

# Конструктивная прочность

Волков В.М.

34. лекции и практики

9.02.09

РГР

Литература:

- 1) учебник "Прочность корабля" Волков В.М., 94г.
- 2) правила "Речной Регистр РСФСР" часть 2.
- 3) "Прочность судов внутр. плавания" Справочник,
- 4) "Прочность парашютистов" Речн. регистр, Помощник 2
- 5) Заманченко П.П. "Судна на поств. кризисах", РГ
- 6) метод. указания 5 (в эт. виде у Мухомова)
- 7) "Прочность корпуса судна" (эт. вид.) машинист
- 8) метод. указан. по бакалавр. работе, курс.

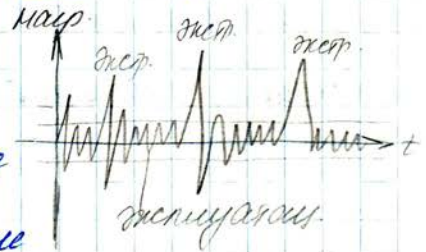
## Цели и задачи дисциплины

Цели: Развитие навыков расчета прочн.

Задачи: 1. Определ. напряжений в корпусе судов

2. Определ. НДС корпуса

3. Проверка условий теплоуд. и прочностн. безопасности.

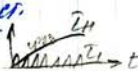


Внешние нагрузки  
 ↓  
 массовые (сжимающие)      поверхностные

детерминирован. статические

температурнон. экстремальные

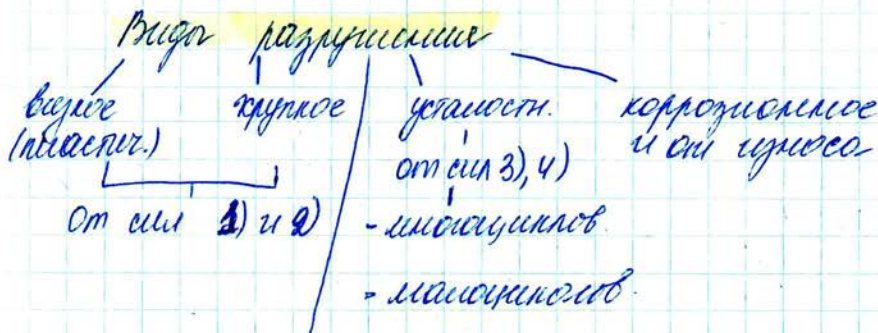
- |                                                           |                                                   |                                                                     |                                                                |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1) статические (постоянные) $\sigma_{ст} < \sigma_{ст.г}$ | 2) повторно-стат. $(\sigma_{ст} > \sigma_{ст.г})$ | 3) повторно-динам. (сильные напр.) $\sigma_{ст} \geq \sigma_{ст.г}$ | 4) виброиспытание $\sigma_{ст} < \sigma_{ст.г}$ (от механизм.) |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|



Иде от висшн. сил  
корпуса корабля.

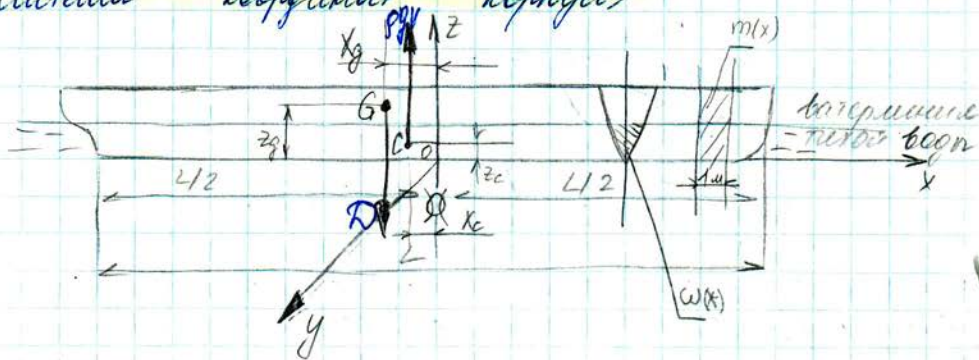
соедине Е и Б,  
(от центра и  
крупные корпус  
как бабки)

местные Е и Б,  
(центр палубы,  
бабки, раши, переборки)



от потери устойчивости конструкц

Система координат корпуса



$\rho$  - центр тяжести судна  
 $e$  - центр тяжести (центр (-) притяж. сил)  
 поддерживание воды (атмос. сист.)

Условия равновесия, действующие на корпус судна

Судно на плаву в воде

Определение условий равновесия и перераспределения сил в корпусе

Задачу решают обычно в след. предположениях:

- центр тяжести находится в след. предположениях:
- все время судно находится в равновесии
- скорость судна  $= 0$
- корпус представляет собой свобод. плавающее тело
- предполагается, что судно находится в равновесии

В этом случае на судно действуют след. силы:

- сила тяжести, которая направлена вниз
- сила выталкивания  $R(x)$  [Н/м]

$m(x)$  - поперечная масса (кг/м или т/м)

+

$$g = 9,81 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

$$\int_{-4x}^{4x} R(x) dx = D \text{ - сила тяжести судна [кН]}$$

$$g \int_{-4x}^{4x} m(x) dx = gM$$

$$\int_{-4x}^{4x} m(x) dx = M \text{ [т] - массовое водоизмещение}$$

- сила выталкивания, которая направлена вверх
- сила выталкивания  $R(x)$  [Н/м]

$$\chi(x) = \omega(x) \cdot l \cdot \rho \cdot g \quad (\text{Н/м})$$

[м<sup>2</sup>] · [м]

$\omega(x)$  - площадь шара (погруж. части шарика)

↓  
погруж. часть

$$\rho g \int_{-l/2}^{l/2} \omega(x) dx = \rho g V \quad (\text{Н}) - \text{сила подталкивания судна}$$

$$\int_{-l/2}^{l/2} \chi(x) dx = \rho g V - \text{сила подталкивания}$$

$V$  - объем погруженного [м<sup>3</sup>]

$\rho V$  - массовое погруженное [т]

т.к. судно макс. в равновесии, то  $\rho g V$

$$\rho g V - D = 0$$

$$1) \text{ т.е. } D = \rho g V \quad (1)$$

$$\sum X_i = 0$$

$$2) \sum M_{X_i} = 0$$

$$D x_0 - \rho g V x_e = 0$$

$$x_0 = x_e$$

(2)

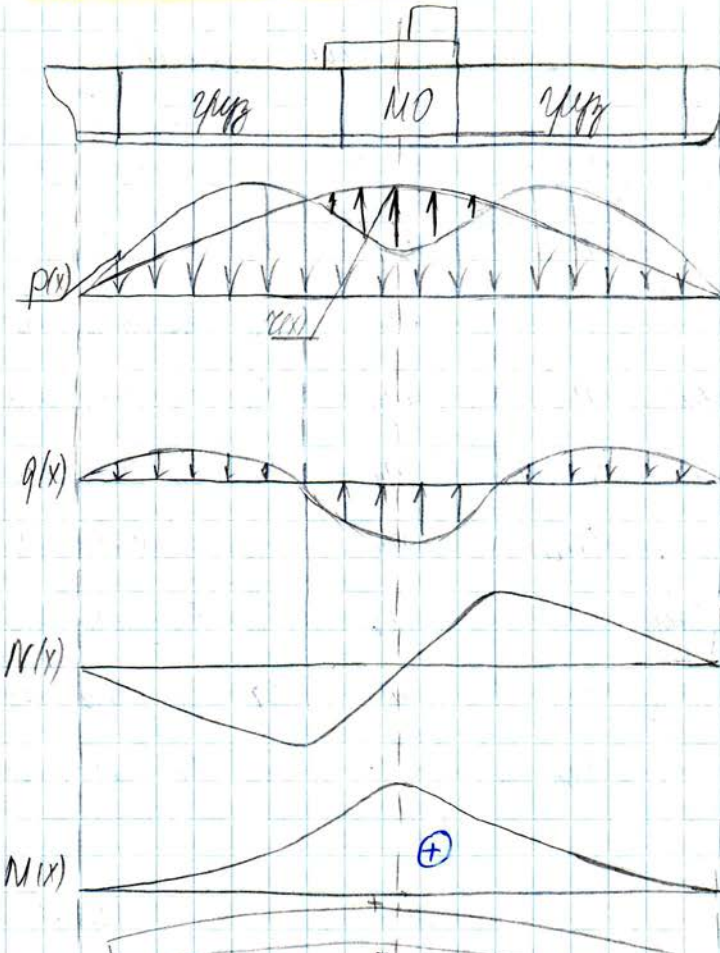
Величина, равная  $\rho(x) - \chi(x) = q(x)$  называется суммой избыточности сечения шарика по судну

Обычно что

$$\int_{-l/2}^{l/2} q(x) dx = 0 \quad (\text{см. (1)})$$

Если  $p(x)$  и  $q(x)$  известны, можно опред. изобр. мом. и передат. сист., используя уравнения-выкладки:

13)  $\frac{dN}{dx} = q(x)$  ;  $\frac{dM}{dx} = N(x)$




при  $x = \pm 4L$  ;  $N = M = 0$

$$N(x) = \int_{-4L}^x q(\xi) d\xi$$

$$M(x) = \int_{-4L}^x N(\xi) d\xi = \int_{-4L}^x \int_{-4L}^{\xi} q(x) dx d\xi$$

(4)

Видим полагая  $M > 0$  если нагрузка судна  
 положительна 

Если  $M < 0$  если нагрузка эта 

16.02.09г.

