

Теоретический чертеж



Предмет теории судна
составляет изучение
мореходных качеств

Мореходные качества судна – это совокупность свойств, присущих судну, как движущемуся в воде упругому телу:

- Плавучесть
 - Остойчивость
 - Непотопляемость
-

} Статика судна

- Ходкость
- Управляемость
- Мореходность (качка)

} Динамика судна

Обводы корпуса судна, ввиду сложности формы, задаются графически в виде **теоретического чертежа (ТЧ)**.

На теоретическом чертеже изображены проекции на главные взаимно перпендикулярные плоскости линии пересечения **теоретической поверхности корпуса** с плоскостями, параллельными главным плоскостям.

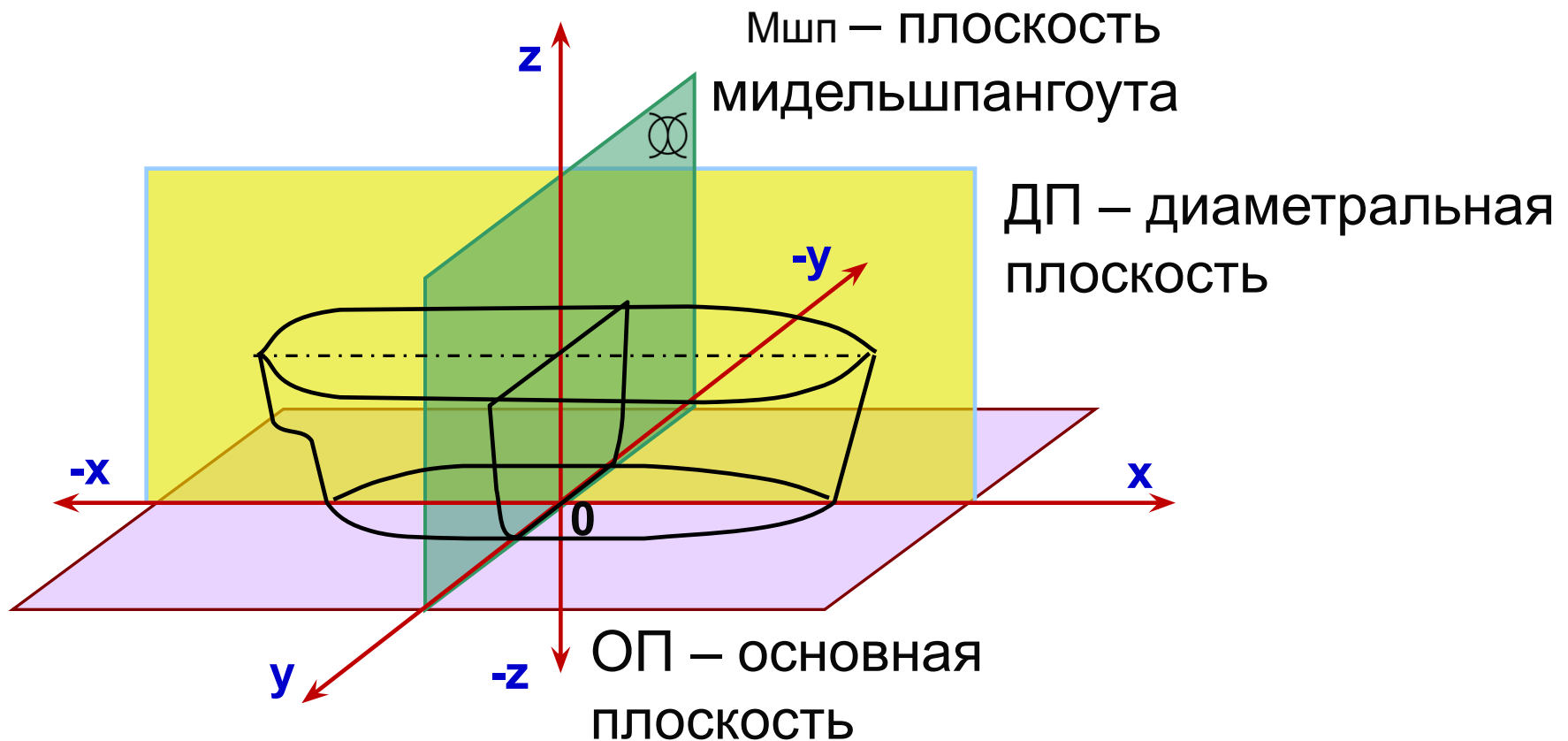
Под **теоретической поверхностью** понимают **внутреннюю поверхность обшивки корпуса** (без учета толщины обшивки и выступающих частей).

Исключения составляют суда с деревянными и пластмассовыми корпусами, для которых на теоретическом чертеже изображают наружную поверхность корпуса.

В качестве главных плоскостей принимают:

- **диаметральную плоскость (ДП)** - вертикальную продольную плоскость, делящую корпус судна на две симметричные части - **правую** (правый борт) и **левую** (левый борт);
- **плоскость мидель шпангоута (Мшп \otimes)** - вертикальную поперечную плоскость, проходящую по середине длины судна и делящую корпус на **носовую** и **кормовую** части;
- **основную плоскость (ОП)** - горизонтальную плоскость, проходящую через нижнюю точку теоретической поверхности корпуса судна в плоскости мидель-шпангоута.

Плоскости ТЧ и система координат



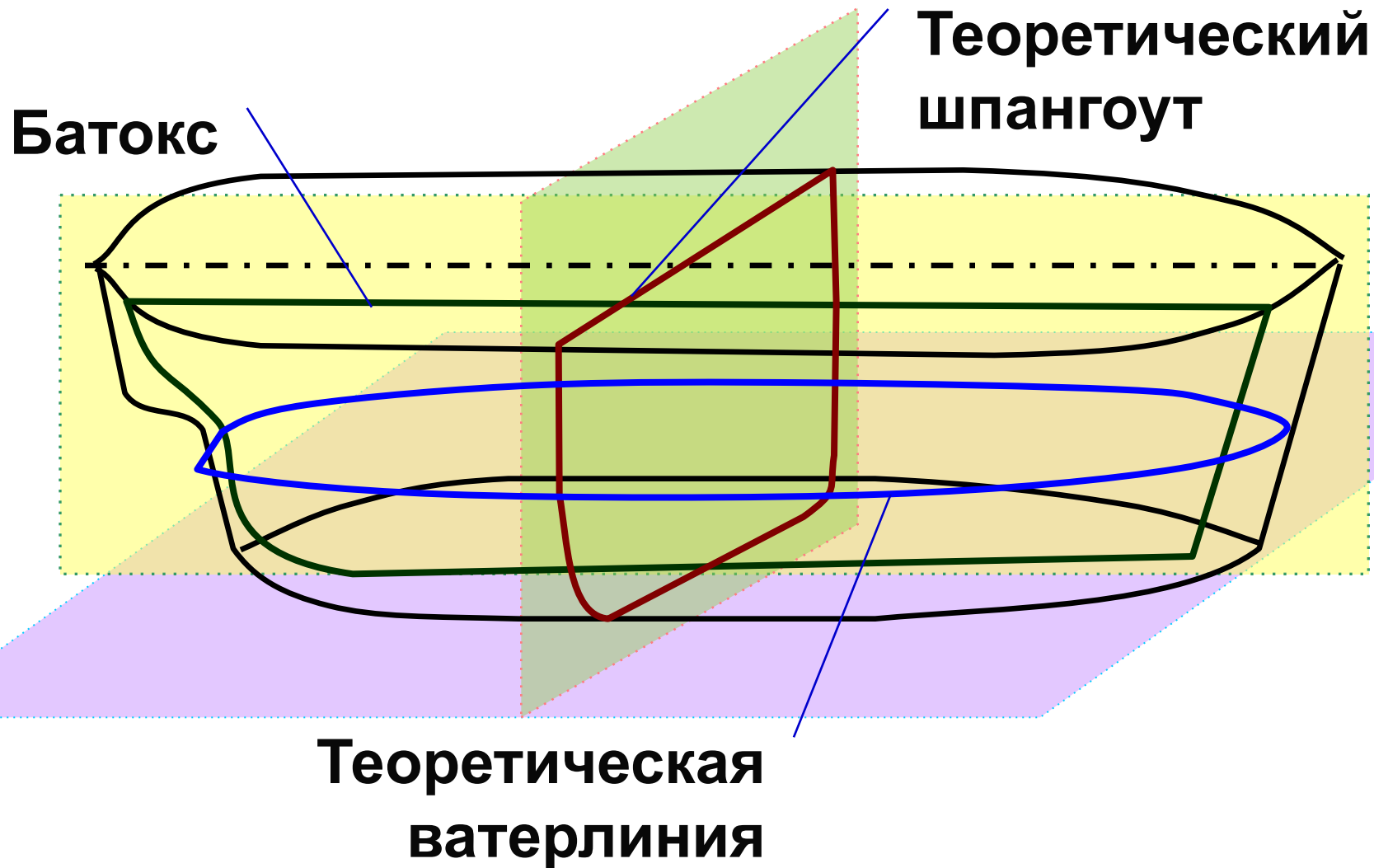
Линии пересечения теоретической поверхности корпуса :

- с плоскостями параллельным **ДП** называют **батоксами**,
- с плоскостями параллельными **ОП** - **теоретическими ватерлиниями (ВЛ)**,
- с плоскостями, параллельными плоскости мидель-шпангоута - **теоретическими шпангоутами**.

Линии пересечения **ОП** с **ДП** и **ОП** с плоскостью **Мшп** дают **продольную** и **поперечную основные линии**.

Пересечение **ДП** с корпусом образуют **линию килля, форштевня, ахтерштевня и верхней палубы**.

Формирование ТЧ



Совокупность проекций батоксов, теоретических ватерлиний и шпангоутов называется:

- на ДП «**Бок**»,
- на ОП – «**Полуширота**»,
- на Мшп – «**Корпус**».

Эти три вида и составляют **теоретический чертеж**.

Каждое сечение проектируется на одну из плоскостей в своем истинном виде, а на две другие в виде прямых линий. Например, на виде «**Бок**» в истинном виде представлены батоксы, а теоретические шпангоуты и ватерлинии в виде прямых. Из последних выделяют конструктивную ватерлинию (**КВЛ**), по которую судно плавает с полной нагрузкой по проектную осадку. Любая другая ватерлиния, соответствующая конкретному случаю нагрузки называется действующей (расчетной) и обозначается (**ВЛ**).

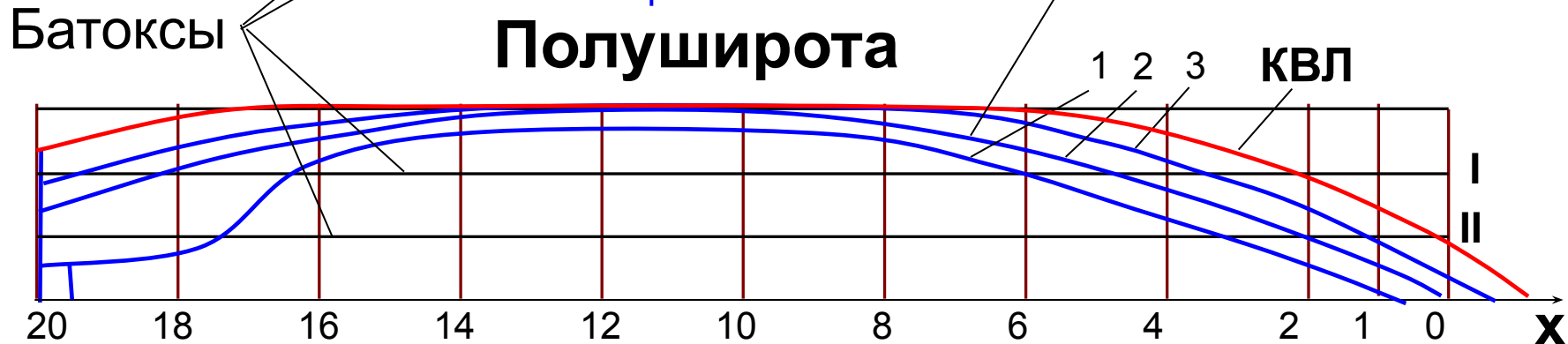
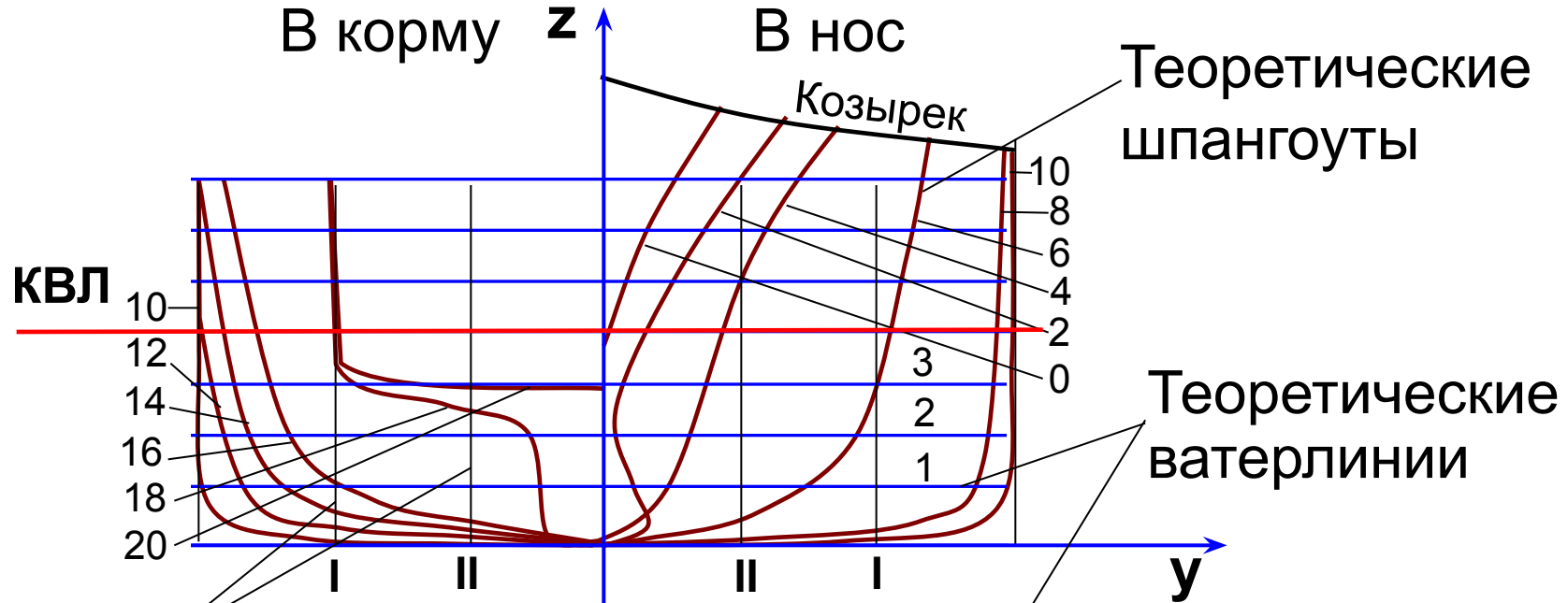
Число теоретических шпангоутов, как правило, принимается равными 11 или 21, которые образуют соответственно 10 или 20 теоретических шпаций.

