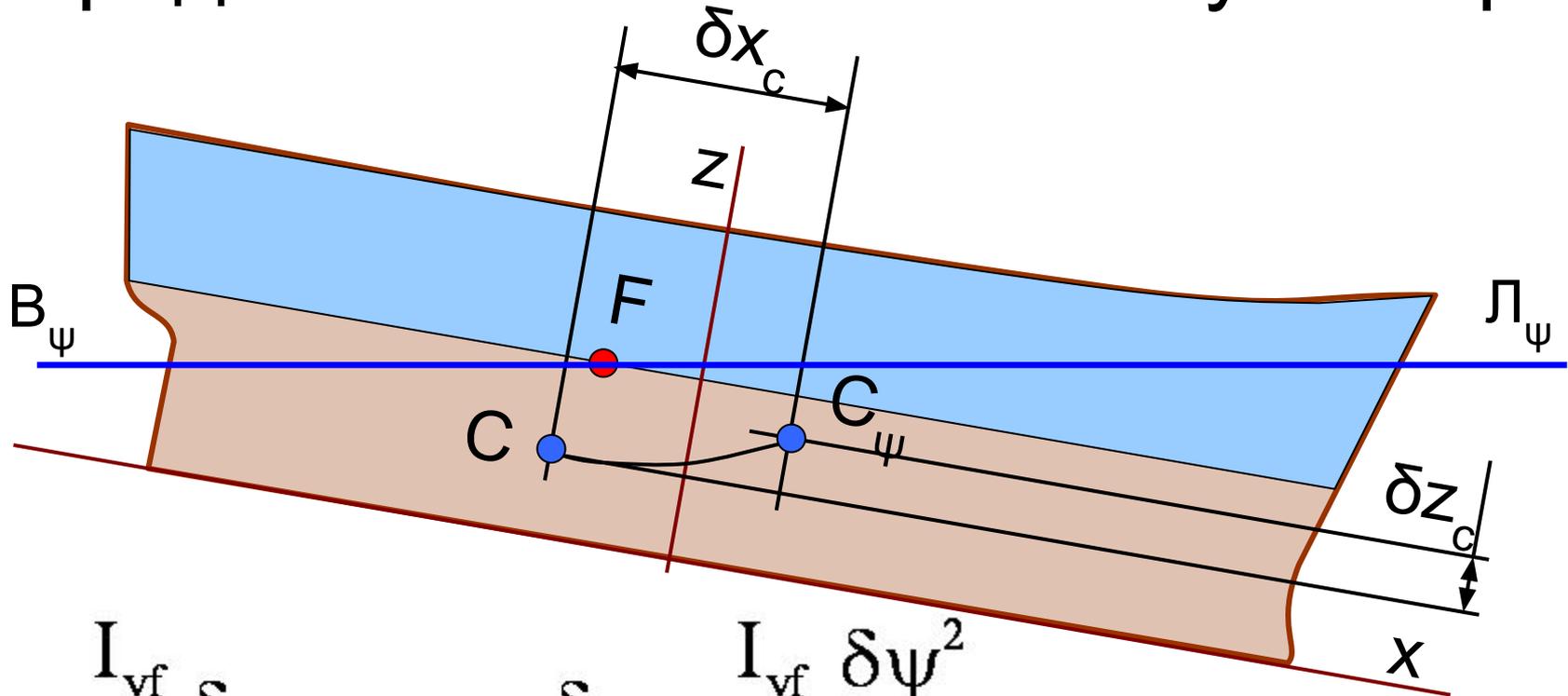


$$\delta y_c = \frac{I_x}{V} \delta\theta;$$

$$\delta z_c = \frac{I_x}{V} \frac{\delta\theta^2}{2}$$

$I_x$  главный центральный момент инерции площади ватерлинии судна относительно оси  $O'x$

# Приращения координат ЦВ при продольном наклонении на угол $\delta\psi$



$$\delta x_c = \frac{I_{yf}}{V} \delta\psi;$$

$$\delta z_c = \frac{I_{yf}}{V} \frac{\delta\psi^2}{2}$$

$I_{yf}$  - главный центральный момент инерции  
площади ватерлинии судна относительно оси  $Fy$