### Угруппированные статьи масс судна

№ п/п	название статьи	обознач. статьи	величина статьи	меры масс		эфф. весы	
				$X_i$	$Z_i$	$m_i X_i$	$m_i Z_i$
1	корпус	$m_k$	$m_1$	$x_1$	$z_1$	$m_1 x_1$	$m_1 z_1$
2	Александрит	$m_m$	$m_2$	$x_2$	$z_2$	$m_2 x_2$	$m_2 z_2$
3	Оборудование	$m_o$	$m_3$	$x_3$	$z_3$	$m_3 x_3$	$m_3 z_3$
4	Грузы (или балласт)	$m_r (m_b)$	$m_4$	$x_4$	$z_4$	$m_4 x_4$	$m_4 z_4$
5	Команда и пал-ра	$m_{кп}$	$m_5$	$x_5$	$z_5$	$m_5 x_5$	$m_5 z_5$
6	Топливо, вода, масло	$m_T$	$m_6$	$x_6$	$z_6$	$m_6 x_6$	$m_6 z_6$
7	Провизия и пел. вх <sup>н</sup>	$m_{пв}$	$m_7$	$x_7$	$z_7$	$m_7 x_7$	$m_7 z_7$
8	Запас водоотливачен.	$m_{зв}$	$m_8$	$x_8$	$z_8$	$m_8 x_8$	$m_8 z_8$
	$\Sigma$		$\Sigma_1$			$\Sigma_2$	$\Sigma_3$

Запас борозниелерення - така масса судна  $m_{зв}$ , кот приемы.  $m_{зв} \leq 3\% m_{кор}$  и учитывается радиусу между проекциями весами  $m_1, m_2, m_3, \dots$  и действительной массе

$$T.O. : m = \underbrace{m_k + m_m + m_o + m_{зв}}_{m_{корпуса}} + \underbrace{m_r + m_{кр} + m_7 + m_{пв}}_{груз}$$

$$D = g(m_k + m_m + m_o + m_{зв}) + g(m_r + m_{кр} + m_7 + m_{пв})$$

$D_w$  - действующая  
повная грузоподъемность.

$$D_w = 60 \dots 80\% D \quad ; \quad D_w = 20 \dots 25\% D \text{ - буксир}$$

судно.      танкер

$$m = \sum_1 ; \quad x_d = \frac{\sum_2}{\sum_1} ; \quad \%d = \frac{\sum_3}{\sum_1}$$

### Распределение масс судна

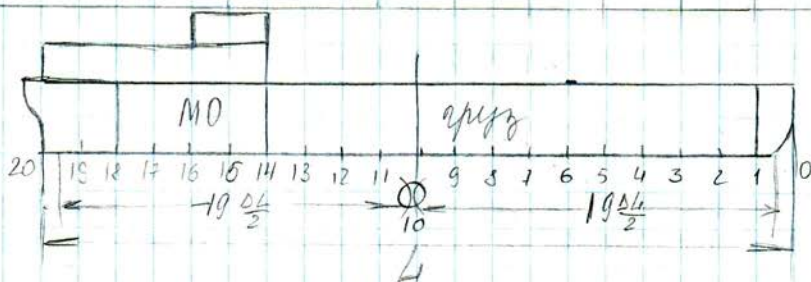
Масса судна распределена по длине его с учетом их расположения. Вспом. это распредел. по теоретическим значениям по табл. 1.2. (стр. 16)

Распределение стальной массы в табл. 1.2.

$$L/20 = \Delta L$$



N n/n	название стаи.	весовая масса	ГЕОМ. ИСПАКЦИИ					
			20-19	19-18	...	3-2	2-1	1-0
1	корпус	$m_k$	$m_{20-19}^k$	$m_{19-18}^k$	...	$m_{3-2}^k$	$m_{2-1}^k$	$m_{1-0}^k$
2	механизмы	$m_m$	$m_{20-19}^m$	$m_{19-18}^m$	...	$m_{3-2}^m$	$m_{2-1}^m$	$m_{1-0}^m$
	...							
	$\Sigma$	$\Sigma_1$	$\Sigma_{20-19}$	$\Sigma_{19-18}$	...	$\Sigma_{3-2}$	$\Sigma_{2-1}$	$\Sigma_{1-0}$
	плечи		$-19 \frac{\Delta L}{2}$	$-17 \frac{\Delta L}{2}$	...	$15 \frac{\Delta L}{2}$	$17 \frac{\Delta L}{2}$	$19 \frac{\Delta L}{2}$
	стаи. мех-мов	$\Sigma_2$						



$$P_{i+1,i} = g \Sigma_{i+1,i} \cdot \frac{1}{\Delta L} \text{ (т/м)}$$

$$K_g = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$$

$$D = \sum_{i=0}^{19} P_{i+1,i}$$

Среденне массе судна по стадам  
по экзпозитиву проекцирования

Распределение их по длине судна

$P_i = ?$



1. Определем  $m_k$  и ее распределение

введем  $m'_k = m_k + m_0$

Известно, что  $m_{надр. (м)} = 0,13 V_{кн}$  - кормовая надстройка

$m'_k$  - опред. по протопелу

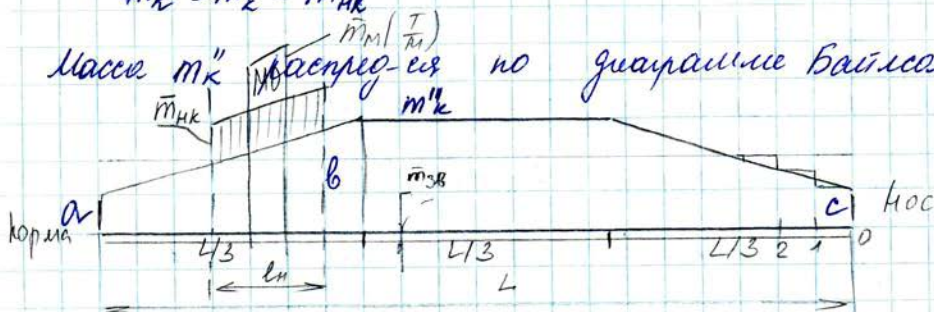
$$K_k = \frac{(m'_k)_{протопел}}{(LBN)_{протопел}} - \text{показатель массы корпуса}$$

$$m'_k = K_k \cdot LBN$$

Определим массу корпуса без надстройки

$$m''_k = m'_k - m_{нк}$$

Масса  $m''_k$  распредел. по диаграмме Байсеа:



$$a = 0,72; \quad b = 1,17x; \quad c = 0,60$$

$$x \frac{m''_k}{L} \quad x \frac{m''_k}{L} \quad x \frac{m''_k}{L}$$

$$\frac{m_{нк}}{L_n} = \bar{m}_{нк}$$

2. Распределение  $m_m$

$$K_m = \frac{(m_m)_{протот.}}{N_{протот.}} - \text{показатель } m_m$$

$$m_m = K_m \cdot N$$

Эта масса распределена равномерно

$$\bar{m}_M = \frac{m_M}{L_M}$$

3. Опред-е запаса водосур.  $m_{зв}$ .

$$m_{зв} = 0,03 \bar{m}_{пер} = m'_k + m_M + m_{зв}$$

$$m_{зв} = 0,03 (m'_k + m_M + m_{зв})$$

$$m_{зв} - 0,03 m_{зв} = 0,03 (m'_k + m_M)$$

$$m_{зв} = \frac{0,03}{0,97} (m'_k + m_M)$$

$m_{зв}$ -распред. равномерно по длине  $L$

$$\bar{m}_{зв} = \frac{m_{зв}}{L}$$

4.  $m_T$  (или  $m_{тв}$ , если судно порожнее)

$m_T$  - опред-е по спец. задаткам

$m_{тв}$  опред-е объемам балластных отсеков

5.  $m_{кп}$ ,  $m_{пв}$  опред. по основе нормы снабжения

6.  $m_T$  - топливо, вода, масло.

$$m_{топливо} = k_{дТ} \cdot \rho_T \cdot 24 N \cdot 10^{-3} [T]$$

$q_T$  - уд. расход двигателя

$\rho_T$  - автомолн. судна

$N$  - мощность

$m_{кп}$ ,  $m_{пв}$ ,  $m_T$  - распред. равномерно в м.о.

$$m_{\text{взв}} = 5\% m_{\text{отт}}; \quad m_{\text{ш}} = 5\% m_{\text{отт}}$$

$$\bar{m}_{\text{кп}} = m_{\text{кп}} / L_{\text{мо}}; \quad \bar{m}_{\text{пв}} = \frac{m_{\text{пв}}}{L_{\text{мо}}}; \quad \bar{m}_{\text{г}} = \frac{m_{\text{г}}}{L_{\text{мо}}}$$

$$p_i = g \bar{m}_i; \quad \bar{i} = m_{\text{зв}}, m_{\text{кп}}, m_{\text{пв}}, \dots$$

Определим интегральную величину под действием осадки в основе удир-релевности сдвига  $r(x)$

$$\gamma(x) = g g W(x)$$



Масштаб Бошмана - совокупность кривых  $W(z)$  на ландаш геолог-и и спаллюде.