Проекция ТЧ «Бок»



Проекции ТЧ

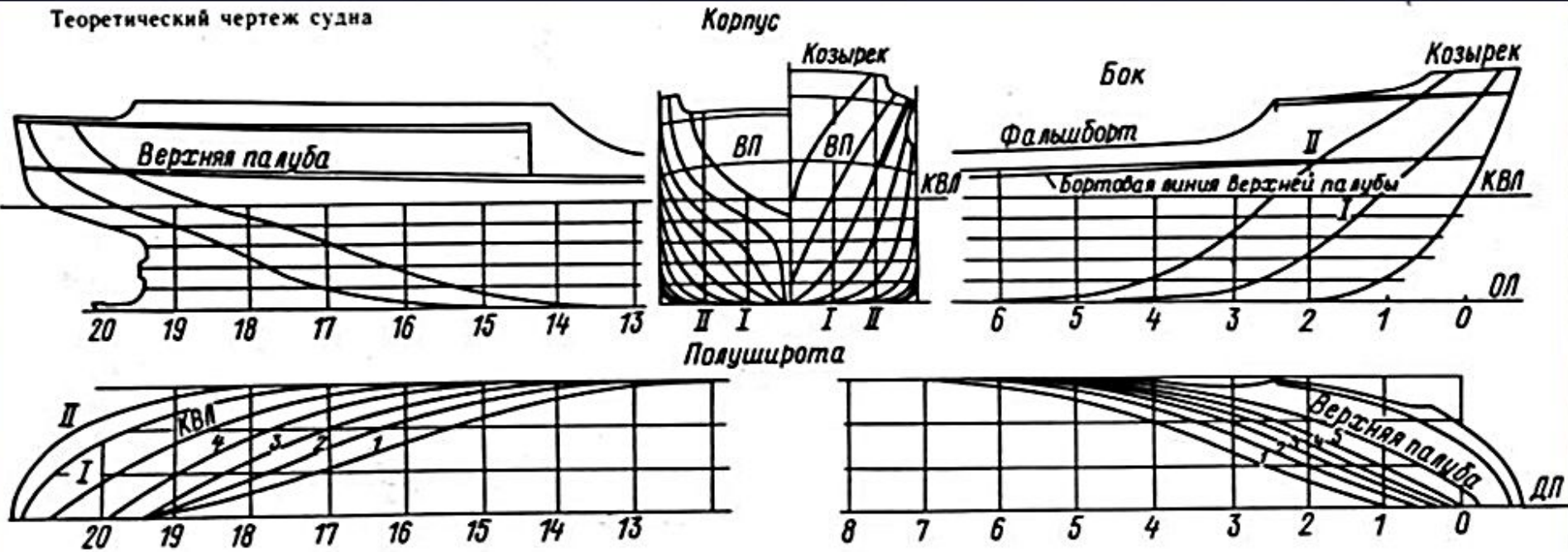
Корпус



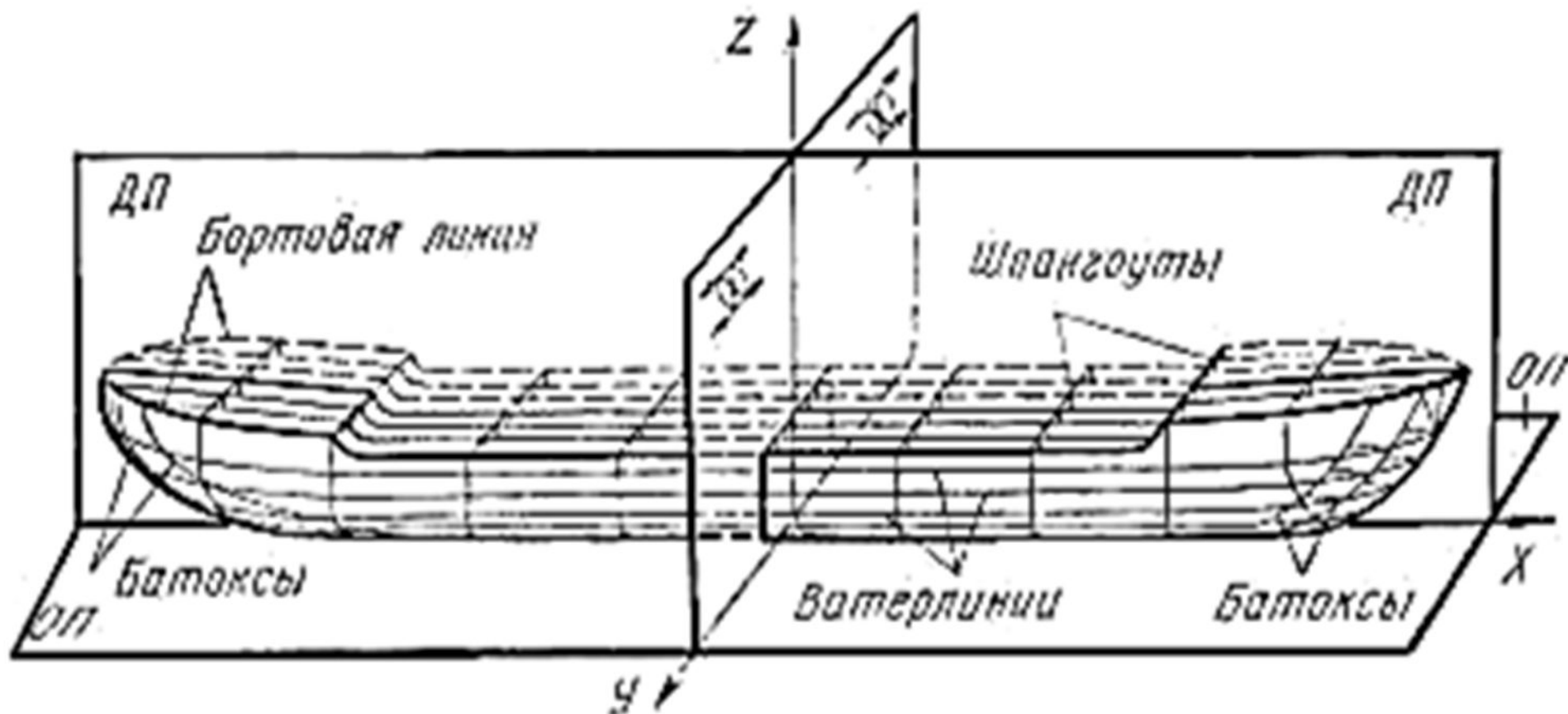
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ СУДНА

СУДНА

Теоретический чертеж судна



Главные плоскости ТЧ

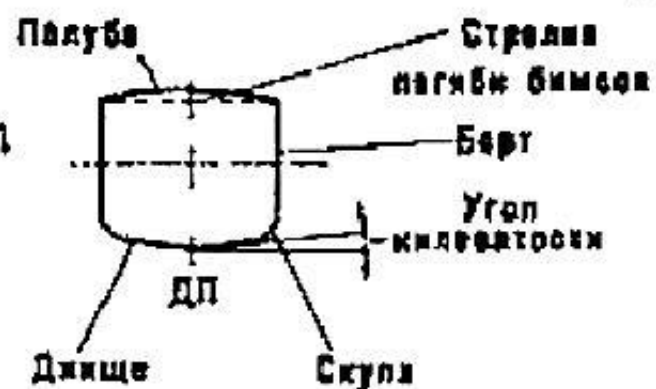


Основные сечения корпуса судна

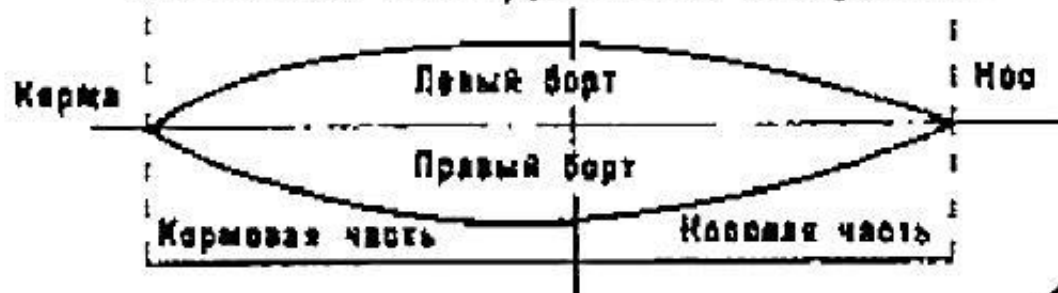
Диаметральная плоскость



Плоскость мидель-шпангоута

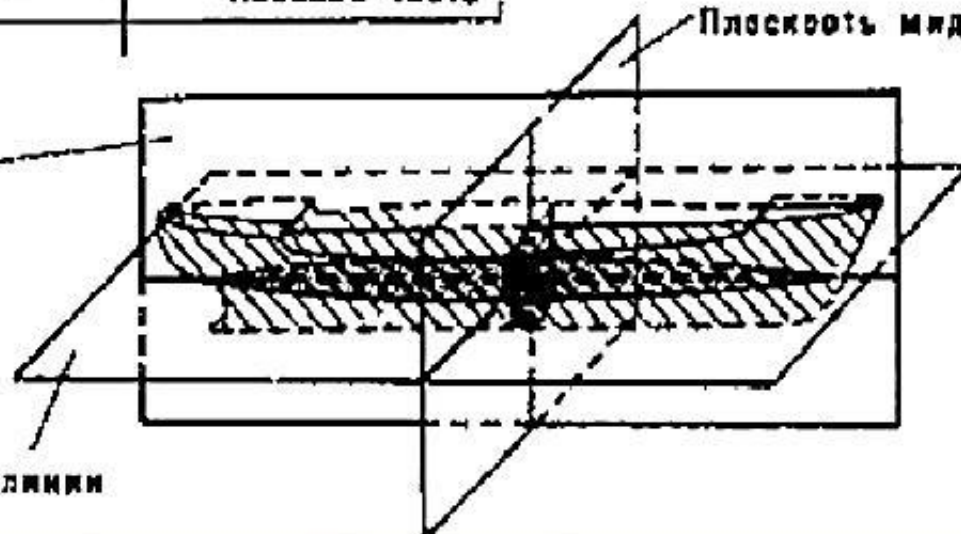


Плоскость конструктивной ватерлинии



Диаметральная плоскость

Плоскость мидель шпангоута



Плоскость конструктивной ватерлинии

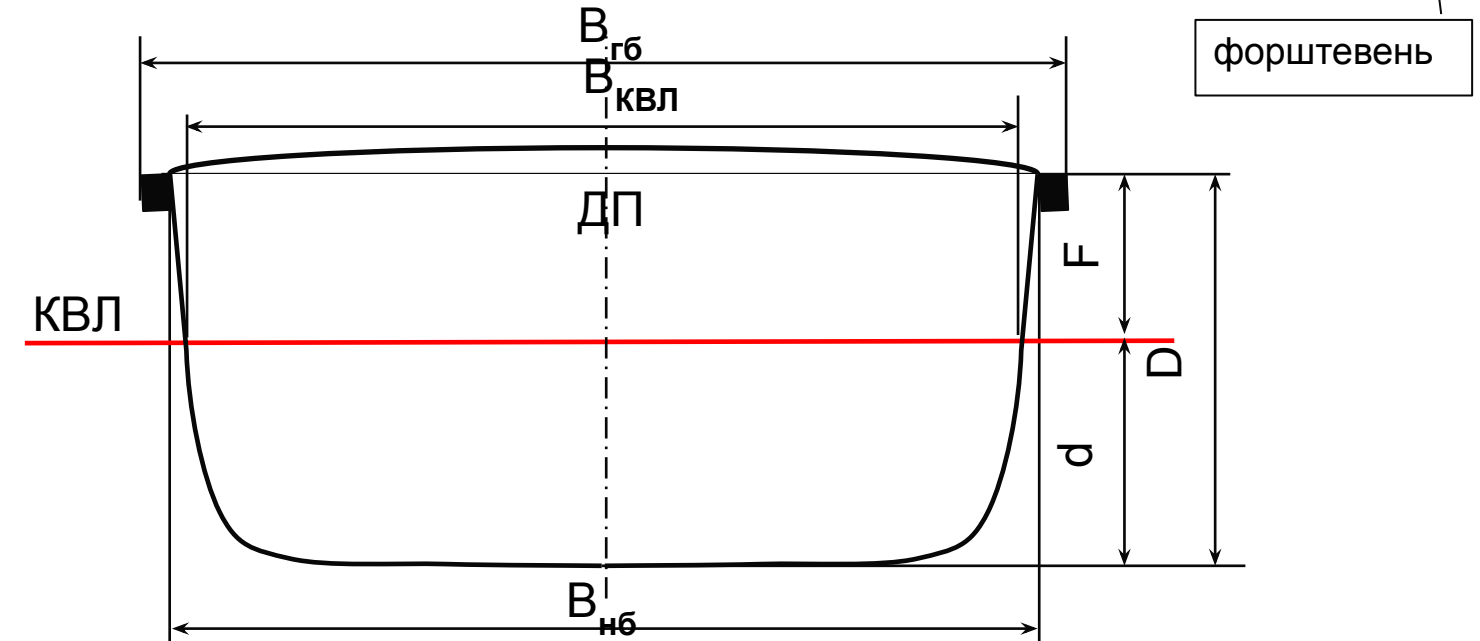
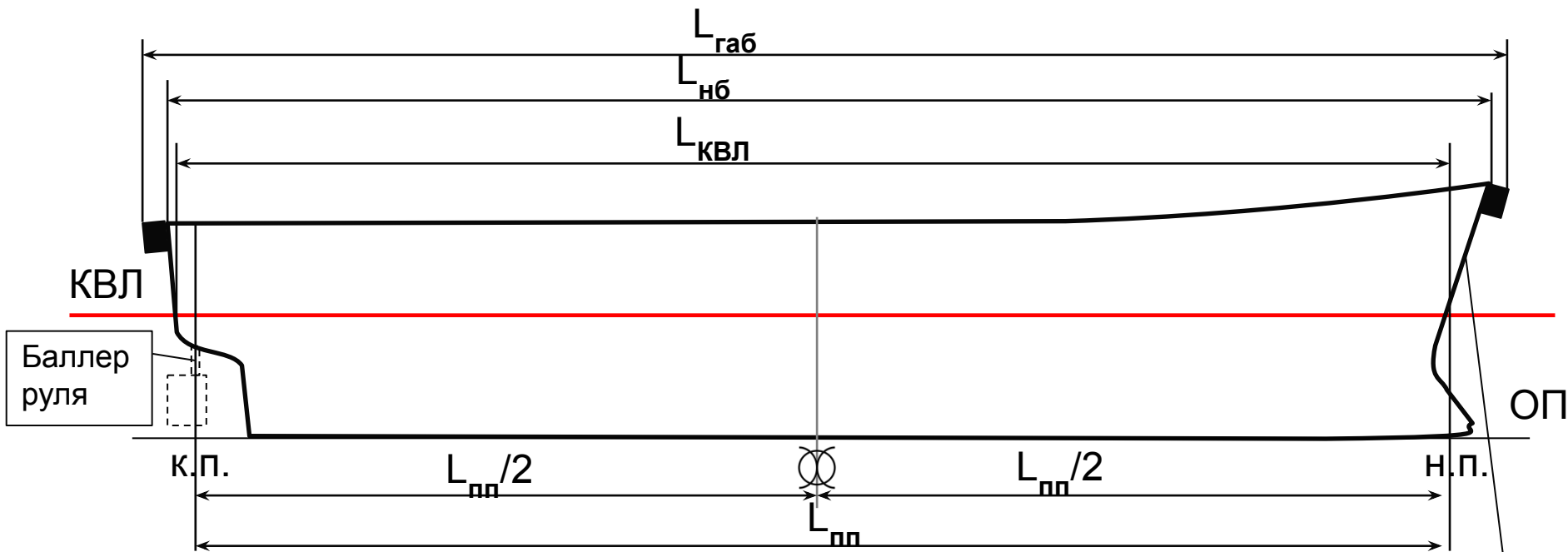
Главные размерения судна – это обобщенные характеристики размеров корпуса:

- А. Конструктивные размеры – это габаритные размеры корпуса
- В. Размеры, характеризующие деление корпуса судна на надводную и подводную части

Конструктивная и грузовая ватерлинии

- **Конструктивная ватерлиния (КВЛ)** – это основная расчетная ватерлиния судна, соответствующая расчетной ватерлинии полного водоизмещения судна
- **Грузовая ватерлиния (ГВЛ)** – это ватерлиния, соответствующая конкретному варианту загрузки судна, например, по летнюю грузовую марку

Главные размерения



Главные размерения судна

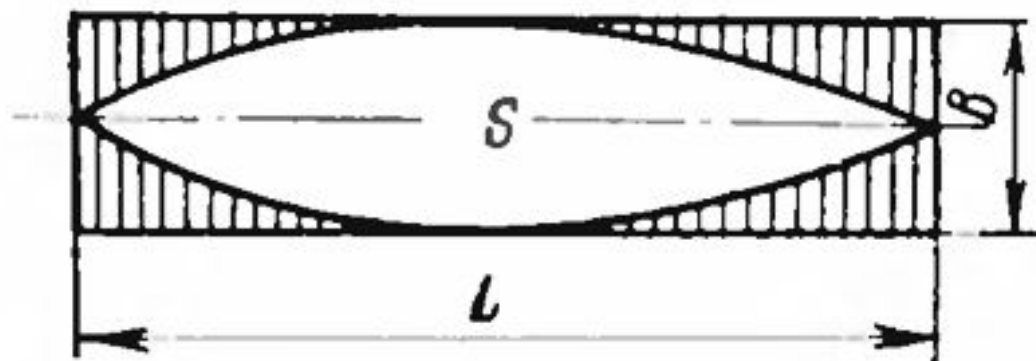
(определения в соответствии с «Правилами классификации и постройки морских судов» РМРС будут даны в следующих лекциях, после изучения конструкции корпуса судна)

- **наибольшая длина судна $L_{нб}$** - расстояние по длине между крайними точками носовой и кормовой оконечностей корпуса;
- **длина между перпендикулярами $L_{пп}$** – расстояние между носовым (н.п.) и кормовым (к.п.) перпендикулярами к основной плоскости судна ; носовой проходит через точку пересечения КВЛ и форштевня, кормовой по оси баллера руля;
- **длина судна по КВЛ $L_{квл}$** — расстояние между точками пересечения КВЛ с диаметральной плоскостью судна;
- **габаритная длина судна $L_{гб}$** – расстояние между крайними точками выступающих частей.