# Приращения координат ЦВ

- Моменты инерции характеризуют распределение площади ватерлинии относительно осей  $O`x$  и  $Fy$
- $I_x$  и  $I_{yf}$  – величины положительные
- Знаки  $\delta y_c$  и  $\delta x_c$  совпадают со знаками  $\delta\theta$  и  $\delta\psi$  соответственно
- $\delta z_c$  всегда положительно

$$\frac{I_x}{V} = r, \quad \frac{I_{yf}}{V} = R$$

# Уточнение $x_c$ судна, сидящего с дифферентом по кривым элементов ТЧ (гидростатическим кривым)

1. По кривой  $x_c(d)$  найти  $x_c$  при осадке  $d$
2. По кривой  $R(d)$  найти  $R$  при осадке  $d$
3. Вычислить  $x_{c\psi} = x_c + R \operatorname{tg}\psi \approx x_c + R \psi$

# «Кривая С»

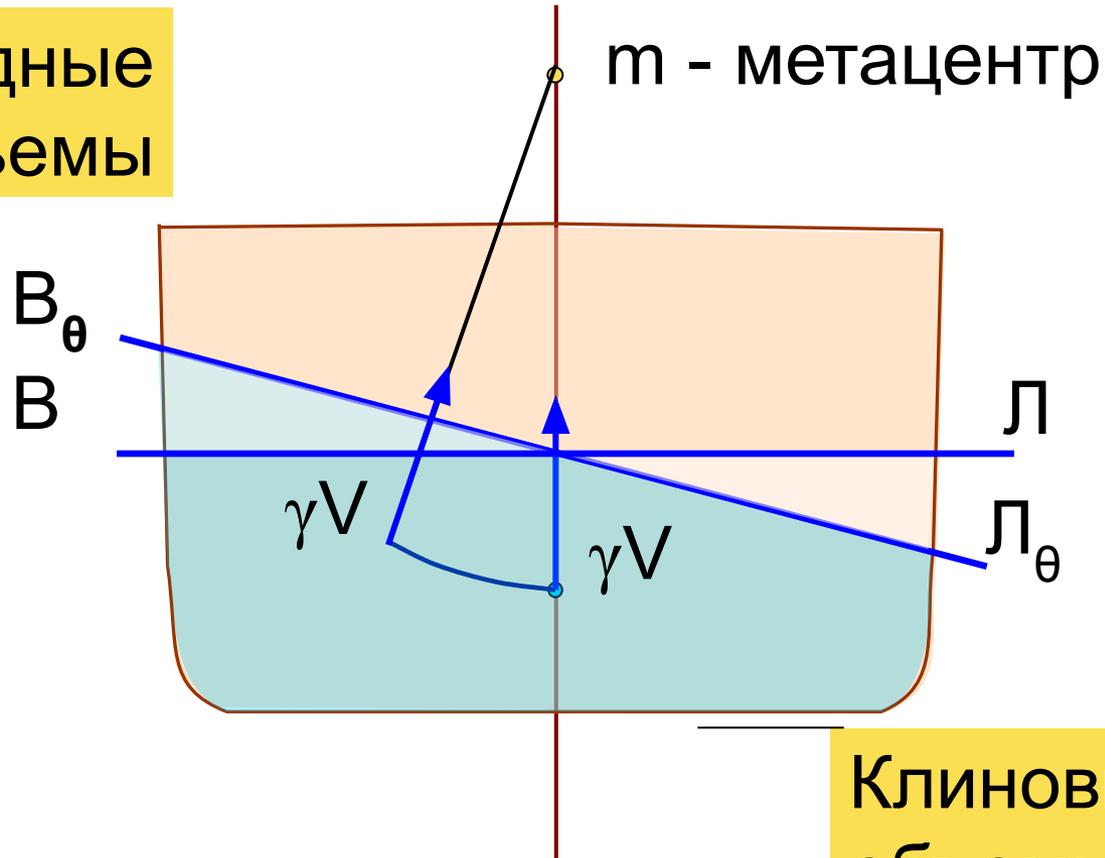
1. При равнообъемных наклонениях ЦВ судна всегда смещается в сторону наклонения и вверх по отношению к своему исходному положению
2. «Кривая С» - это плоская кривая линия, по которой перемещается ЦВ судна при равнообъемных наклонениях в одной плоскости

# Перемещения силы плавучести при наклонениях

Сила плавучести приложена в ЦВ судна, следовательно, при наклонениях точка ее приложения перемещается в соответствии с описанными выше перемещениями ЦВ

# Перемещение ЦВ при равнообъемном поперечном наклонении на левый борт

Клиновидные  
объемы



Клиновидные  
объемы

# Задание на самостоятельную работу:

- «Теория судна. Статика» п.п. 2.1, 2.2

Конец