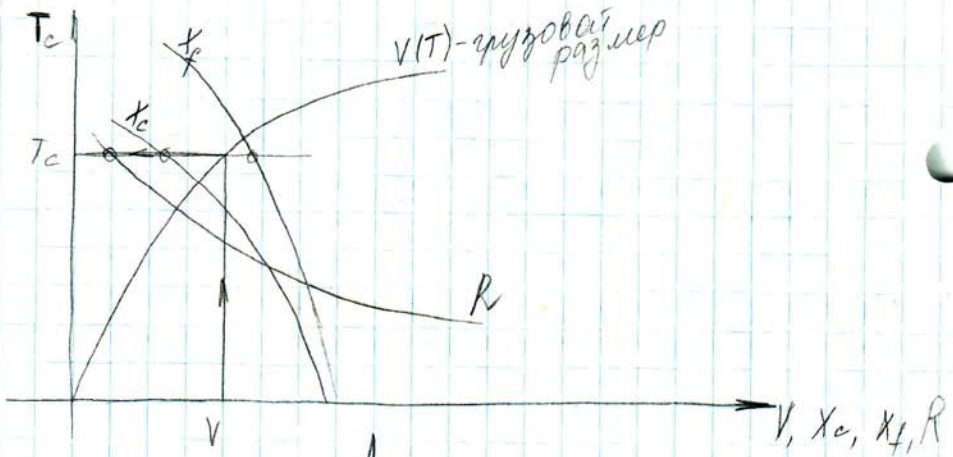
Для того, чтобы определить  $W(x)$  необходимо знать осадку сдвига посыл  $T_H$  и кривой  $T_K$  процесс удир-рел сдвига, состоит в опред-ии  $T_H$  и  $T_K$  при заданных  $D$  и  $X_0$  и массы. Бошманн существует 2 метода опред.  $T_H$  и  $T_K$ :

- посмерова. приближенно;
- метод решения ур-я равновесия (не явл. универс.)

Т.к. 1 метод явл. универсальным, то удир-релевность будем проводить методом посмерова. приближ.

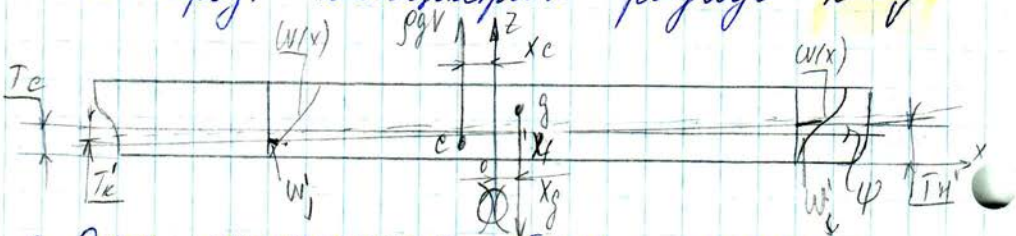
Для удир-рел необходимо знать:

- $D$  и  $X_0$
- и. Бошмана
- кривые геолог. чертено корпуса



$x_f$  - центр тем. вытеснен.  
 $S$  - площ. вытеснен.

$R$  - прод. метрический радиус  $R = \frac{M_f}{V}$



1. Опред. поперечный обвал судна

$$V = \frac{D}{\rho g}$$

2. По циркульному размеру опред.  $T_c$

$$T'_H = T_c + \left(\frac{L}{2} - x_f\right) \psi$$

$$T'_K = T_c - \left(\frac{L}{2} + x_f\right) \psi$$

$$\text{иллуст.} = D(x_g - x_c)$$

$$M_{\text{нов.}} = R R \Psi$$

$$M_{\text{груп}} = M_{\text{нов.}}$$

$$\Psi = \frac{x_g - x_e}{R}$$

Т.о.

$$T'_H = T_e + \left(\frac{L}{2} - x_f\right) \frac{x_g - x_e}{R}$$

$$T'_K = T_e - \left(\frac{L}{2} + x_f\right) \frac{x_g - x_e}{R}$$

4. С каждого шп-та снимаем  $W'_i$  нагрузки ;  $i = 0, 1, \dots, 20$

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

$$x'_e = \frac{1}{V'} \int_{-L/2}^{L/2} x W'(x) dx$$

5. В виду того, что  $V \neq V'$ ,  $x_e \neq x'_e$ , делаем 2 приближен.

$$T''_H = T'_H + \frac{V - V'}{S} + \left(\frac{L}{2} - x_f\right) \frac{x_g - x'_e}{R}$$

$$T''_K = T'_K + \frac{V - V'}{S} - \left(\frac{L}{2} + x_f\right) \frac{x_g - x'_e}{R}$$

6. По  $T''_H$  и  $T''_K$  прокладываем новую вагериан. и снимаем новые нагрузки

$$W''_i (i = 0, 1, 2, \dots, 20)$$

$$\text{Опред } V'' = \int_{-L/2}^{L/2} W''(x) dx$$

$$x''_e = \frac{1}{V''} \int_{-L/2}^{L/2} x W''(x) dx$$

7. Условиям преобразен. приближ. св. выполнения  
направленств

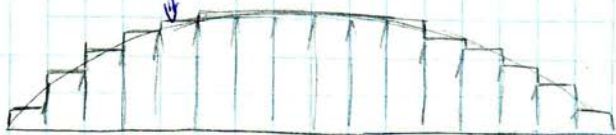
$$D - \rho g V'' \leq 0,004 D$$

$$K_d - K_e'' \leq 0,001 L$$

Если это усл. выполн. нулемо:

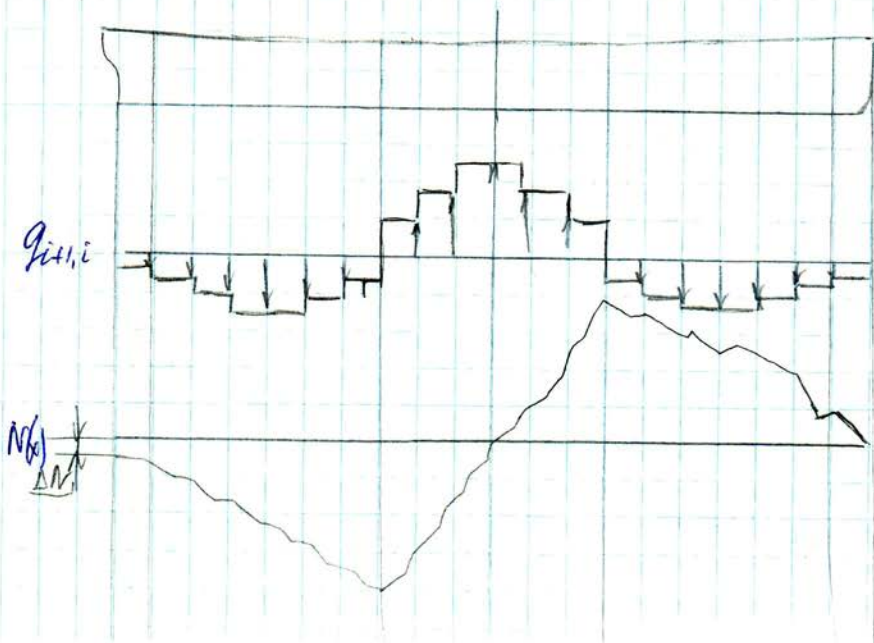
8. Возмем.  $\psi_i = \rho g w_i''$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, 20$

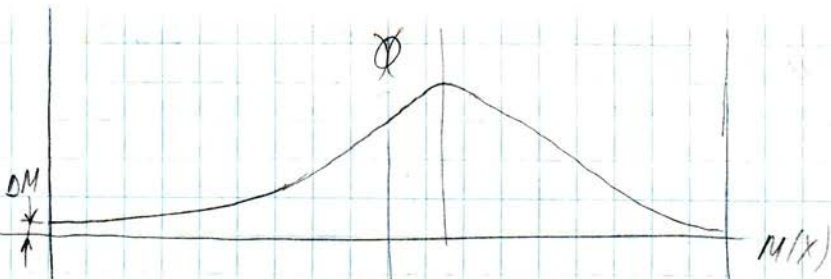
$$\psi_{i+1, i} = \frac{\rho}{\lambda} (w_{i+1}'' + w_i'')$$



Зная интенсивности  $p_{i+1, i}$  и  $\tau_{i+1, i}$  можем  
вычислить интенсив. суммарн. напр.  $i$ :

$$q_{i+1, i} = p_{i+1, i} - \tau_{i+1, i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 20$$