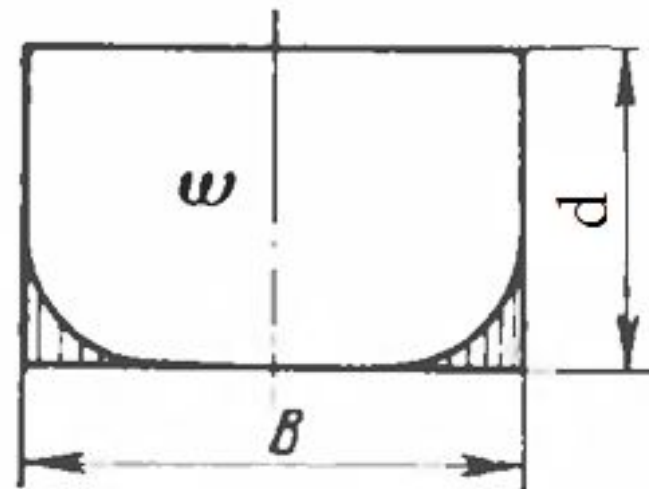
- **ширина судна по КВЛ $V_{\text{квл}}$** - наибольшая ширина конструктивной ватерлинии судна.
- **габаритная ширина судна $V_{\text{гб}}$** – ширина с учетом выступающих частей;
- **осадка судна d** - вертикальное расстояние в плоскости мидель-шпангоута от основной плоскости до действующей (расчетной) ватерлинии.
- **высота борта D** - расстояние, измеренное в миделевом сечении от основной плоскости до линии палубы у борта.
- **высота надводного борта F** - расстояние по высоте от действующей ватерлинии до линии палубы у борта;

Сечения ТЧ

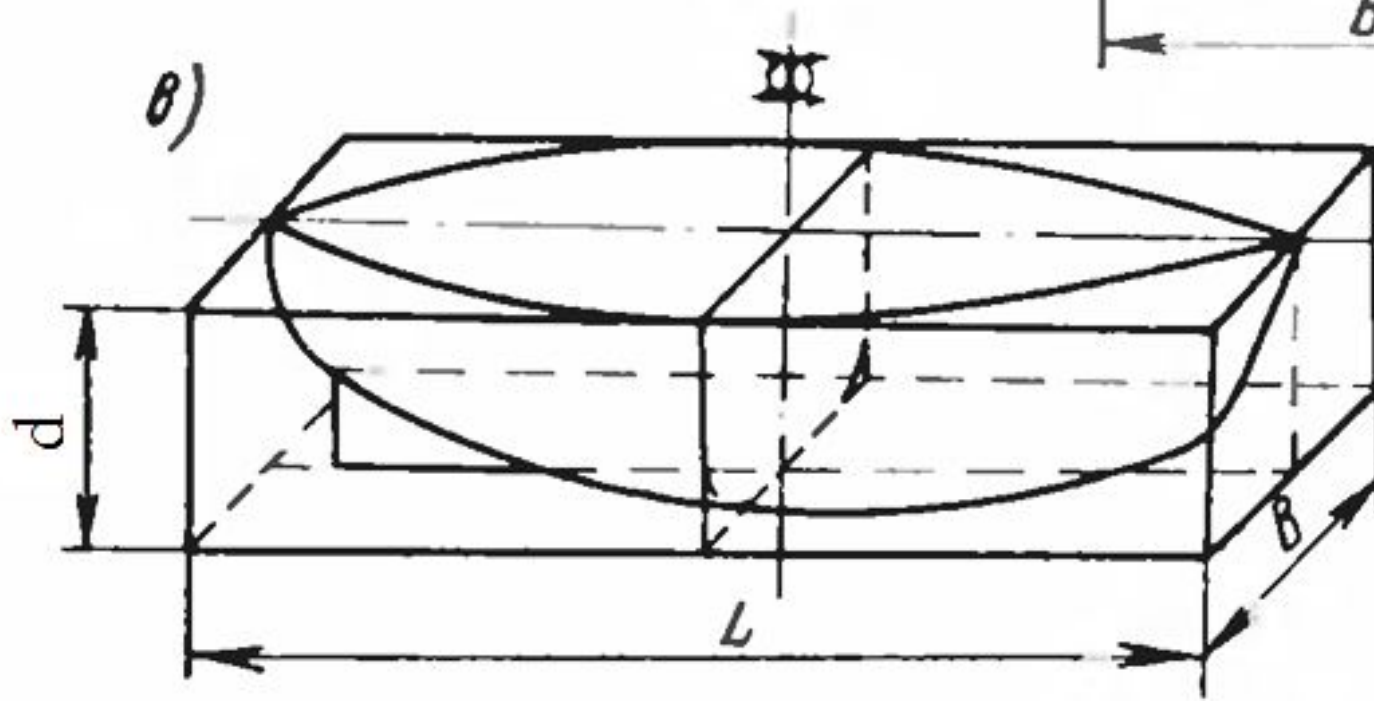
а)



б)



в)



Для приближенной и сравнительной оценки мореходных качеств судов используются

соотношения главных размерений :

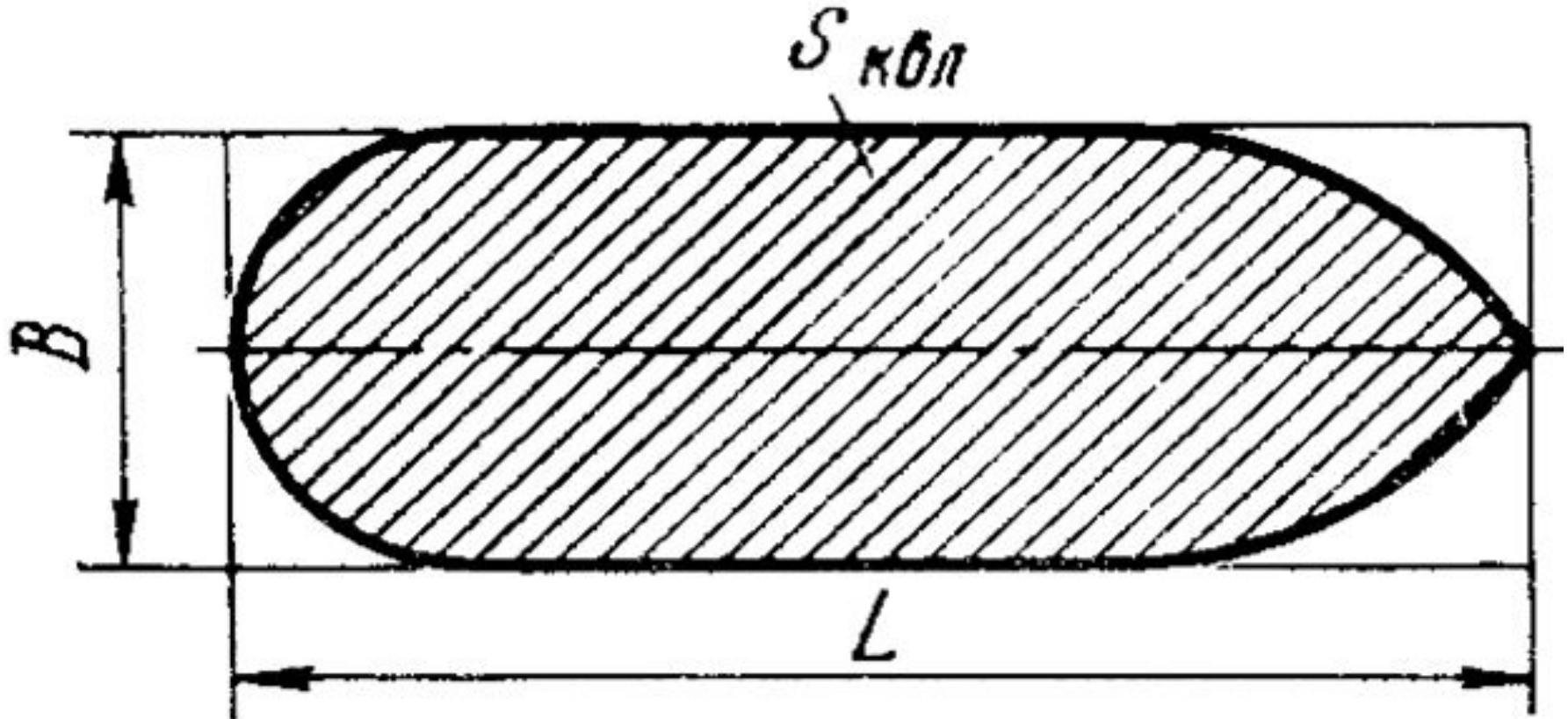
- **L/B** (относительное удлинение) - определяет ходкость судна;
- **B/d** - характеризует остойчивость и ходкость судна;
- **D/d** - определяет плавучесть и остойчивость судна на больших углах наклона.

и коэффициенты :

- полноты ватерлинии $\alpha = S / LB$;
- полноты мидель-шпангоута $\beta = \omega / Bd$;
- общей полноты $\delta = V / LBd$;
- продольной полноты $\varphi = V / \omega L$
- вертикальной полноты $\chi = V / Sd$.

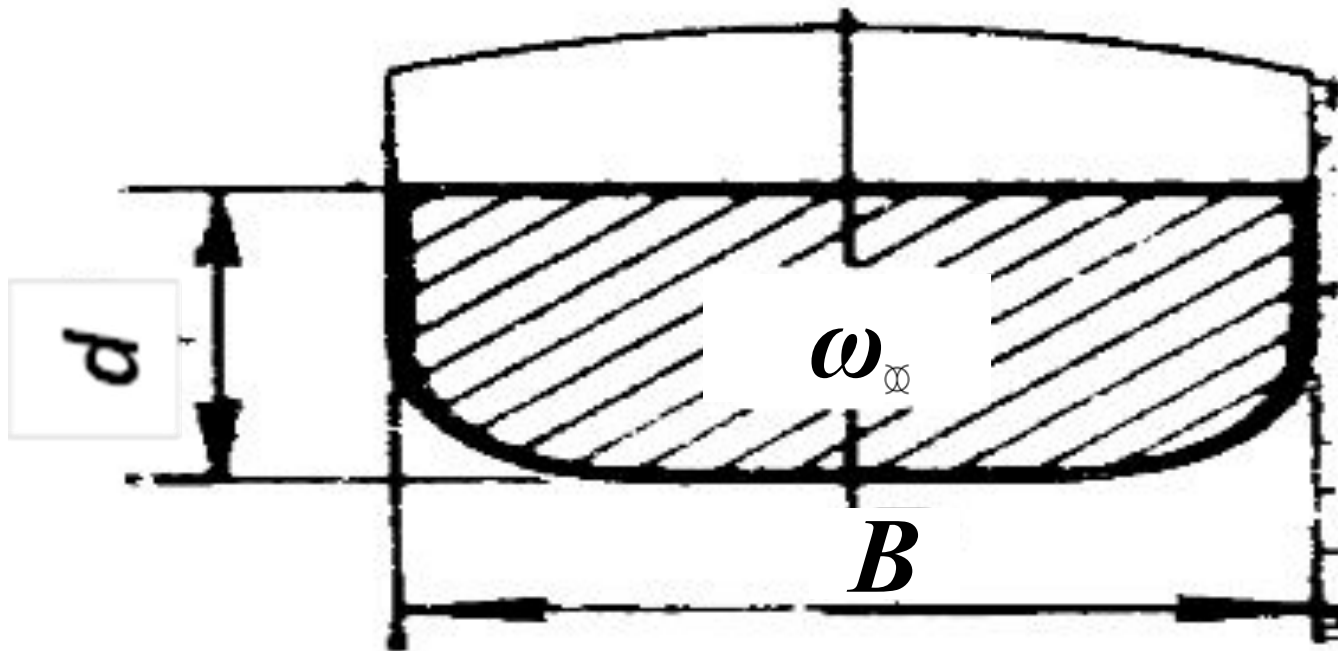
Коэффициент полноты ватерлинии - отношение площади конструктивной ватерлинии $S_{квл}$ к площади описанного вокруг нее прямоугольника с со сторонами L , B

$$\alpha = S/L \cdot B$$



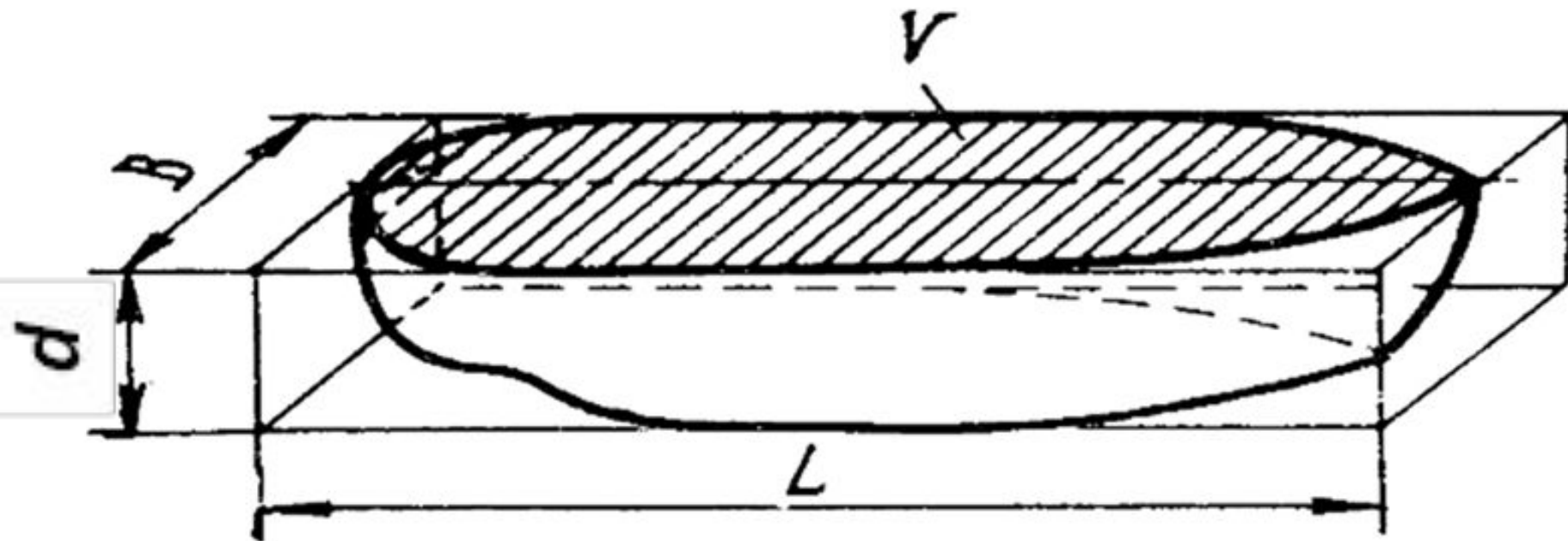
Коэффициент полноты мидель-шпангоута - отношение погруженной площади мидель-шпангоута $\omega_{\text{м}}$ к площади описанного вокруг него с со сторонами B, d

$$\beta = \omega_{\text{м}} / B \cdot d$$



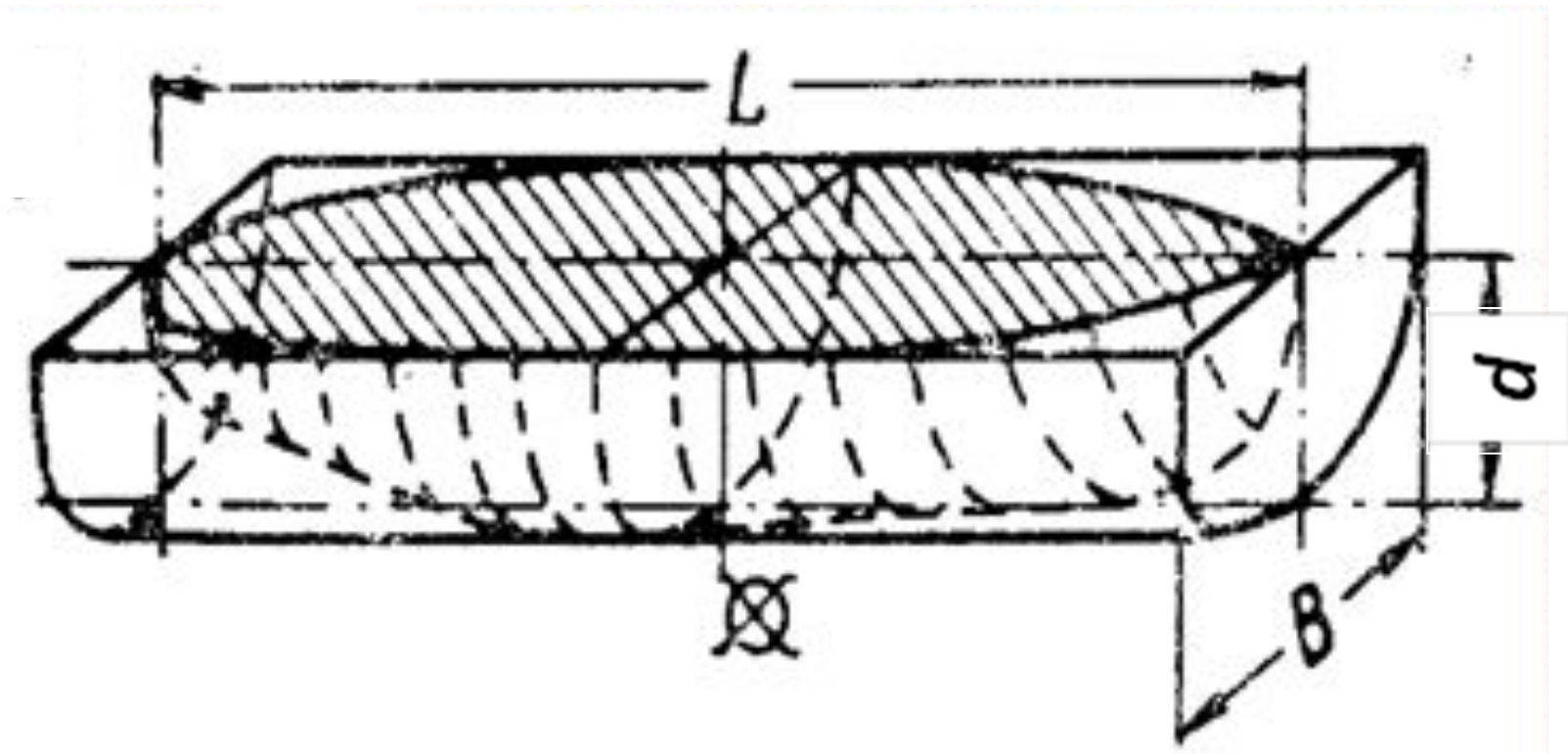
Коэффициент общей полноты судна — отношение объема подводной части корпуса V к объему прямоугольного параллелепипеда с сторонами L , B , d