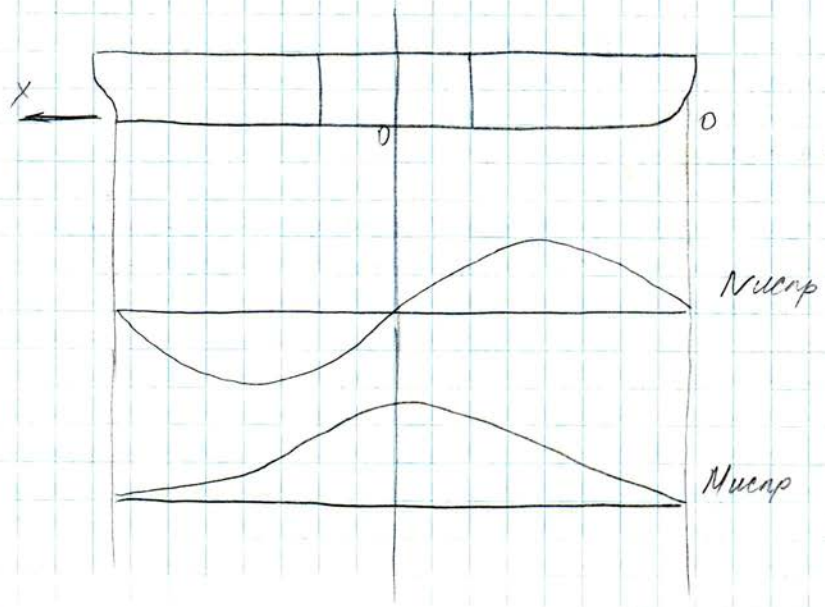




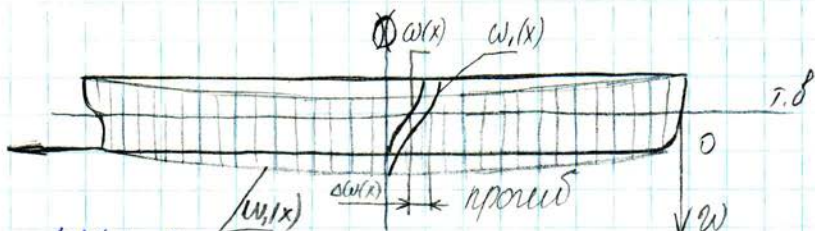
$\Delta M, \Delta N$  - невелики в середов. прифрмиселности  
 уривор-ки

Умови удовл. ру на 20 см-те эти 12.03.09  
 невелики різниц-се по довж. з-ку 10  
 дименс еудна

$$\begin{cases} M_{испр} = M(x) - \Delta M_{20} \cdot \frac{x}{L} \\ N_{испр} = N(x) - \Delta N_{20} \cdot \frac{x}{L} \end{cases}$$



Выведем некоторые факторы по М.В.  
 1 Учет выемки изгиба судна по М.В.



$w_1(x)$  - для шпангоута судна, площадь шп-га  
 $w(x)$  - для не шпангоута судна - " - "

$$w_1(x) = w(x) + \Delta w(x)$$

$q(x) = p(x) - \rho g w(x)$  - для не шпангоута корпуса

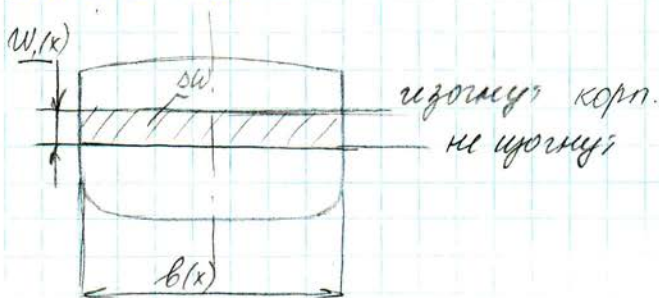
$q_1(x) = p(x) - \rho g w_1(x)$  - для шпангоута корпуса

$$q_1(x) = \underbrace{p(x) - \rho g w(x)}_{q(x)} - \underbrace{\rho g \Delta w(x)}_{\Delta q(x)}$$

$$q_1(x) = q(x) - \rho g \Delta w(x)$$

(5)

Из (5) следует что суммарная нагрузка уменьшится, следовательно, уменьшится изгиб-е моменты тоже



$$\Delta w(x) = b(x) w_1(x)$$



Визр. ур. изгиба корабля без учета  $\Delta w(x)$ :

$$(EJ(x)w'(x))' = q(x) \quad (6)$$

с учетом  $\Delta w(x)$ :

$$(EJ(x)w'(x))' = q(x) - \underbrace{\rho g \delta(x) w(x)}_{\Delta q(x)}$$

или

$$(EJ(x)w''(x))' + \underbrace{\rho g \delta(x) w(x)}_{K(x)} = q(x) \quad (7)$$

упругое основание

Визр. ур. изгиба судна, как балки на упругом основании.

$$M(x) = EJ(x)w''(x)$$

$$\beta = \frac{M(\Phi)}{M(\infty)} = \frac{w'(\infty)}{w''(\Phi)}$$

- коэффициент влияния жесткости поперечного сечения на

$$\beta = \frac{1}{1 + 12,26 \cdot 10^{-6} \frac{BL^4 \rho g}{EJ_{\Phi}}} \leq 1$$

$$B, L [\text{м}]; \quad \rho [\text{м}^3]; \quad E [\text{мПа}]$$

$\alpha$  - коэф. полноты батерисменки

$$\alpha = \frac{S}{BL}$$



Т.к.  $\frac{L}{H} \leq 20$  для морских судов, то  $\beta \approx 1$

Для речных судов  $\frac{L}{H} > 25 \dots 40 \Rightarrow \beta < 1$

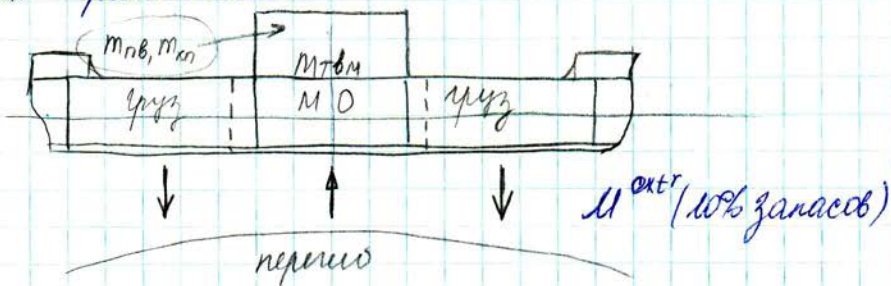
$$M_1(x) = \beta M(x)$$

(8)

при  $\frac{L}{H} < 25 \Rightarrow \beta = 1$

Выявили распределение по длине судна на  $M^0$

В зависи-ти от загрузки судна, оно будет иметь  $M^{extr}$  при проходе или перемеще с  $max$  или  $min$  масса топлива  $m_{твм}$ ,  $m_{твб}$ ,  $m_r$  и их распределение

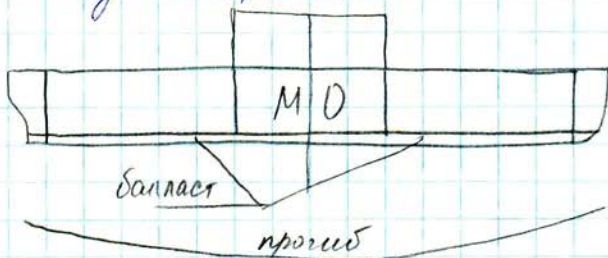


Расход  $m_{твм}$  увеличивает  $M$  (износ. масел)  $> 0$ .

Расход  $m_{твб}$  уменьшает  $M$

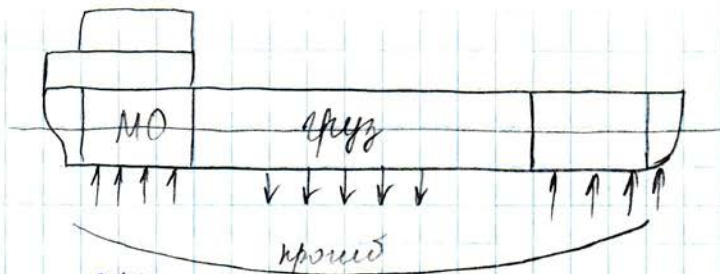
Увеличение  $m_r$  увеличивает  $M$

Перемещение  $МО$  в корму уменьшает  $M$  и даже имеет знак (проход)

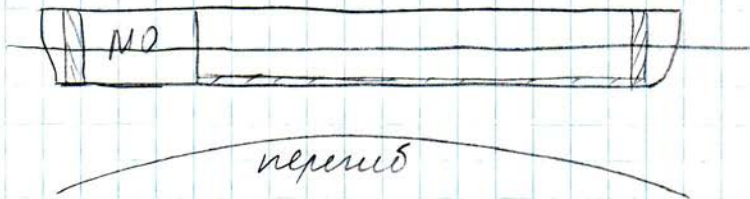


$M^{extr} < 0$

$M^{extr}$  (100% запасов) -  $m_{твм}, m_{твб}$



$M_{ext} (100\% \text{ запасов}) < 0$



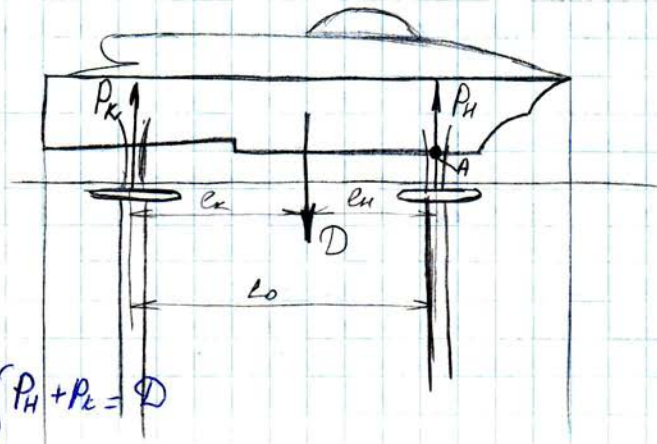
$\varnothing$  - балласт

$M_{ext} (100\% \text{ запасов})$

$$|M(\text{круз}, 100\% \text{ запасов})| < M(\text{балласт}, 100\% \text{ запасов})$$

Для совершенных танкеров (2<sup>е</sup> борта, 2<sup>е</sup> дни) имеет место МО - в корме, носовое отделение, верхние распр. палубы аналогично судам

Особенности расчета  $M_{\text{в}}$  и  $N_{\text{тв}}$  для судов на подводных кранах (СПК)

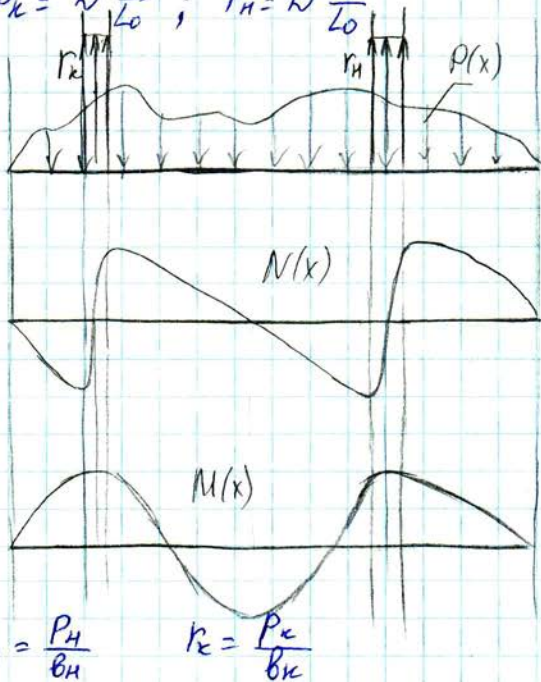


$$\int P_H + P_K = D$$

$$\{P_k L_0 - D V_H = 0$$

$$P_k = D \frac{v_k}{L_0}$$

$$P_H = D \frac{v_H}{L_0}$$



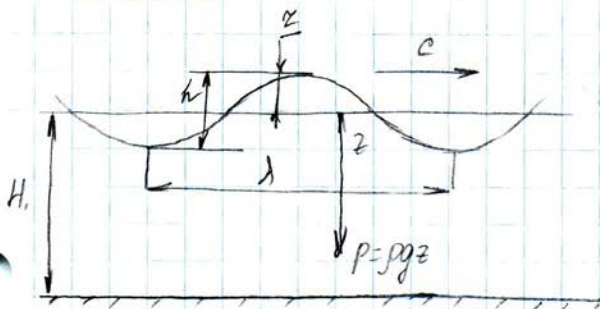
16.03.09г. Силы, действующие на судно на волнении

В общем случае верховое волнение имеет 3-х мерный случайный и метастабильный характер

Судно на волнении испытывает вертикальную, килевую и бортовую качку. При этом действуют на корпус судна дополнительные силы: - сила подветрия, обусловл. движением воздуха; - сила инерции, обусловл. качкой; - ударные силы, обусл. динамич. давлением

Сила действующая на судно по  
 регулярной волне (детерминированная)

В 1 приближен. будем рассм. судно  
 на 1<sup>й</sup> мерной детерминир. стационарном  
 волне.



$\lambda$  - длина  
 $h$  - высота  
 $\eta$  - поперечная (амплитуда)  
 $c$  - скорость волны

$$c = \left( \frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi H}{\lambda} \right)^{1/2}$$

при  $H_1 \gg \lambda$  :  $c_1 = \left( \frac{g\lambda}{2\pi} \right)^{1/2}$

$H_1 \ll \lambda$  :  $c_2 = \sqrt{gH_1}$   $c_2 \ll c_1$   
 мелководное

$T = \frac{\lambda}{c}$  - период волны

Определение кинетических моментов и  
 преобразований сил при статическом  
 постановке судна на волну  $M_a(x)$ ,  $M_b(x)$

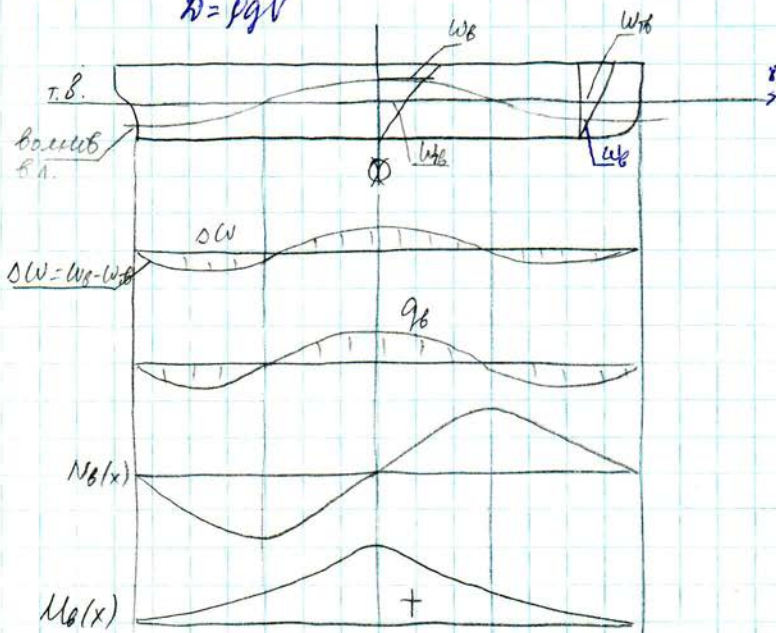
Под  $M_a$  и  $M_b$  будем понимать моменты  
 сил. моменты и перерез. силы в корпусе,  
 возникающие относительно осей симметрии от  
 волны.

Статич. постановка на волну (Виг, 1874)  
 предполагает:

1.  $v_0 = 0$  (скорость судна = скорость волны)
2. Какое отношение, т.е. сила инерции = 0
3.  $\rho = \rho_{ст} = \rho_{ж}$

Рассм. судно в равновесии в вершине волны

$$D = \rho g V$$



$q_0 = \rho g \Delta W = \rho g (W_0 - W_1)$  — полная волнов. сила подпора.

Эти силы удовлетв. условию равновесия

$$1) \int_{-L/2}^{L/2} q_0(x) dx = 0 \quad \int_{-L/2}^{L/2} \Delta W(x) dx = 0 \quad (9)$$

2)  $\int_{-L/2}^{L/2} q_0(x) x dx = 0$  — рав-во мом-в волнов. сил подпора.

$$\text{или} \quad \int_{-L/2}^{L/2} \Delta W(x) x dx = 0 \quad (10)$$

$$M_0 = \int_{-L/2}^{L/2} N_0(x) dx$$

$$N_0(x) = \int_{-L/2}^x q_0(x) dx \quad (11)$$

$$M_b(x) = \int_{-l/2}^x \int_{-l/2}^x q_b(x) dx^2$$

(12)

Исследования показали, что  $M_b = \max$  имеет  $\max$  значение при:

1. Длина волны = длине судна  $\lambda = L$
2. Скор. судна  $U \perp$  волне
3. Сечение  $x=0$  (в) на вершине или подошве волны.

$$M_z = M_b + M_b(\text{вершина})$$

$$M_z = M_b(\text{прош}) + M_b(\text{подошва})$$

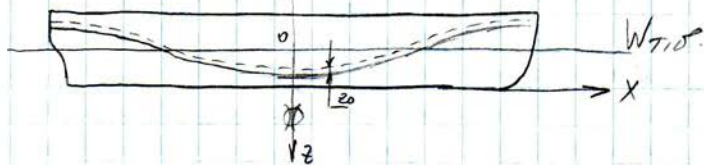
Асимптотическое выражение для  $M_b$   
(Ф-ла Свайко, 1959г)

Свайн предложил следующие условия:

1. Борта судна прямоугольная
2. Судно симметрично относительно миделя (110)
3. Трапа имеет форму cos-угла

верт. координ. волны

$$z_b = \pm z \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \begin{cases} \text{"+" - подошва волны} \\ \text{"-" - вершина} \end{cases}$$