$$\delta = V / L \cdot B \cdot d$$



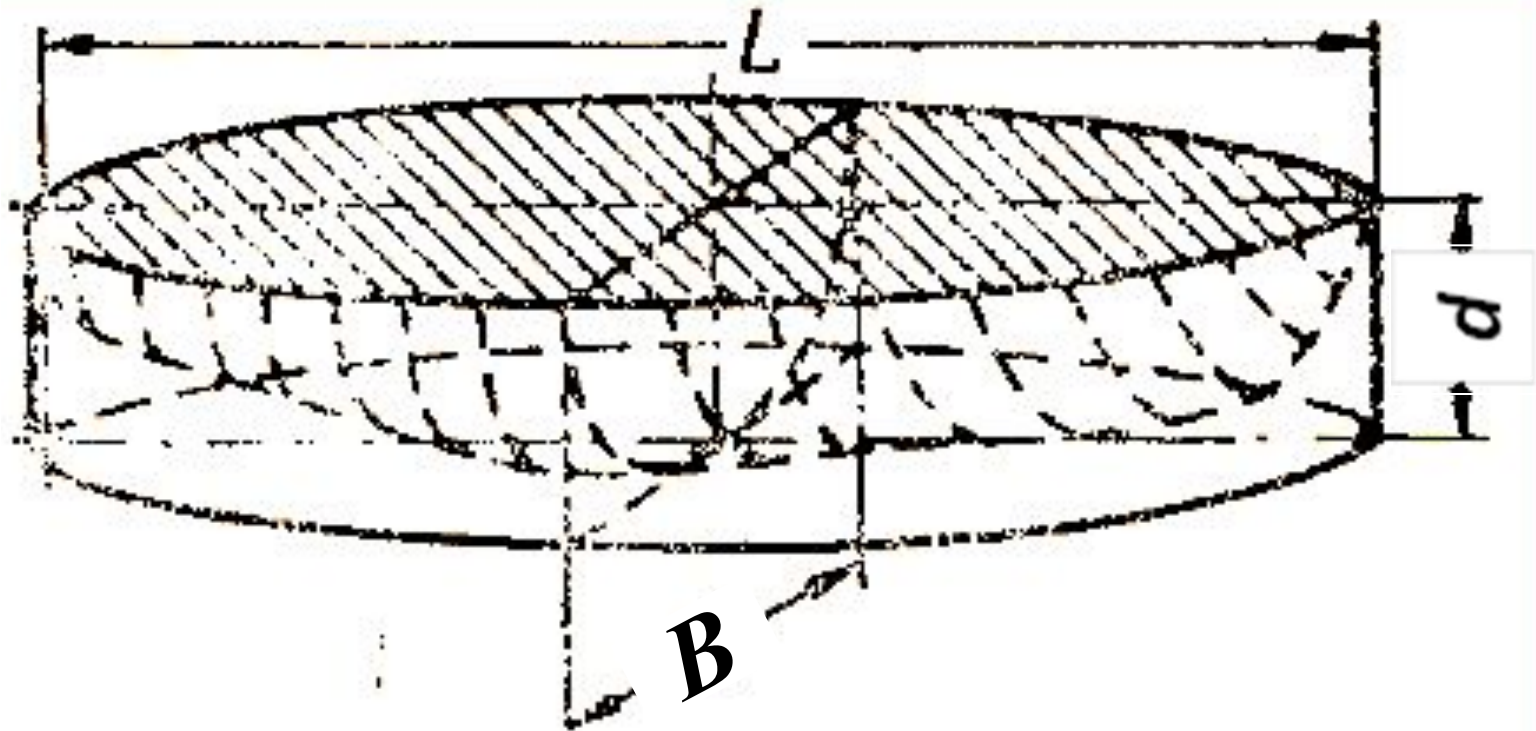
Коэффициент продольной полноты - отношение объема подводной части корпуса V к объему прямого цилиндра с основанием, ограниченным обводом мидель-шпангоута, а длина образующей, равной длине судна L

$$\varphi = V/\omega \cdot L = \delta/\beta$$



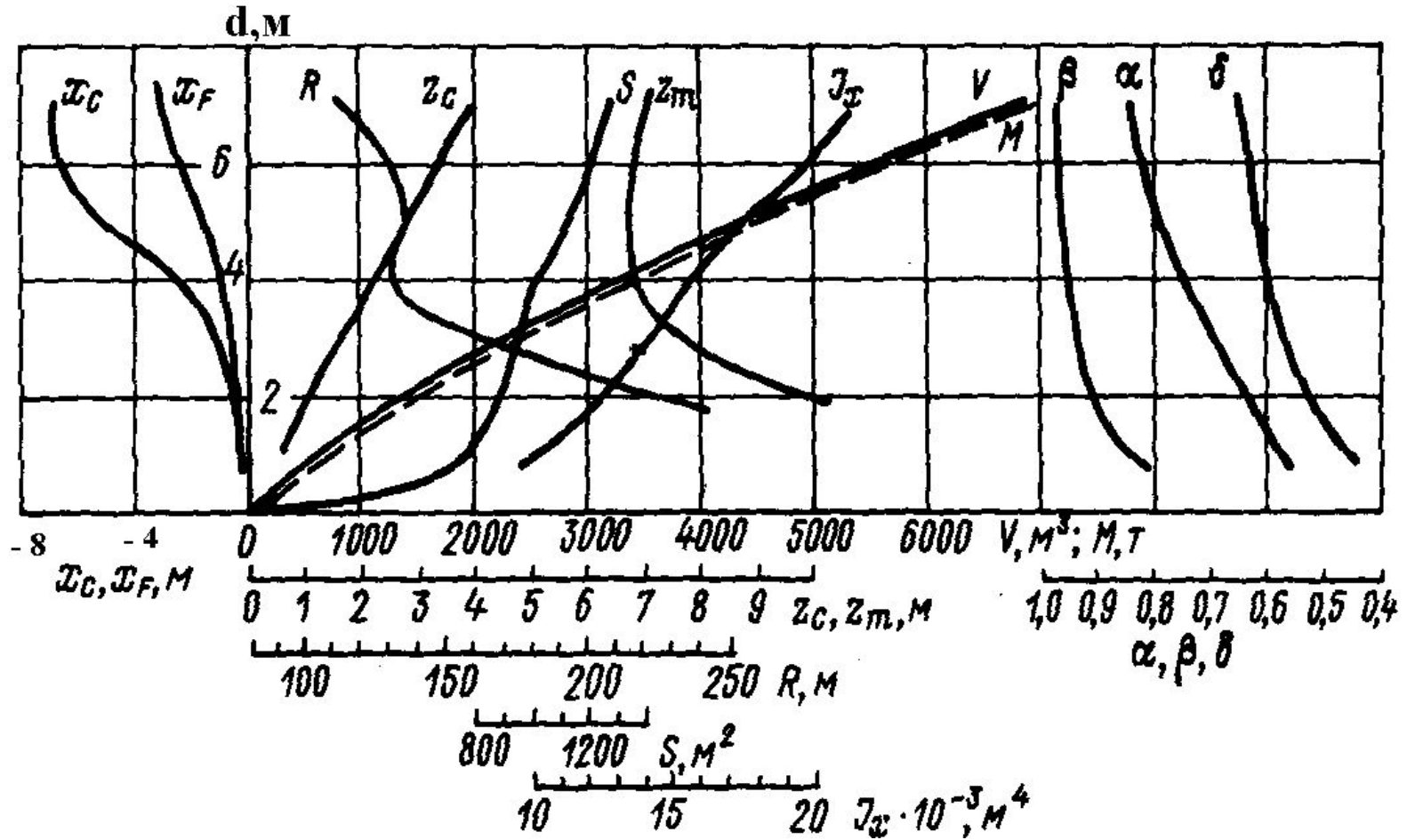
Коэффициент вертикальной полноты - отношение объема подводной части корпуса V к объему прямого цилиндра с основанием, ограниченным обводом конструктивной ватерлинии и образующей, равной осадке судна d

$$\chi = V/S \cdot d = \delta/\alpha$$

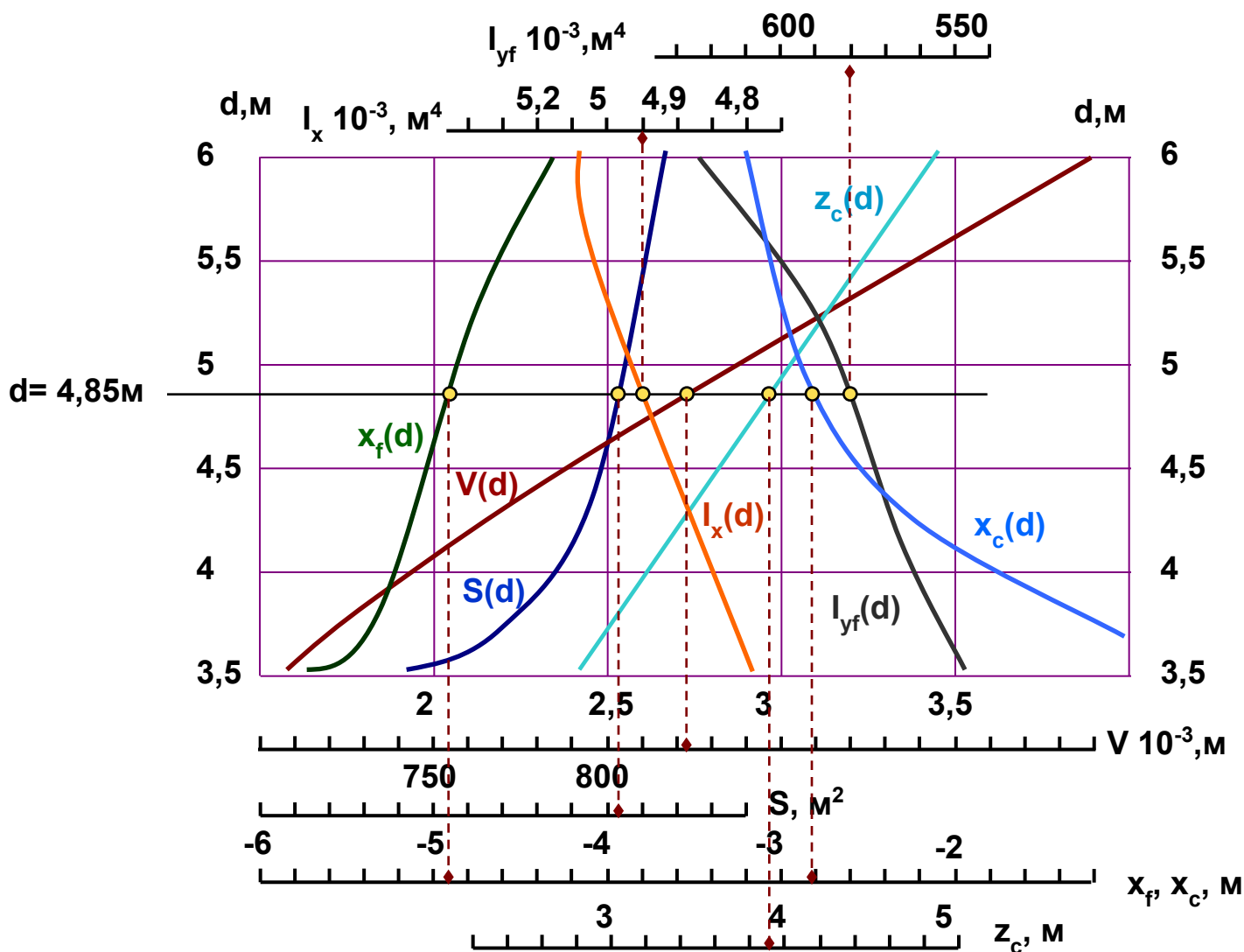


Кривые элементов теоретического чертежа (КЭТЧ) - это зависимости площадей ватерлиний, погруженного объема и других элементов теоретического чертежа в зависимости от осадки d (при отсутствии крена и дифферента).

Они также называются **гидростатическими кривыми**.



Кривые элементов ТЧ



На КЭТЧ изображаются (в соответствующих масштабах):

- $V(d)$ и $M(d)$ – кривые объемного и массового водоизмещения или «**грузовой размер**»;
- $x_c(d)$ - кривая абсцисс ЦВ судна;
- $z_c(d)$ - кривая аппликат ЦВ судна;
- $S(d)$ – кривая площадей ватерлиний или «**строевая по ватерлиниям**»;
- $x_F(d)$ - кривая абсцисс центров тяжести площадей ватерлиний;
- $I_x(d)$ - кривая моментов инерции площадей ватерлиний относительно оси Ox ;
- $I_{y_F}(d)$ – кривая моментов инерции площадей ватерлиний относительно поперечной оси, проходящей через т. F ;
- $z_m(d)$ - кривая аппликат поперечного метацентра;
- кривые коэффициентов полноты $\delta(d)$, $\alpha(d)$, $\beta(d)$.