$z_0$  - статич. погружение судна, связанное с сокращен. условиями равновесия по осевой  $q_b(x)$

Тогда:

$$z_b = \pm z \cos \frac{2\pi x}{\lambda} - z_0$$

(13)

где  $z_0$  сред. уг условия равновесия (9)



$$\Delta W = \int_{-L/2}^{L/2} b(x) z_0 dx$$

$$\pm \int_{-L/2}^{L/2} b(x) [z_0 \cos \frac{2\pi x}{\lambda} - z_0] dx = 0 \quad (9)$$

$$\pm \int_{-L/2}^{L/2} b(x) \cos \frac{2\pi x}{\lambda} dx = \pm \underbrace{z_0 \int_{-L/2}^{L/2} b(x) dx}_{S = bL}$$

$d \pm 1$ ;  $d$ -коэф. наклона катетинимми

$$z_0 = \frac{z}{bL} \int_{-L/2}^{L/2} b(x) \cos \frac{2\pi x}{\lambda} dx$$

Согласно (10)  $\pi = \frac{1}{bL} \int_{-L/2}^{L/2} b(x) \cos \frac{2\pi x}{\lambda} dx$

$$\text{Тогда } z_0 = \mp \left( \frac{z}{d} \pi - z_0 \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right) \quad (14)$$

условие (10) выполняется автоматически в силу условия симметрии отнесения катетинимми.

Возвращаясь по (12)  $M_b$ , учитывая, что

$$q_b(x) = \mp \rho g b(x) z \left( \frac{\pi}{d} - \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$$

$$M_b(x) = \mp \rho g z \int_{-L/2}^x \int_{-L/2}^{\xi} b(x) \left( \frac{\pi}{d} - \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right) dx^2 \frac{bL^2}{bL^2}$$

$$M_b(x) = \mp \rho g z bL^2 \int_{-L/2}^{x/L} \int_{-1/2}^{x/L} \frac{b(x)}{b} \left[ \frac{\pi}{d} - \cos \left( 2\pi \frac{x}{L} \frac{\xi}{\lambda} \right) \right] d(\xi/L)^2$$

поэтому

$$M_b(x) = \frac{1}{\mp} \rho g k \left( \frac{x}{L}, \frac{\lambda}{L}, d \right) z bL^2 \quad \text{Ф-ла Сваницы} \quad (15)$$

вершина



$$M_B(\max) = \underbrace{\mp \rho g K(0,1,\alpha)}_{K_1(\alpha)} \tau_B L^2$$

$$M_B^{extr} = \mp K_1(\alpha) \tau_B L^2 \quad (16) ?$$

$$N_B^{extr} = K_2(\alpha) \tau_B L \quad (17)$$

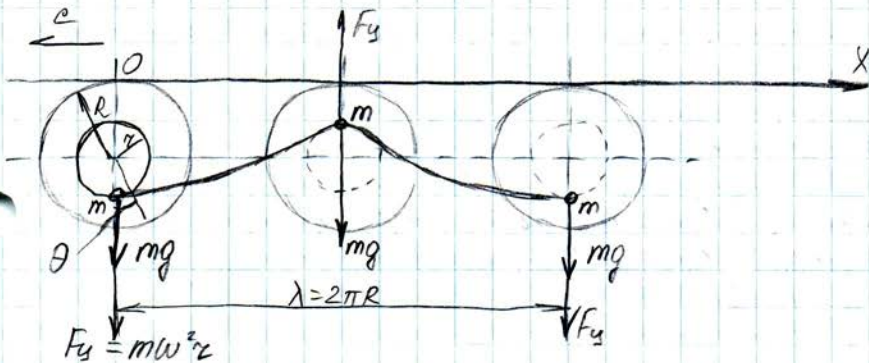
Вместо (17) получаются:

$$N_B^{extr} = \frac{3,5}{L} M_B^{extr} \text{ - мрежисе суда}$$

$$N_B^{extr} = \frac{4}{L} M_B^{extr} \text{ - ретинке суда}$$

Влияние неучтенных факторов величины и величины судна на  $M_B$

1. Величина формул балла действит. регуляр. установившейся величины имеет форму трохойды



Учет трохой-ти балла приводит к изменению параметра (16) на  $\pm 3\%$ . В величине  $N_B$  учета, а на переопре-у. но сравнимо с (16). Это учитов-се через коэф.  $K_1(\alpha)$

$$K_1(\alpha)_{\text{верн.}} = 0,68 \alpha - 0,15$$

(18)

$$k_1(d) \text{ по формуле} = 0,52d - 0,09$$

$$k_1^{\text{II}}(d) > k_1^{\text{I}}(d)$$

## 2. Влияние гидродинамической зависимости давления в вагоне.

Масса широкости в вагоне, имеет срединное движение, что приводит к дополнительному симметричному смещению  $k_1 = m\omega^2 z$ , которая в середине давления  $p_{\text{дин}} > p_{\text{стат}}$ , а в вершине  $p_{\text{дин}} < p_{\text{стат}}$ . Это приводит к изменению  $M_0$  динамич-ти давления на  $M_0$  назыв. **Смита**

$$\frac{M_0(p_{\text{дин}})}{M_0(p_{\text{ст}})} = \alpha_0 \pm \text{поправка Смита}$$

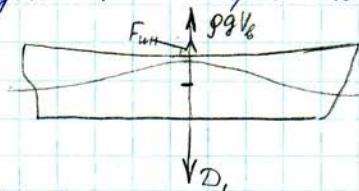
$$M_0(p_{\text{дин}}) = \alpha_0 M_0(p_{\text{ст}})$$

$$M_0 = \pm k_1(d) \alpha_0 \omega^2 B L^2 \quad (19)$$

(19) - вагон. момент с учетом поправки Смита

$$\text{где } \alpha_0 = (1,3 - 2 \frac{p_0}{L}) (0,65 - 2,1 \frac{T_0}{L})$$

## 3. Влияние вертикальной качки на $M_0$ судно на вершине вагона.



$V_0$  - водити. судна на вершине

$V_1$  - " - на подходе

Сравнение движения судна на вагоне;

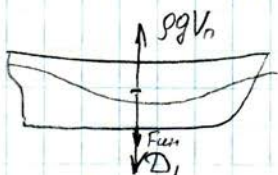
$$D_1 = \frac{D_1 \cdot d^2}{g \cdot dt^2} = \rho g V_0$$

$F_{\text{дин}}$

✓ у Крчки

В силу инерции  $V_B < V_B(\text{стар. Рид})$

$Q_B(x)$  уменьшается и  $M_B(\text{качка}) < M_B(19)$   
 $D_1$  - сила тяжести судна с учетом присоединенной массы  
 Судно на поверхности волны



$$D_1 + \frac{D_1}{g} \frac{d^2 z}{dt^2} = \rho g V_n$$

$$V_n > V_n(\text{стар. } z_0)$$

$Q_B(x)$  - увеличив.,  $|M_B|$  - увеличив., по сравнению с (19)

Вертик. качка приводит к измен.  $M_B$  на 25-30% по сравнению с (19)

4. Внешние скорости судна на  $M_B$  при ходе на волнении

$$T_k = \frac{\lambda}{c \pm V_0} - \text{волн. период волны}$$

+ - на встречн. волнении  
 - - на попутн.

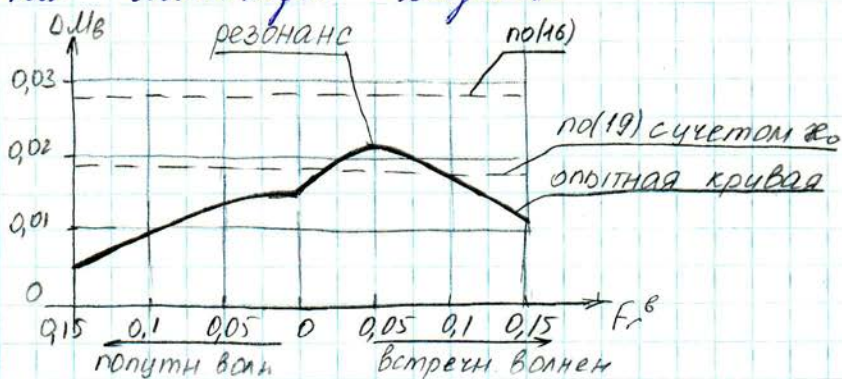
$$\omega_k = \frac{1}{T_k} - \text{волн. частота встречи с волной}$$

$V_0^B$  - скор. судна на волнении

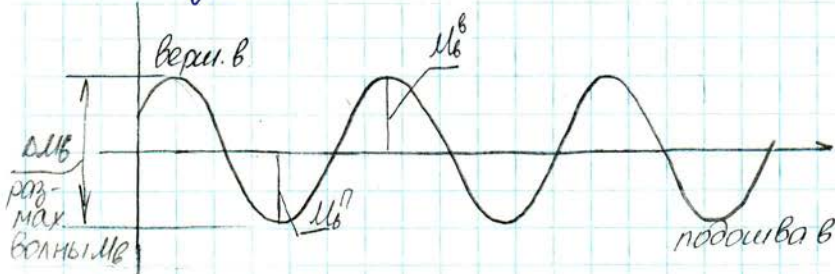
Скорость судна влияет на среднюю частоту качки с волной, так как увеличивается период встречи судна с волной, а следовательно, уменьшаются средние и широты смещ.