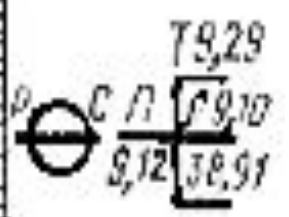
Все значения могут быть сведены также в таблицу «**Гидростатические элементы**», а кривая «**Грузовой размер**» в таблицу «**Грузовая шкала**» (см. след. слайды)

Гидростатические элементы

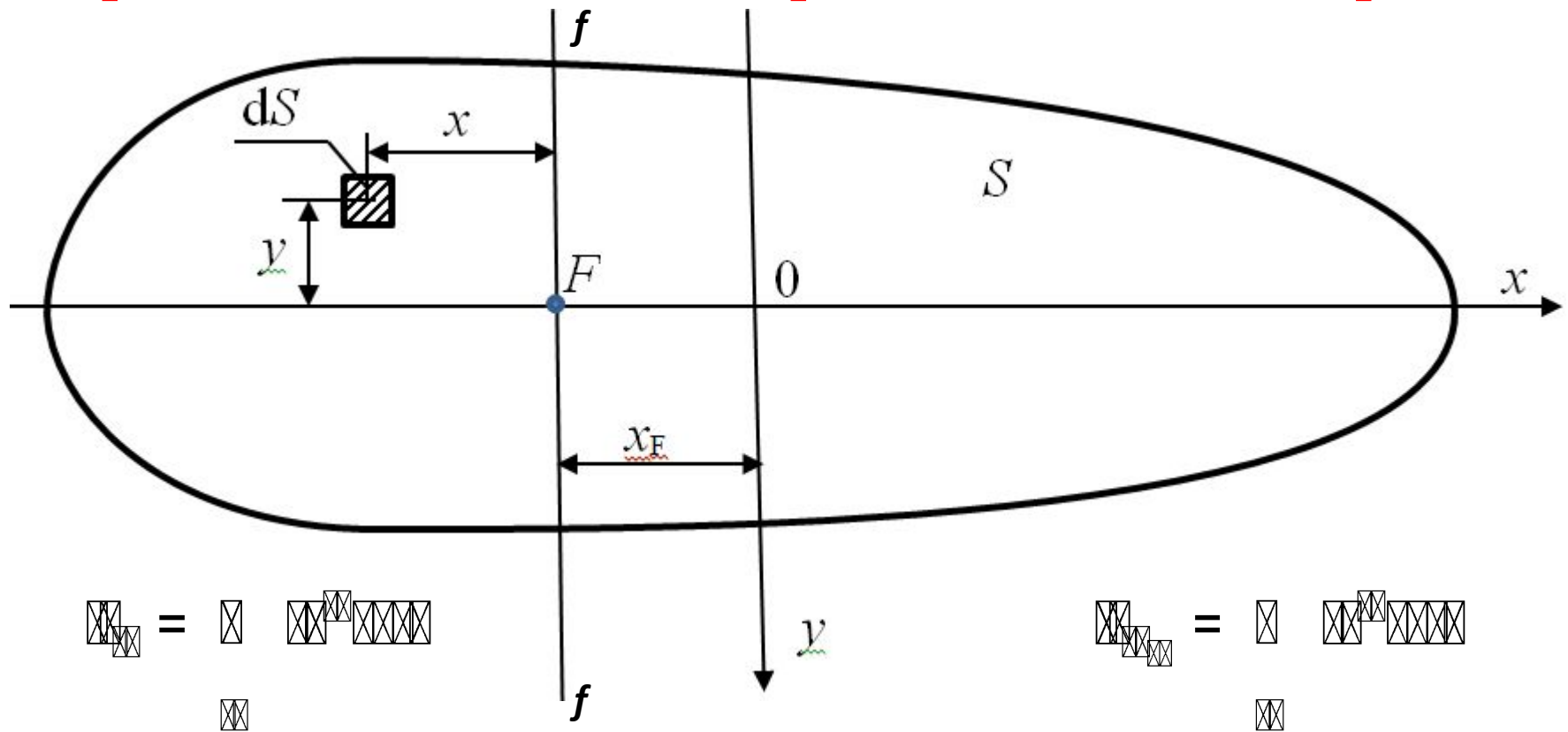
| M | d | q | z_m | h_{min} | x_C | x_F | $M_{1\psi}$ |
|------|------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------------|
| Т | М | Т/СМ | М | М | М | М | Т·М/СМ |
| 3275 | 2,70 | 12,42 | 6,59 | 1,25 | 0,50 | -0,18 | 92,78 |
| 3340 | 2,75 | 12,45 | 6,53 | 1,19 | 0,49 | -0,21 | 93,33 |
| 3406 | 2,80 | 12,48 | 6,47 | 1,16 | 0,48 | -0,24 | 93,88 |
| 3472 | 2,85 | 12,50 | 6,41 | 1,11 | 0,46 | -0,27 | 94,45 |
| 3538 | 2,90 | 12,53 | 6,36 | 1,06 | 0,45 | -0,29 | 95,02 |
| 3604 | 2,95 | 12,56 | 6,31 | 1,03 | 0,44 | -0,32 | 95,60 |
| 3670 | 3,00 | 12,58 | 6,26 | 1,00 | 0,42 | -0,35 | 96,19 |
| 3736 | 3,05 | 12,60 | 6,21 | 0,97 | 0,41 | -0,38 | 96,74 |
| 3803 | 3,10 | 12,62 | 6,17 | 0,94 | 0,39 | -0,40 | 97,29 |
| 3870 | 3,15 | 12,65 | 6,12 | 0,91 | 0,38 | -0,43 | 97,85 |
| 3936 | 3,20 | 12,68 | 6,08 | 0,89 | 0,36 | -0,45 | 98,42 |
| 4003 | 3,25 | 12,70 | 6,05 | 0,88 | 0,35 | -0,48 | 99,00 |

Грузовая шкала

| Высота, м | Высота, футы | Водоизмещение, т | | | Дебит, т | | | Число тонн на 1 см осадки при $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ | Осадка, м |
|-----------|--------------|---|---|---|---|---|---|--|-----------|
| | | в пресной воде $\rho = 1,000 \text{ т/м}^3$ | в морской воде $\rho = 1,010 \text{ т/м}^3$ | в арктической воде $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ | в пресной воде $\rho = 1,000 \text{ т/м}^3$ | в морской воде $\rho = 1,010 \text{ т/м}^3$ | в арктической воде $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ | | |
| 9,5 | XXXI | 15000 | 15000 | 15000 | 10000 | 10000 | 10000 | | 45 |
| 9,0 | XXX | 14000 | 14000 | 14000 | 5000 | 5000 | 5000 | 20 | 90 |
| 8,5 | XXIX | 13000 | 13000 | 13000 | 5000 | 5000 | 5000 | | 85 |
| 8,0 | XXVIII | 12000 | 12000 | 12000 | 7000 | 7000 | 7000 | 15 | 80 |
| 7,5 | XXVII | 11000 | 11000 | 11000 | 5000 | 5000 | 5000 | 18 | 75 |
| 7,0 | XXVI | 10000 | 10000 | 10000 | 5000 | 5000 | 5000 | | 70 |
| | XXV | | | | | | | | 65 |



Определение моментов инерции площадей ватерлиний



Т.е. момент инерции площади ватерлинии определяется как интеграл по площади S квадрата расстояния до оси вращения на площадь элементарной площадки dS .

Точка F с абсциссой x_F - **центр тяжести площади действующей ватерлинии** лежит на оси $f-f$ параллельной оси ординат Oy .

Это точка, относительно которой судно **кренится** вокруг оси абсцисс Ox и изменяет **дифферент** вокруг оси $f-f$.

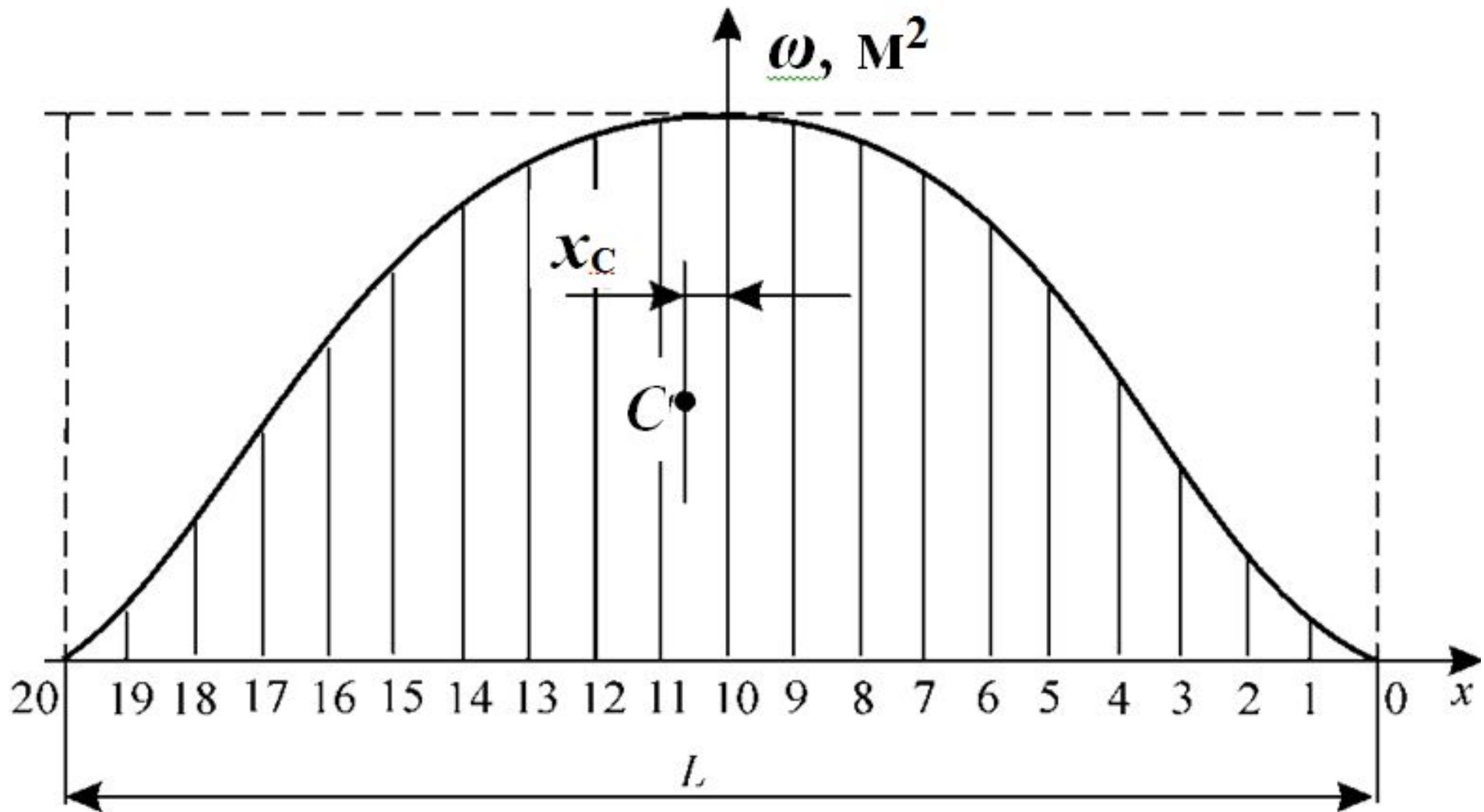
Строевая по шпангоутам

Для характеристики распределения сил водоизмещения по длине судна строят специальную эпюру, **называемую строевой по шпангоутам**.

Для построения этой эпюры горизонтальная линия, выраженная в принятом масштабе теоретическую длину судна, делится на 20 одинаковых частей, равных числу шпаций на теоретическом чертеже судна. На перпендикулярах, восстановленных в точках деления, откладывают в определенном масштабе величины площадей погруженных частей соответствующих шпангоутов ω и концы этих отрезков соединяют плавной линией.

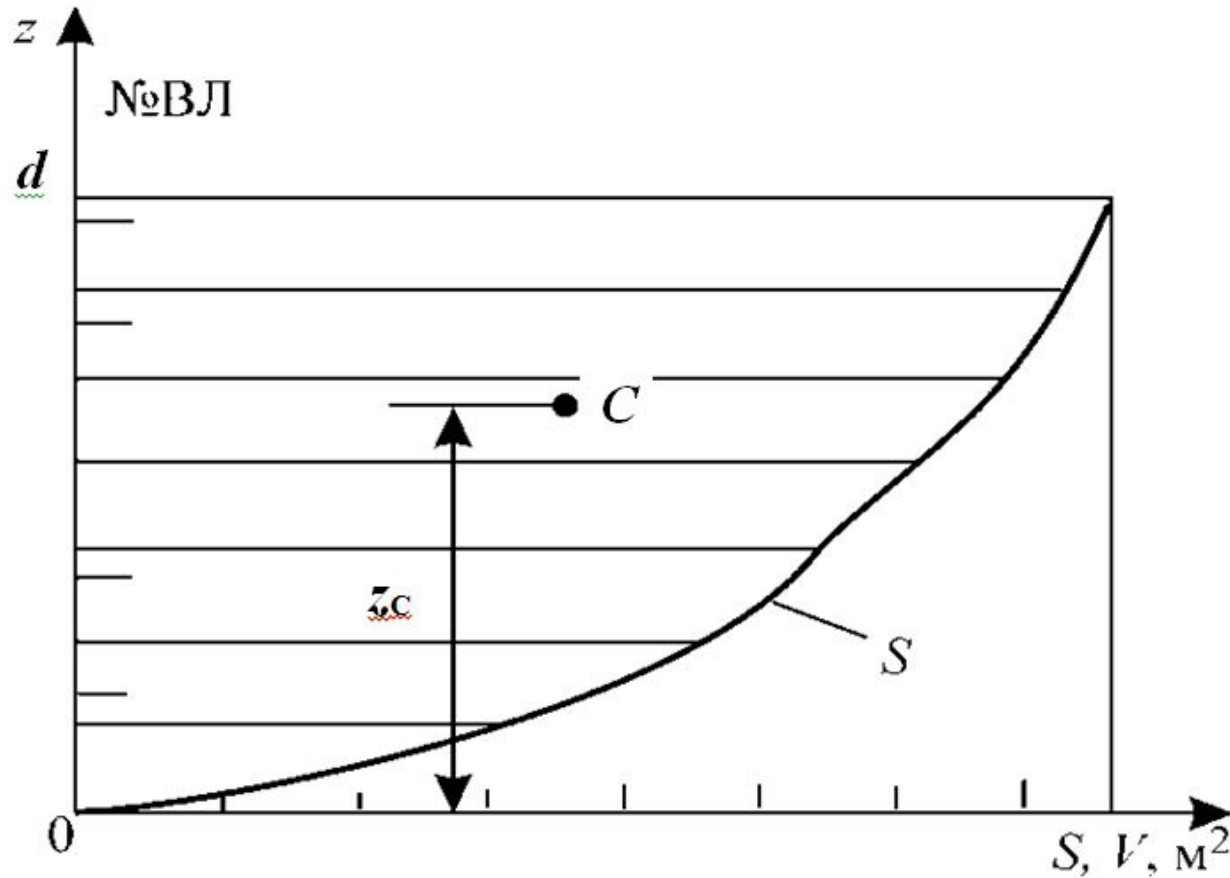
Площадь строевой по шпангоутам равна **водоизмещению судна V** , а *абсцисса центра тяжести строевой по шпангоутам* равна **абсциссе центра величины судна x_C** .

Строевая по шпангоутам



Строевая по ватерлиниям

Это эюра, характеризующая распределение сил водоизмещения по высоте судна.



Площадь строевой по ватерлиниям также равна **объемному водоизмещению судна** - V , а ордината ее центра тяжести определяет положение **центра величины судна по его высоте** - z_c

Масштаб Бонжана

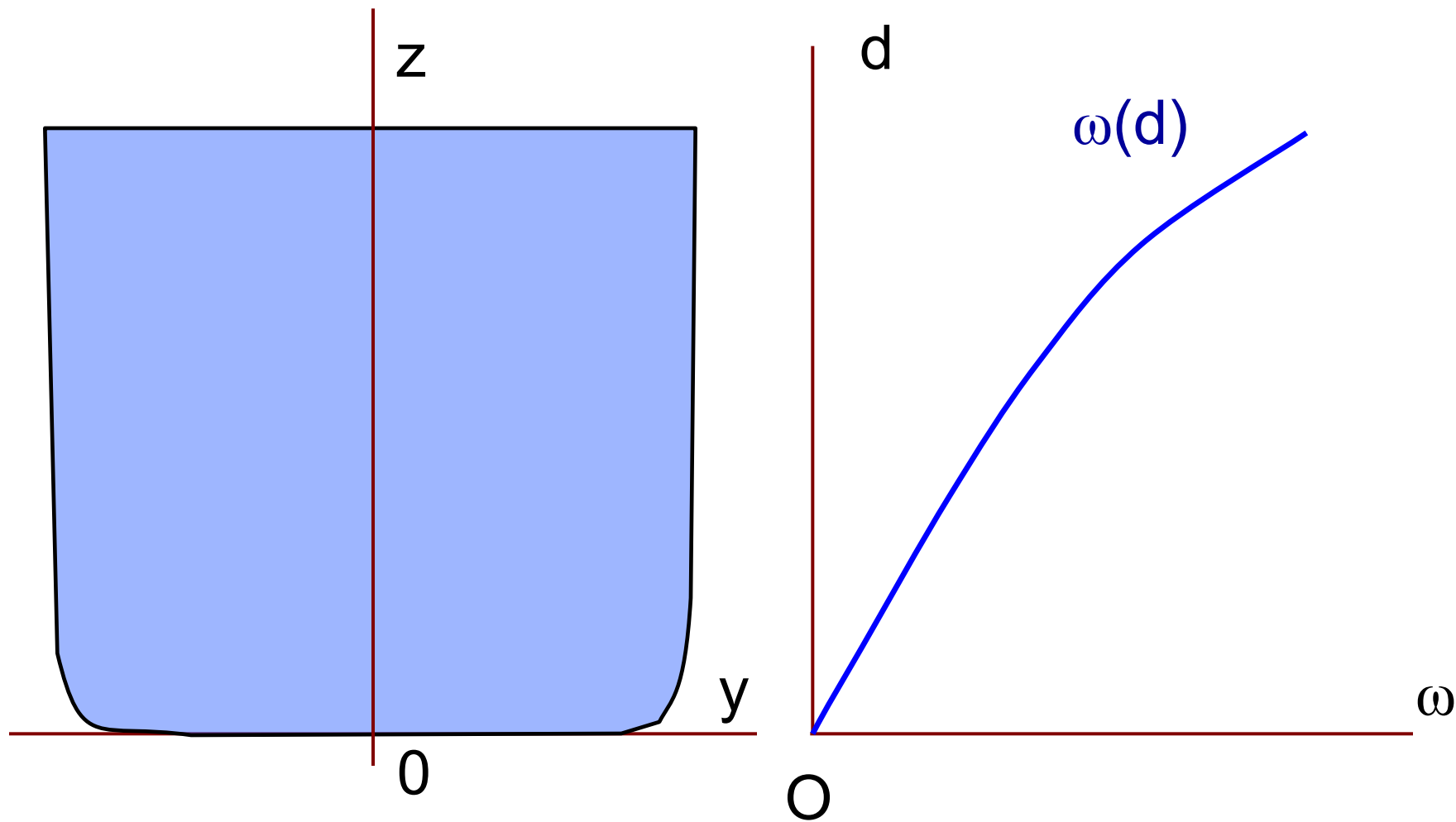
Представляет совокупность зависимостей площадей всех теоретических шпангоутов от их погружения по длине судна.