При том  $M_b^{ext}$  при  $G_k = \Gamma$  (вертик. качк судна) - резонанс или  $G_k = W$  (вертик. качк)

Вниманию  $M_b^b$  послед. отогнули путем по. самоходн. мериди



$$F_r^b = \frac{v_a^b}{gL}$$



Учет скорости судна в вертик. качке и распрод. масс по длине судна правд-ств через коэф.  $x_1$ , кот. подчен на основе аппроксимат. кривой  $M_b(F_r^b)$ :

$$x_1 = (1,2 - 0,3\alpha) - (3 + 20F_r^b) \frac{M_{TB}}{DL} + (5 - 4,8\alpha) F_r^b$$

с учетом  $x_1$  имеем  $M_b$ :

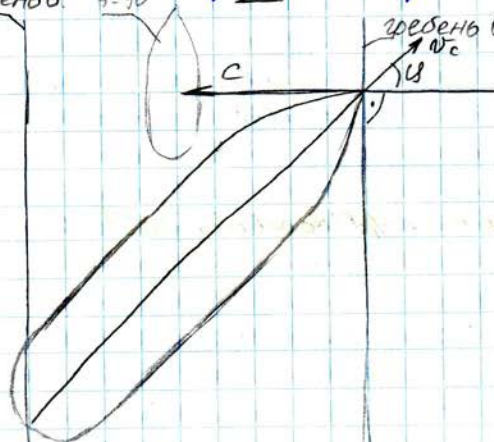
$$M_b = x_0 x_1 k_1(\alpha) v_{BL}^2$$

$$\Delta M^b = M^b + |M^b|$$

Исслед-я покажи, что килевая катка  
практически не влияет на  $M^b$

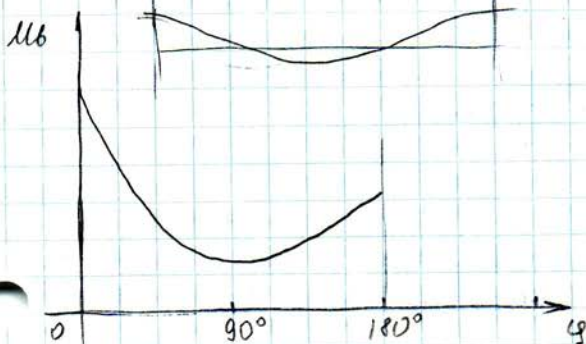
5. Влияние непрямолинейности бортов на  $M^b$   
Исслед-я покажи, что шпигель о  
прямолинейности приводит к погрешностям  
в осн. мом-те  $M^b$  для морских судов  
 $7 \pm 10\%$ , а для речных  $3 \pm 5\%$   
Влияние непрямолинейности  $M^b$  учит-ся  
в коэф-те  $Z_1$ .

6. Влияние курсового угла судна на  $M^b$   
гребень в.  $\varphi = 90^\circ$



$\varphi$ -курсовой угол

$\varphi = 0$  - судно по  
встречн. волнению  
 $\varphi = 180^\circ$  - и по попутн.  
волнению  
 $\varphi = 90^\circ$  - и-лалом (бортом)  
к волне

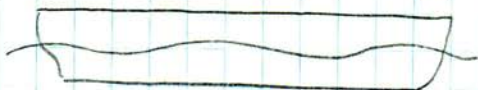


$$M_b(\varphi=0) > M_b(\varphi=180^\circ) > M_b(\varphi=90^\circ)$$

$M_b(\varphi=90^\circ) \neq 0$  в середстве 3-й степени, величина  
вертикальных качек и колебаний широтной  
судна.

Максимальное судно рассчитано по волне  
при  $\varphi=0$  и  $\lambda=L$

Для реальных судов на практике  
нет волн  $\lambda=L$ ,  $\lambda \ll L$



$M_b$ -малого

$M_b^{extr}$  имеет место при крене курса  
судна, когда нос и корма наклонены  
к волне в противоположных направлениях  
под углом  $\gamma/2$  (при  $\varphi = \alpha \cos \gamma/2$ )

Для реальных судов

$$M_b = \pm 9,81 k_0 k_1 k_2 \sigma^2 h B L^2 \quad [кНм] \quad (21)$$

$h$  - высота волны

$B$  - коэф. общей поперечной кривизны

$$\sigma = \frac{D}{B L T}$$

$$D [м^3]$$

$k_1$  - коэф. динамичности

$$2 \geq k_1 = 2 - 20 \cdot \frac{T}{L} \geq 1$$

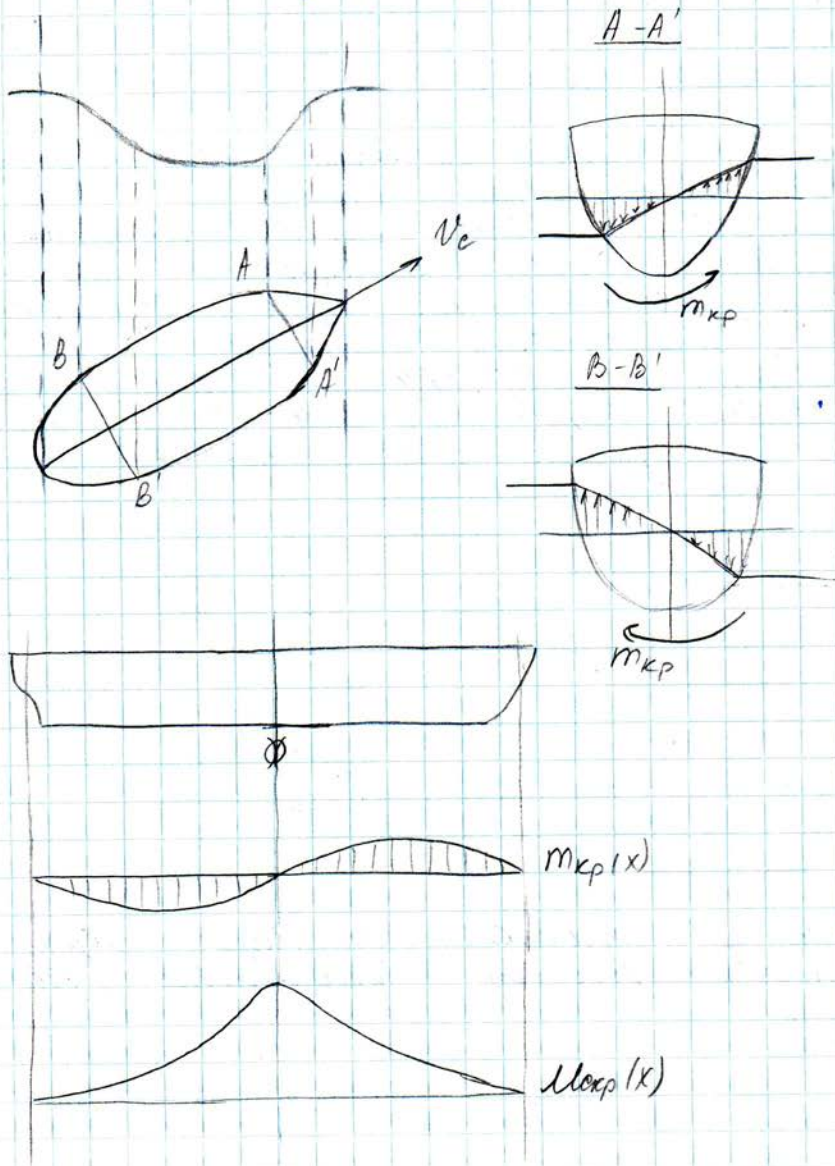
$k_0, k_2$  - коэф-ты, учитывающие крен судна,  
форму судна, отношение  $B/L$  (табл. 1.392)

$k_0 = 1,24 - 1,7 B/L$  - для кл. М, О.

$$K_0 = 1,24 - 2 \frac{B}{L} - \text{для кл. Р, Л.}$$

$K_4 = K_4(K, \text{класс судна})$  - приведен в Регном Регистре и учебнике (стр. 33)

7. Амплитуды волновой нагрузки судна на курсе



$$M_{кр}(x) = \int_{-H}^x m_{кр}(x) dx$$

Используя гипотезу Эванса можно получить формулу для  $M_{кр}^{свг}$ :