Строится масштаб Бонжана на трансформированном контуре сечения корпуса диаметральной плоскостью. Трансформация заключается в том, что для удобства использования, линейные масштабы вдоль осей Ox и Oy выбираются различными. От вертикальных линий, следов соответствующих теоретических шпангоутов ω_i откладываются до высоты определенной ватерлинии с осадкой d значения **площадей шпангоутов**:

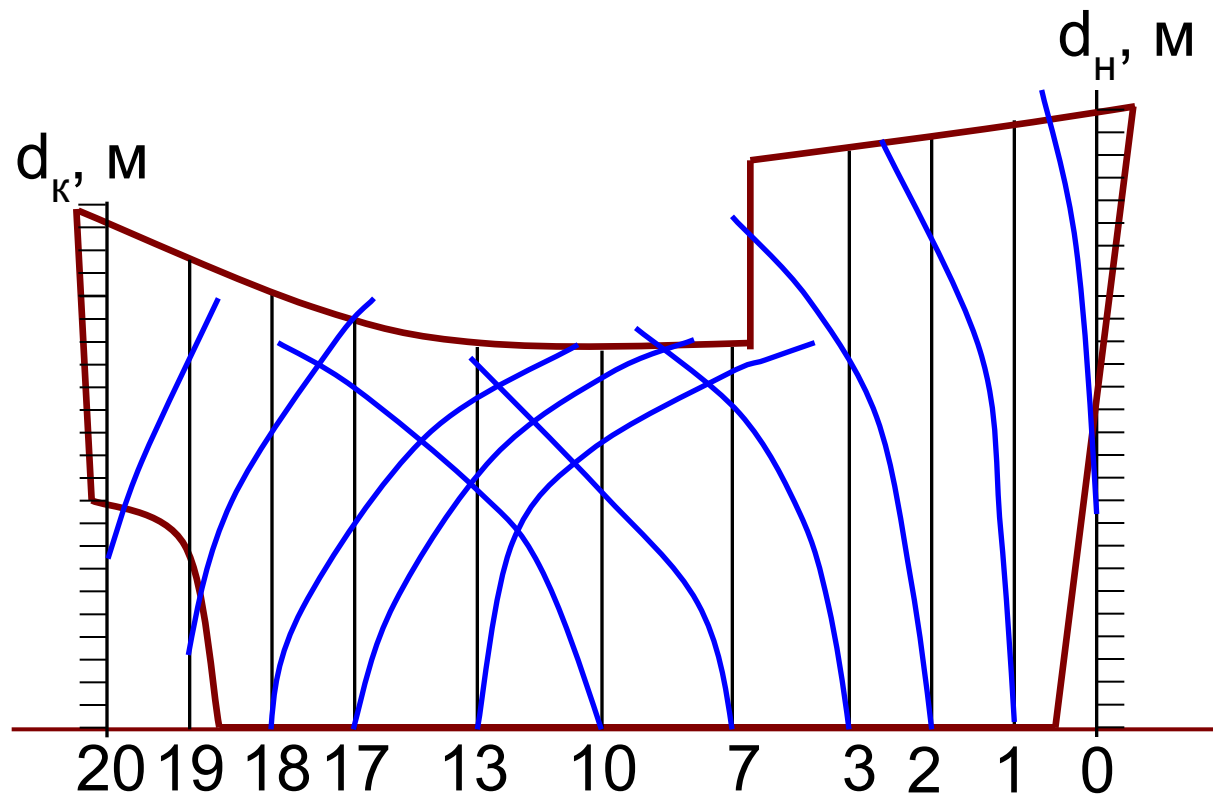
$$\omega_i = \omega_i' + d \cdot \omega_i''$$

С помощью масштаба Бонжана можно определить водоизмещение по любую, в том числе и наклонную (для судна, сидящего с *дифферентом*) ватерлинию V_{ψ} L_{ψ} .

Зависимость площади погруженной части шпангоута от осадки



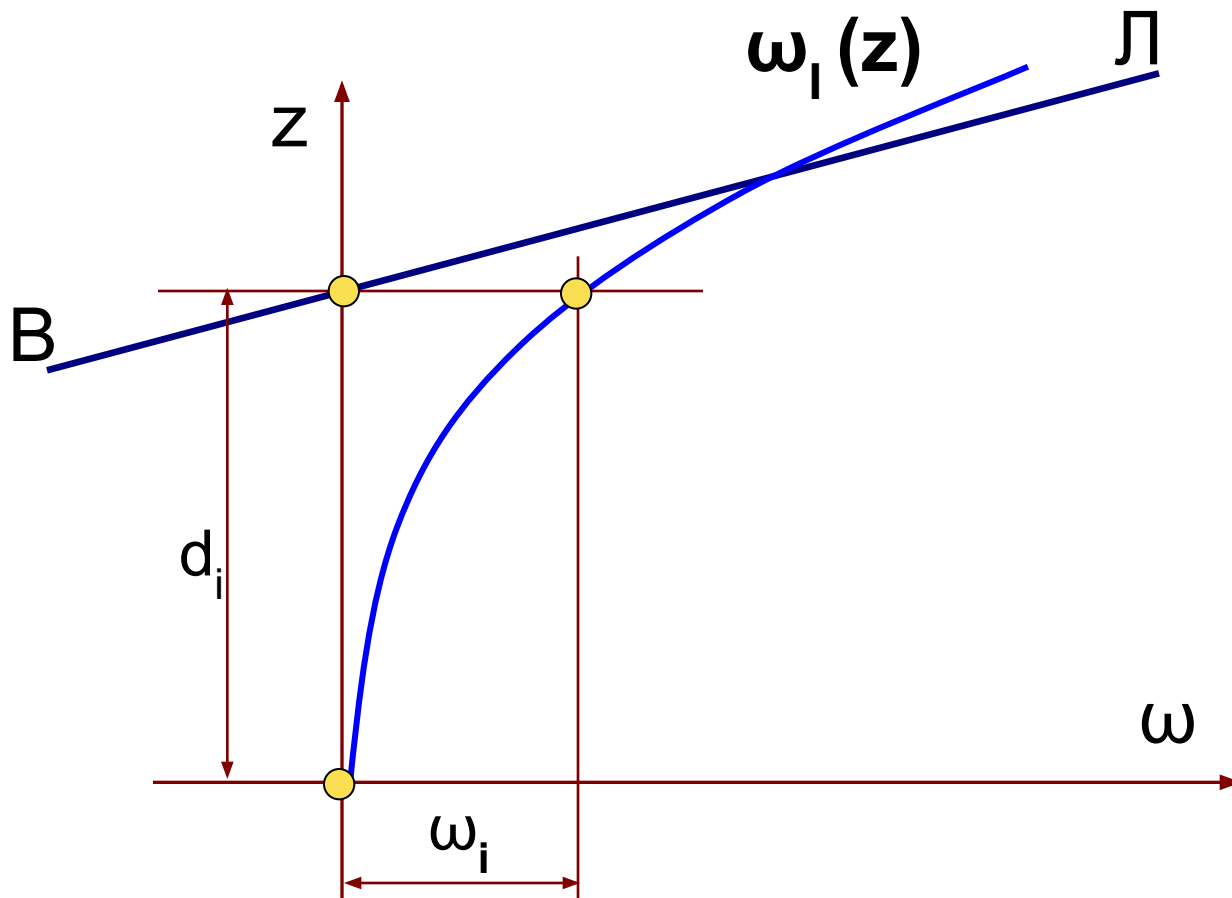
Масштаб Бонжана



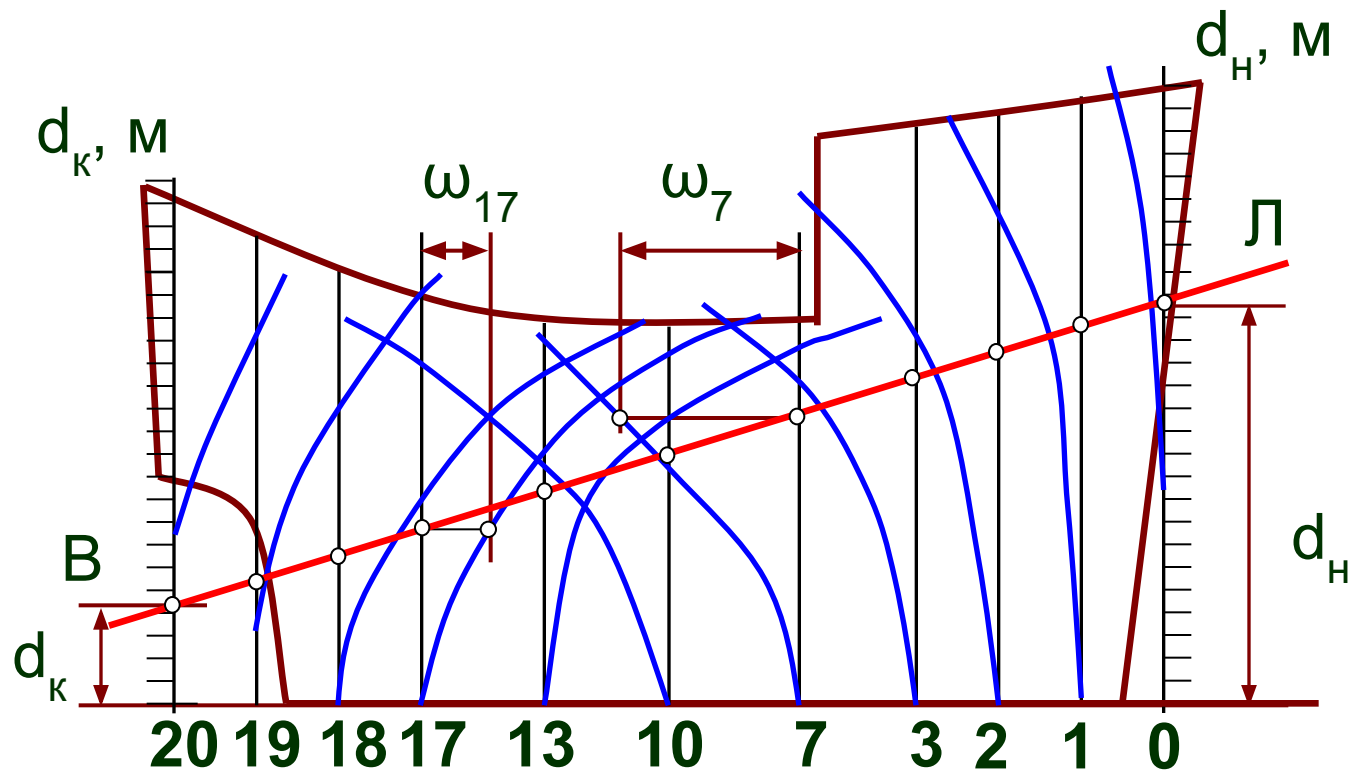
Использование Масштаба Бонжана

1. На диаграмму нанести диаметральный след ватерлинии по маркам d_n и d_k
2. Отметить точки пересечения следа ватерлинии со следами шпангоутов
3. Измерить горизонтальные расстояния между точками и кривыми $\omega(z)$
4. Построить **Строевую по шпангоутам $\omega(x)$**

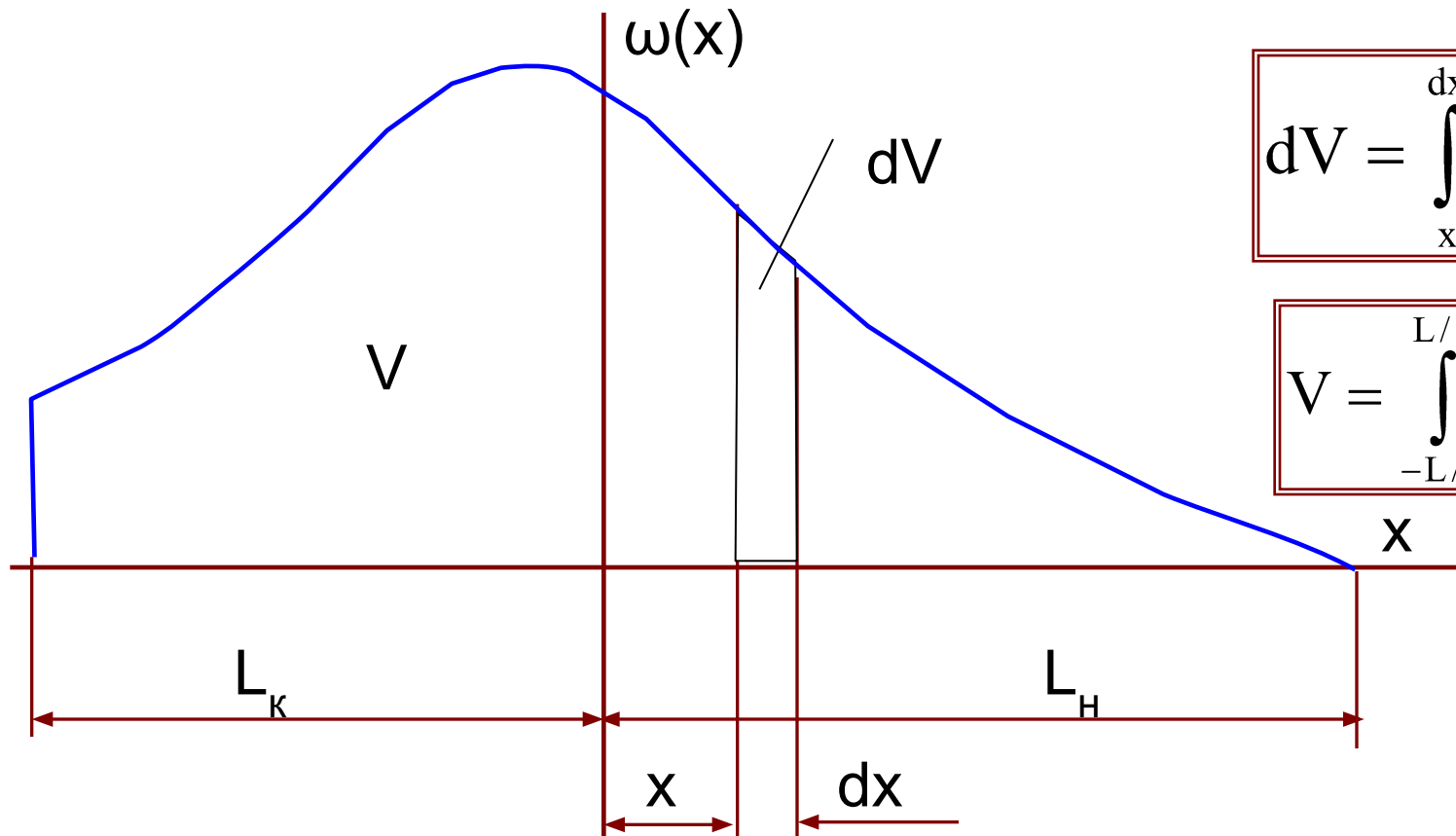
Использование Масштаба Бонжана



Использование Масштаба Бонжана



Строевая по шпангоутам – зависимость $\omega(x)$



$$dV = \int_x^{dx} \omega(x) dx$$

$$V = \int_{-L/2}^{L/2} \omega(x) dx$$

$$M_{yz} = \int_{-L/2}^{L/2} x\omega(x) dx; \quad x_c = \frac{M_{yz}}{V}$$

Интегралы вычисляются по правилу трапеций:

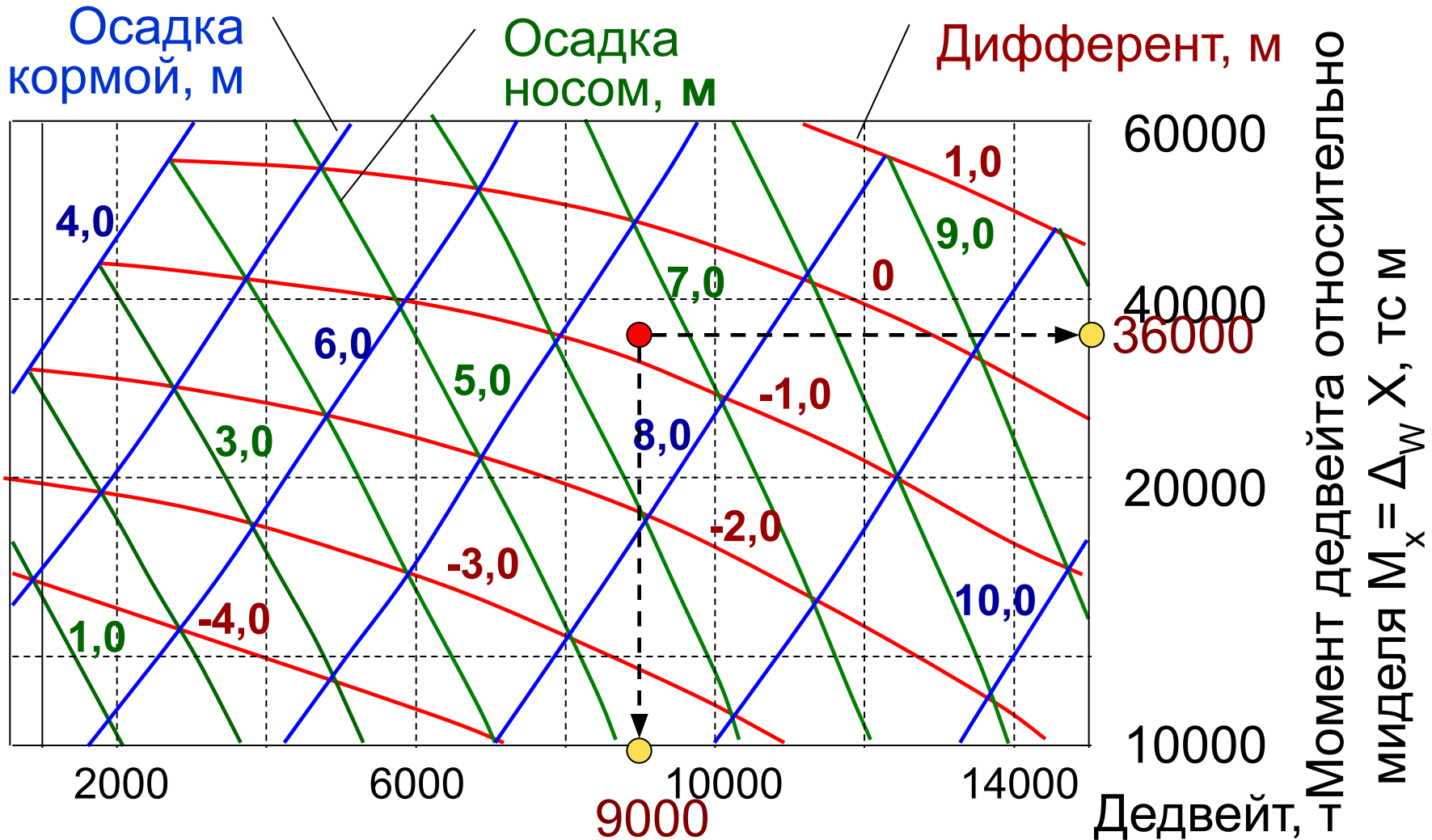
$$V = \Delta L \left\{ \sum_{i=0}^{i=N} \omega_i - \frac{\omega_0 + \omega_N}{2} \right\};$$

$$M_{yz} = \Delta L \left\{ \sum_{i=0}^{i=N} \omega_i X_i - \frac{\omega_0 X_0 + \omega_N X_N}{2} \right\}$$

i – номер теоретического шпангоута;

N – номер последнего шпангоута (обычно $N=20$)

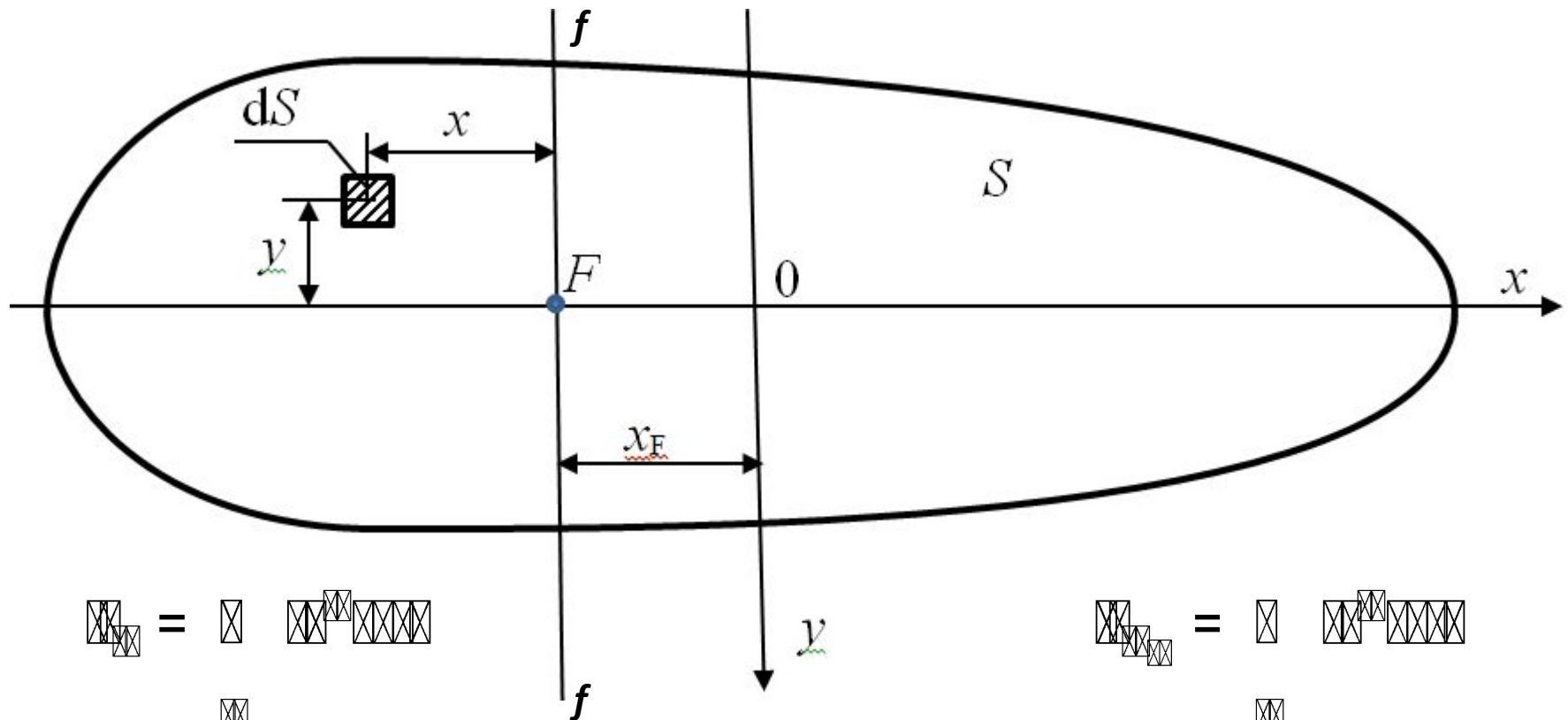
Диаграмма осадок носом и кормой



$d_H = 6,6\text{ м}; d_K = 7,4\text{ м};$
 дифф. = $-0,8\text{ м}$ (на корму)

$M = 9000\text{ т}; M_x = 36000\text{ тм}_4$

Определение моментов инерции площадей ватерлиний



Т.е. момент инерции площади ватерлинии определяется как интеграл по площади S квадрата расстояния до оси вращения на площадь элементарной площадки dS .

Точка F с абсциссой x_F - **центр тяжести площади действующей ватерлинии** лежит на оси $f-f$ параллельной оси ординат Oy .

Это точка, относительно которой судно **кренится** вокруг оси абсцисс Ox и изменяет **дифферент** вокруг оси $f-f$.

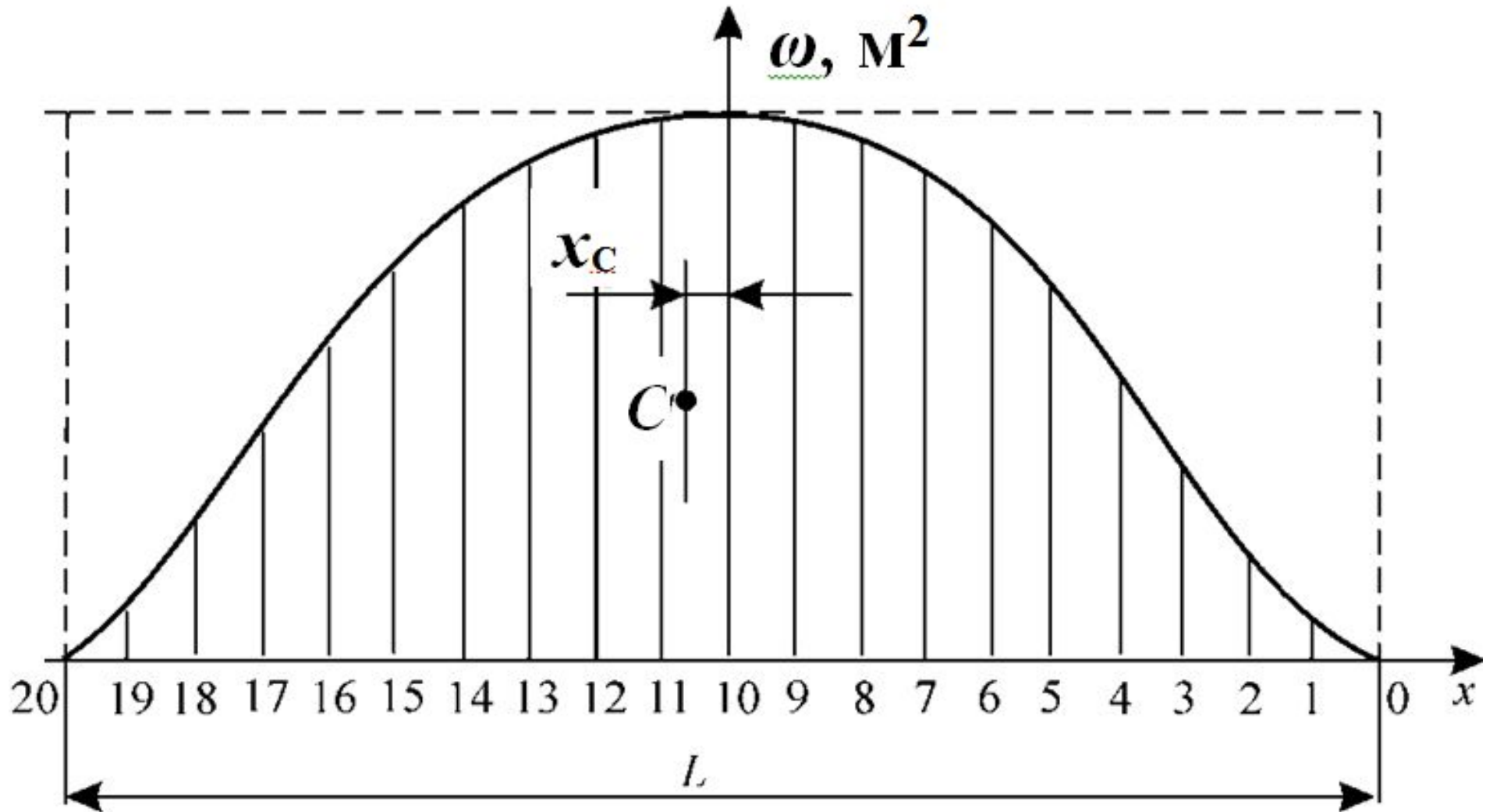
Строевая по шпангоутам

Для характеристики распределения сил водоизмещения по длине судна строят специальную эпюру, **называемую строевой по шпангоутам**.

Для построения этой эпюры горизонтальная линия, выраженная в принятом масштабе теоретическую длину судна, делится на 20 одинаковых частей, равных числу шпаций на теоретическом чертеже судна. На перпендикулярах, восстановленных в точках деления, откладывают в определенном масштабе величины площадей погруженных частей соответствующих шпангоутов ω и концы этих отрезков соединяют плавной линией.

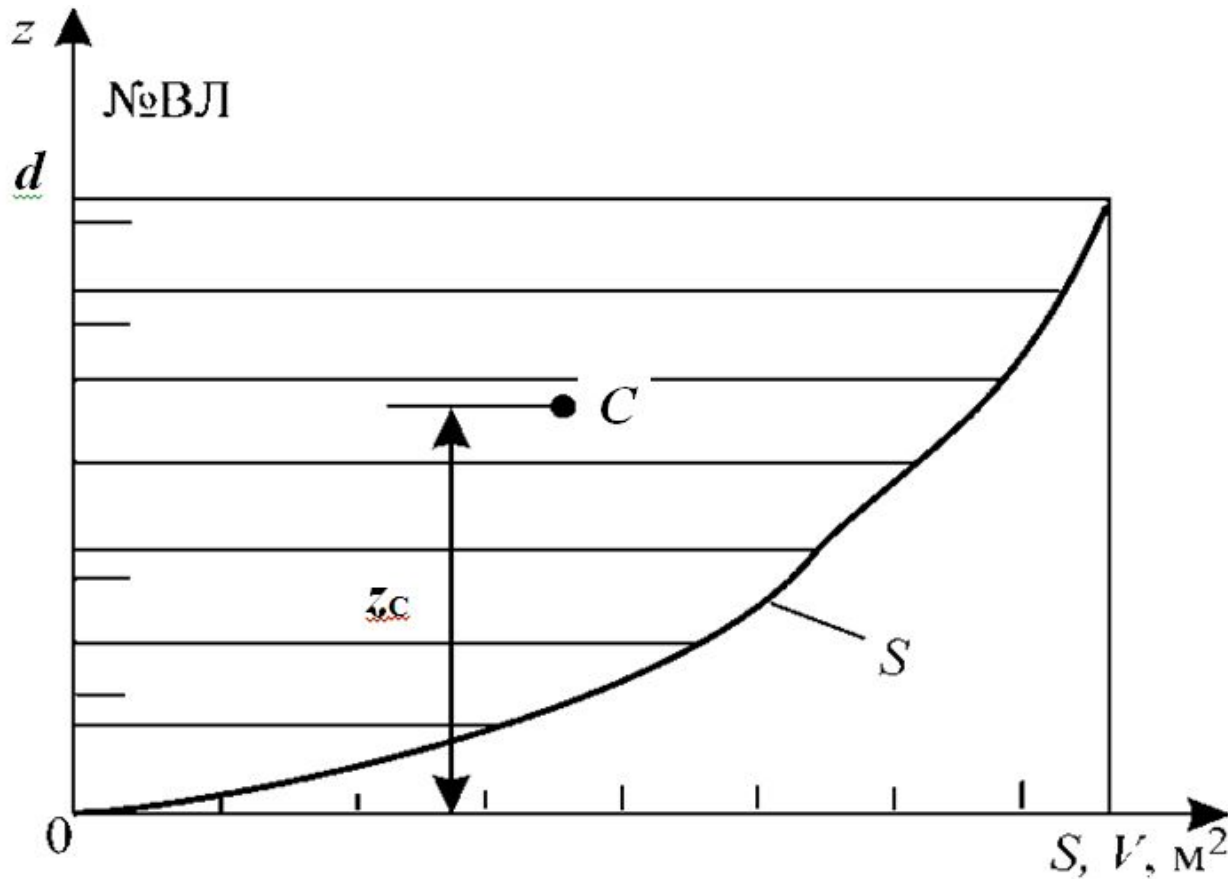
Площадь строевой по шпангоутам равна **водоизмещению судна** V , а *абсцисса центра тяжести строевой по шпангоутам* равна **абсциссе центра величины судна** X_C .

Строевая по шпангоутам



Строевая по ватерлиниям

Это эюра, характеризующая **распределение сил водоизмещения по высоте судна.**



Площадь строевой по ватерлиниям также равна **объемному водоизмещению судна** - V , а ордината ее центра тяжести определяет положение **центра величины судна по его высоте** - z_c

Масштаб Бонжана

Масштаб Бонжана представляет совокупность зависимостей площадей всех теоретических шпангоутов от их погружения по длине судна.

Строится масштаб Бонжана на трансформированном контуре сечения корпуса диаметральной плоскостью. Трансформация заключается в том, что для удобства использования, линейные масштабы вдоль осей Ox и Oy выбираются различными. От вертикальных линий, следов соответствующих теоретических шпангоутов ω_i откладывают доведенные до высоты определенной ватерлинии с осадкой d значения **площадей шпангоутов**:

$$\omega_i = \omega_i' + d \cdot \omega_i''$$

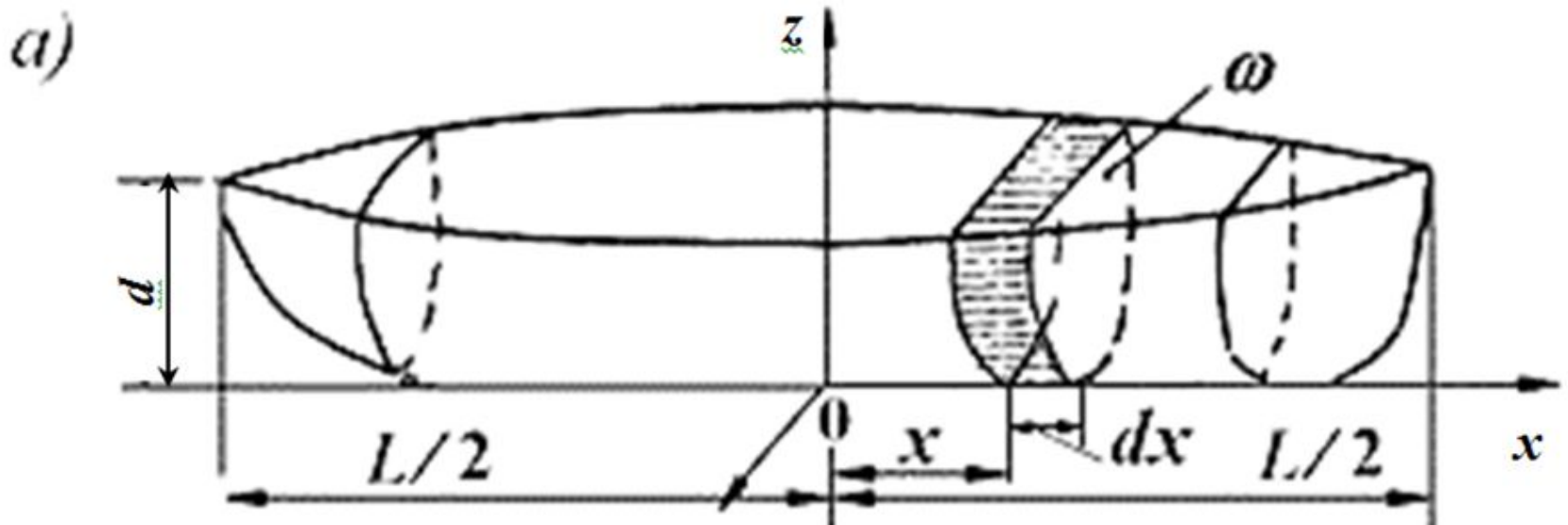
С помощью масштаба Бонжана можно определить водоизмещение по любую, в том числе и наклонную (для судна, сидящего с *дифферентом*) ватерлинию V_ψ L_ψ .

Для вычисления **объемного водоизмещения**, **координат центра величины** и других элементов плавучести используется теоретический чертеж.

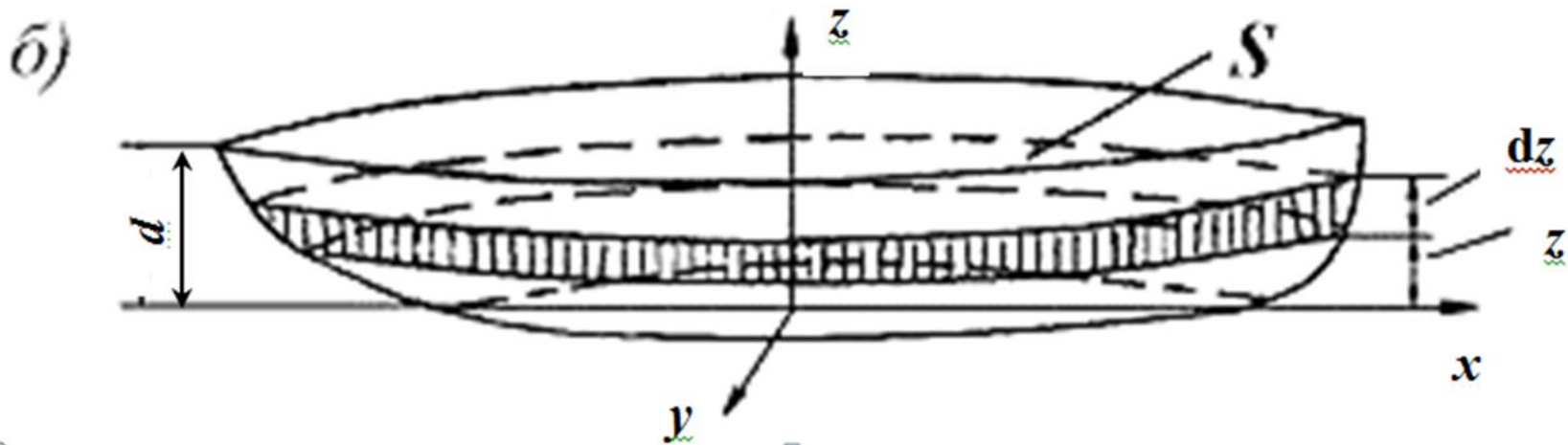
Выделим из подводного объема корпуса двумя плоскостями шпангоутов, отстоящих на бесконечно малую величину dx элемент этого объема. Объем такого элемента будет $\omega \cdot dx$, а **погруженный объем судна** V определится интегрированием этого выражения по длине судна L .

$$V = \int_{-L/2}^{+L/2} \omega \, dx$$

Абсцисса центра величины:
$$x_{cg} = \frac{1}{V} \int_{-L/2}^{+L/2} \omega x \, dx$$



Рассмотрим элемент подводного объема, ограниченный плоскостями двух ватерлиний отстоящих на расстоянии z и $z + dz$ от основной плоскости.



Объем выделенного элемента будет $S \cdot dz$, а **погруженный объем корпуса** V по ватерлинию при осадке d будет:

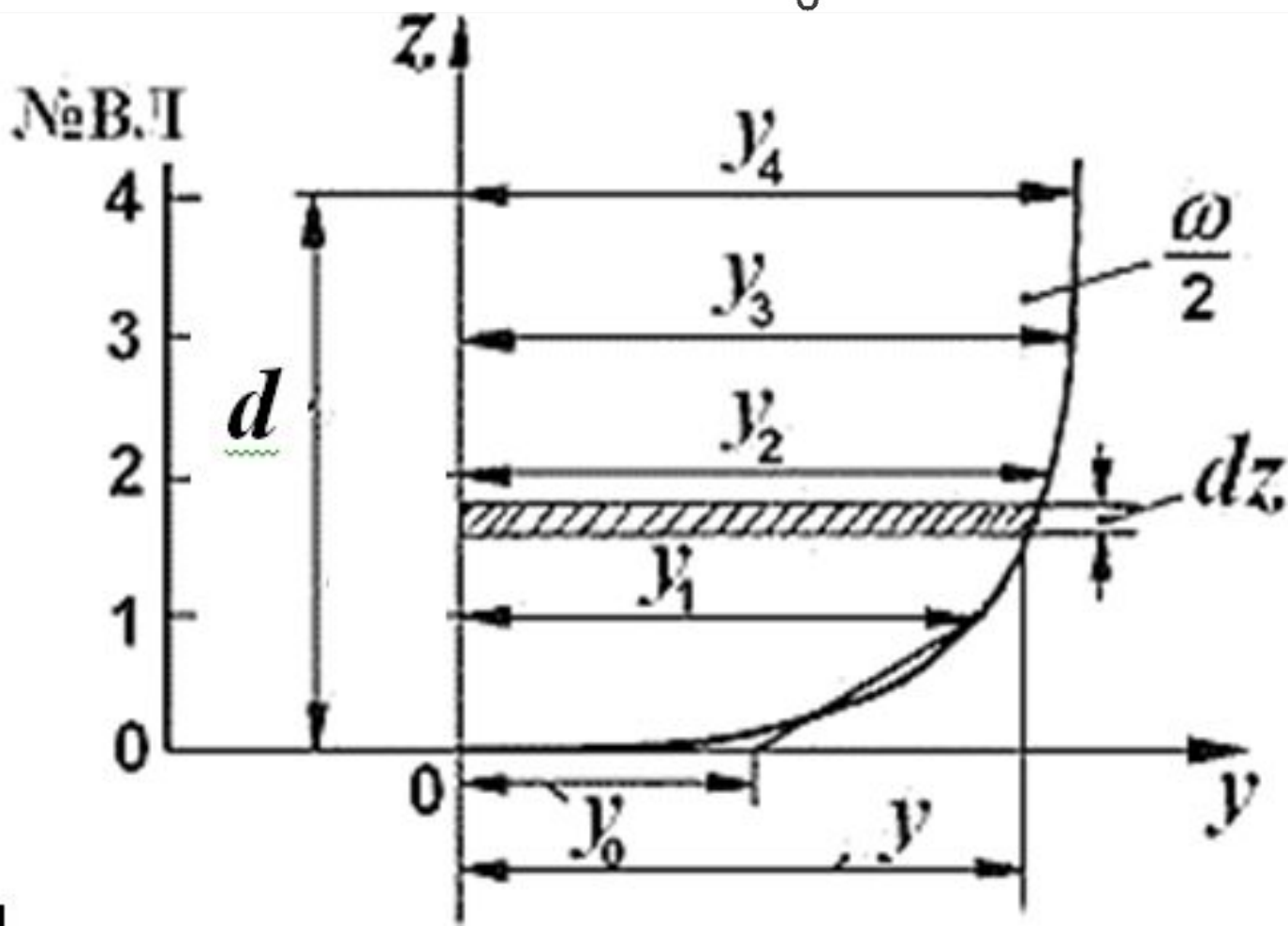
$$V = \int_0^d S \cdot dz$$

Апplikата центра величины:

$$\bar{z} = \frac{1}{V} \int_0^d z \cdot S \cdot dz$$

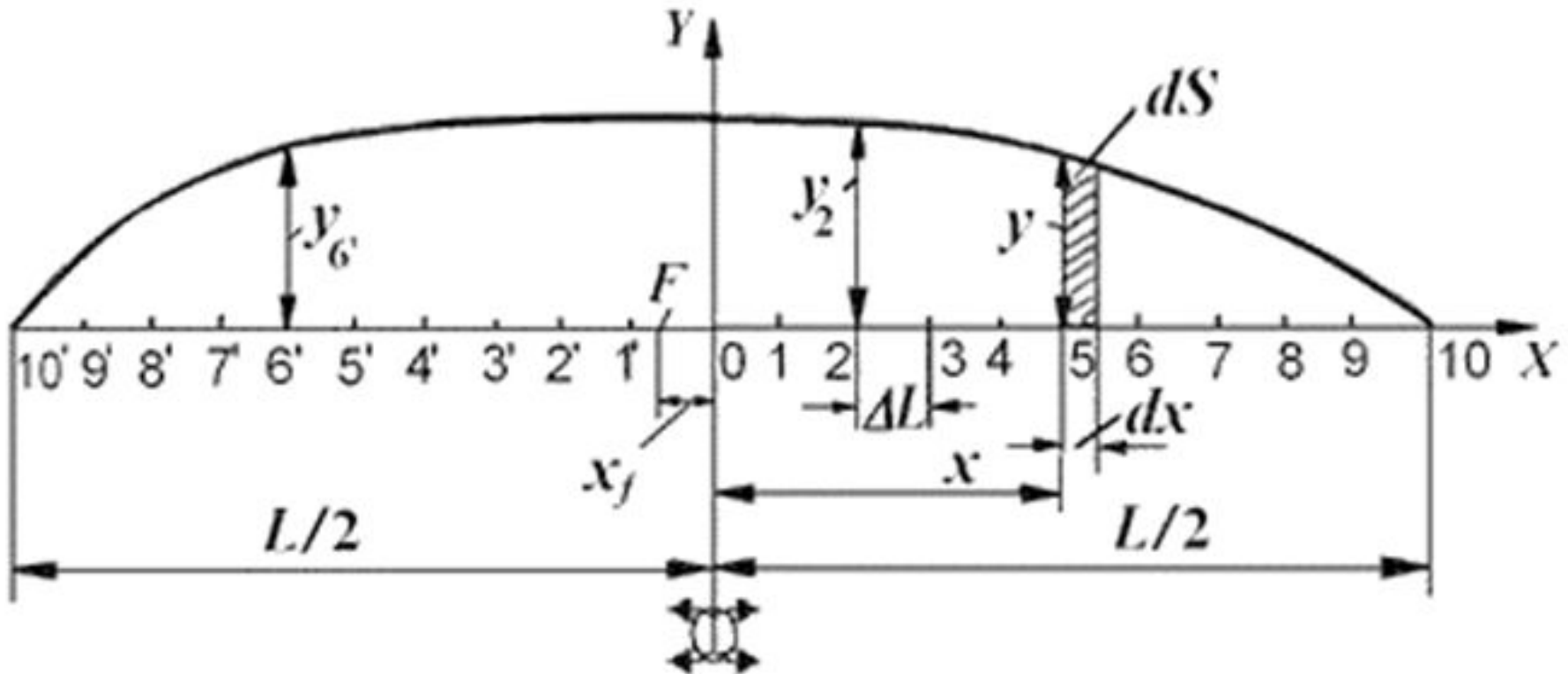
Погруженная площадь шпангоута ω определяется интегрированием элементарных площадок $y \cdot dz$ в пределах осадки судна d .

$$\omega = 2 \int_0^d y \cdot dz$$



Площадь ватерлинии определяется интегрированием элементарных площадок $y \cdot dx$ по длине ватерлинии

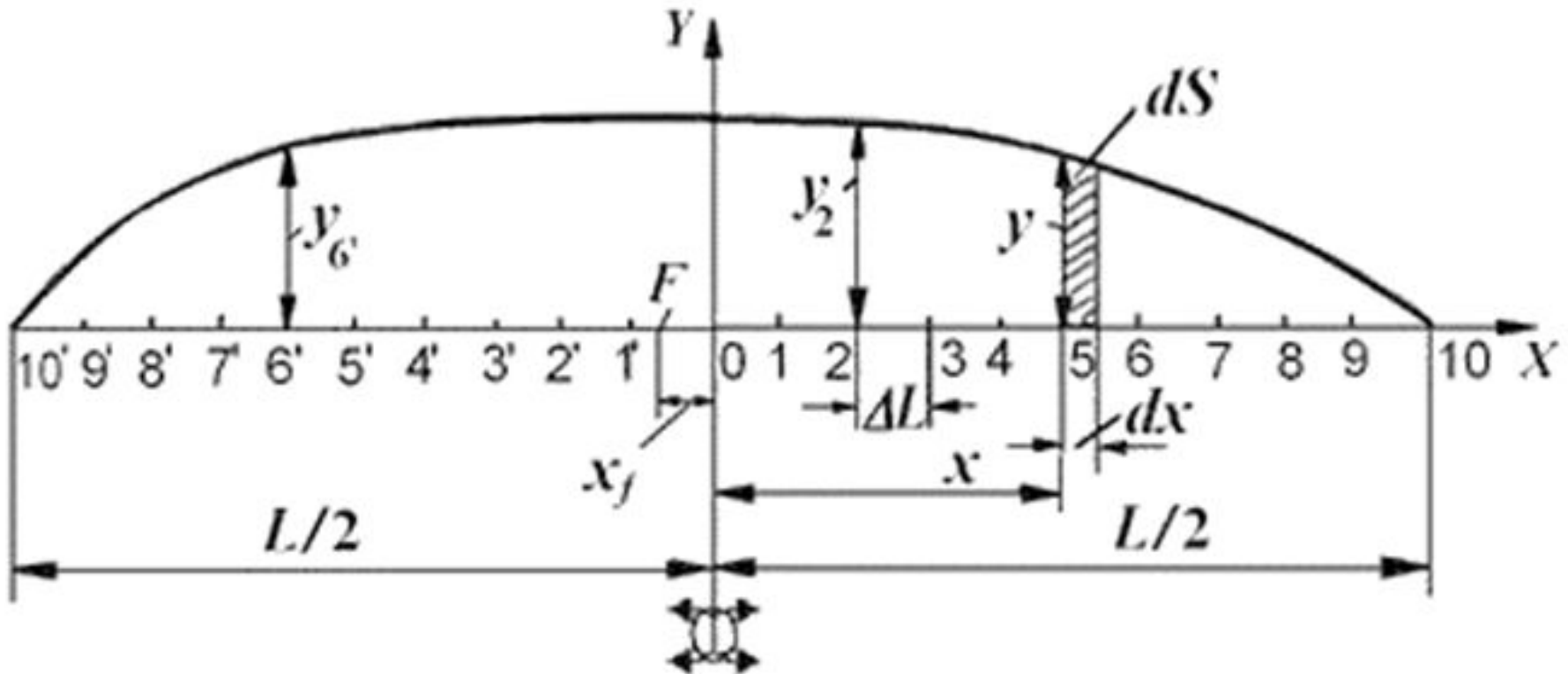
$$S = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} y \, dx$$



В формулах присутствует множитель 2, т.к. ордината (y) измеряется от ДП на один борт.

Площадь ватерлинии определяется интегрированием элементарных площадок $y \cdot dx$ по длине ватерлинии

$$S = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} y \, dx$$



В формулах присутствует множитель 2, т.к. ордината (y) измеряется от ДП на один борт.