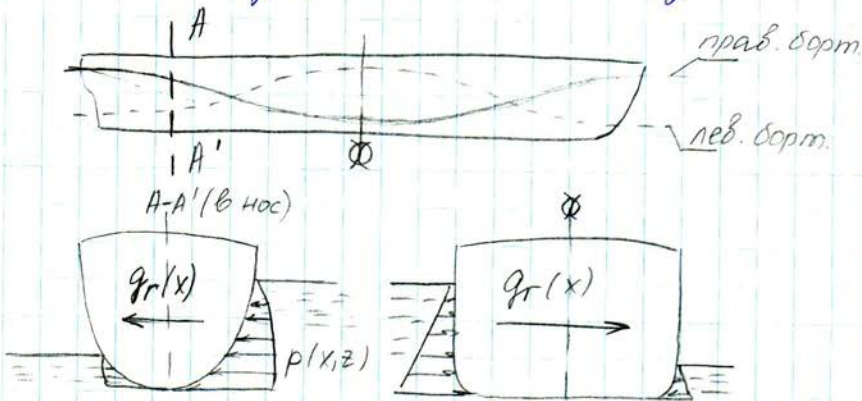
$$M_{кр} = K_{кр} \alpha B^2 L$$

(22)

$$K_{кр} = K_{кр} = f(d, B/L, \lambda/L)$$

$M_{кр}$  отриц-ся при  $\varphi = \arccos \frac{\lambda}{L}$

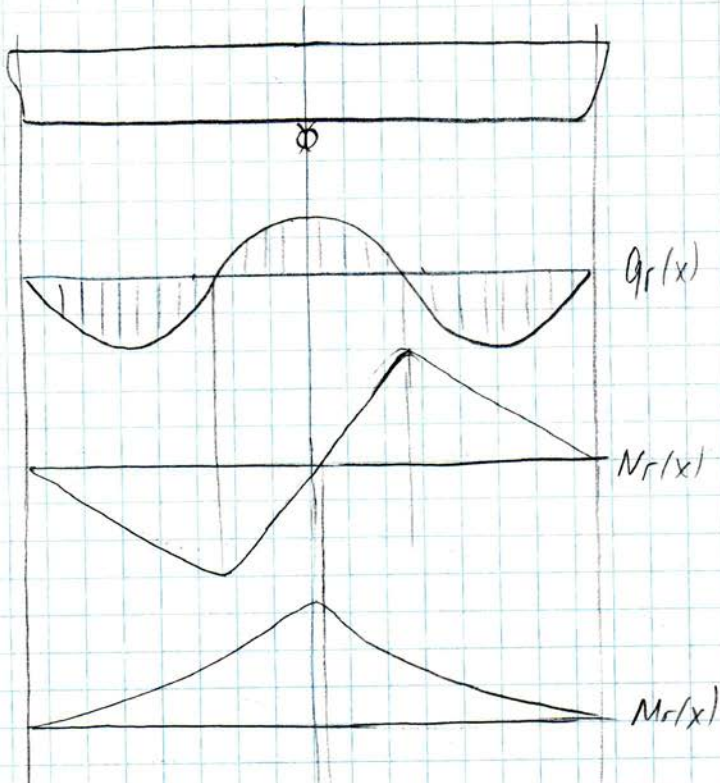
8. Изучим изгиб волновой лопатки для судна на косом курсе. В сечении косоугольного шпангоута судна и бортовой качки при движении по борту будут различны при том же состоянии течения. Судно опирается на волну как на вершине, а с другого борта на подошве.



Здесь  $q_r(x)$  - погонная нагрузка, обусловл. бортом.

суммарн. гориз. давлением на





$$N_r(x) = \int_{-L/2}^x q_r(x) dx - \text{измен. перерез. сила}$$

$$M_r(x) = \int_{-L/2}^x N_r(x) dx = \int_{-L/2}^x \int_{-L/2}^x q_r(x) dx^2 - \text{измен. углоб. мом.}$$

судно на волне при крене курса

всплыв. предположили сваеве лонгит. поперечн.

$$M_r^{\text{extr}} = k_r \cdot T L^2$$

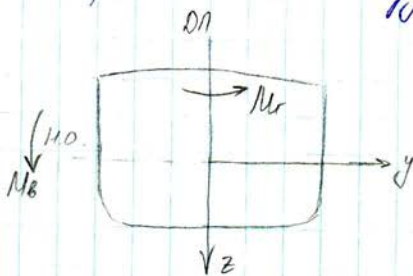
(13)

$$k_r = 1/\sigma^2$$

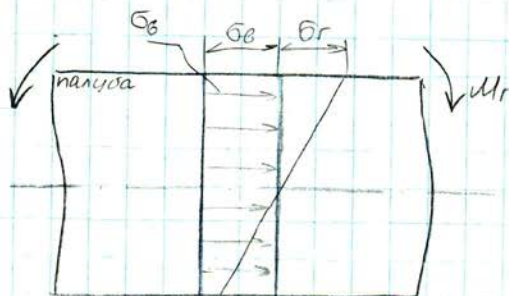
$$M_r^{\text{extr}} = 30\% M_b \quad (\lambda=L) - (20)$$

\$M\_r\$ и \$M\_b\$ часто совпадают по знаку при волнении \$M\_r\$ при \$\varphi=60^\circ\$, \$\lambda=95+96L\$

Для широких судов (особенно речных)  $M_r$  в виду малости  $\sigma_r = M_r/W_z \ll \frac{M_b}{W_y} = \sigma_b$  ( $\lambda = L$ ), т.к.  $\frac{W_y}{W_z} < 0,5$



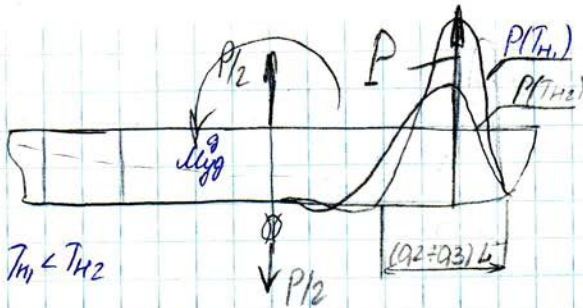
Для мелких танкеров имеет место соотношение  $\frac{W_y}{W_z} > 0,5$  и  $\sigma_b(\lambda < L) + \sigma_r > \sigma_b(\lambda = L)$  - косое крут.



9. Явление <sup>to slam</sup> slamming (килевой качки) судов. При килевой качке судна происх. явление носовой качки днища, поэтому при обратном ходе нос проходит надвальный удар о встречную ванну. Это явление удара корпуса назыв. днищевым slamming. Этот slamming возмоз. 2 порядка: 1) Возникнов. больших ударных давлений на днище судна

$$P_{yd} = k \cdot v_{\text{вс}}^2$$

$v_{\text{вс}}$  - скорость вертикального движения носа судна.



$$T_{H1} < T_{H2}$$

$$P(T_{H1}) > P(T_{H2})$$

Это приводит к поврежден. носовых  
длинных переборках

② Этим же давлени. приводит к возникн.  
в корпусе судна изгиб.-го ударного  
момента.  $M_{\text{дг}}^{\text{д}}(x)$   
 $M_{\text{дг}}^{\text{д}}(x) = 25 \pm 30\% M_0$  (по 119) ( $\lambda = 6 \dots 12L$ )  
Поэтому в общем случ. суммарный  
изгибающ. момент в корпусе:

$$M_z = M_{\text{дг}}^{\text{д}} + M_0 + M_{\text{дг}}^{\text{д}} \quad (24)$$

$M_{\text{дг}}^{\text{д}} \text{ экстр}$  при  $T_{\text{д}} = T_{\text{длн}} - \text{резонанс}$   
качки

Изгибные длиннов. системы наблюда.  
для судов с МО в корпусе в балластной  
состоянии.

Для судов в пути, имеющих развал  
шпангоутов в носовой части, возникнов.  
бортовой системы



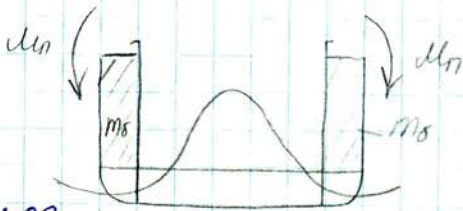
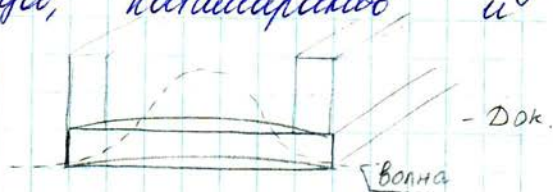
10. Волновые свойства судна  
 - это вынужден. резонанс. колебания  
 корпуса на волнах и усредненные  
 значения, т.е. при  $\lambda/L = 0,1 \dots 0,3$   
 морск. режн.

$\epsilon_k = \epsilon_1 \dots \epsilon_2$  (резонанс)  
 $\tau_1, \tau_2$  - периоды собств.-х (свободн.) изгибных колебаний  
 корпуса 1го и 2го тонов.  
 В рез-те волновой вибр. в корпусе  
 возник. дополни. изгиб. вол. масса  $M_{вв}(x)$

$$M_{вв}(x) = 0,1 \dots 0,15 M_b (\lambda = L)$$

Этот момент учит-ся в критерии  
 устойчивости прочности.  
 При  $\lambda/L \rightarrow 1$ ,  $M_{вв} = 0$ , но возникает смещение  $M_{вв} \neq 0$

11. Опасна поперечная изгиб судна  
 такой изгиб возник. в шпангоут  
 судов, катамаранов и у доков.



30.03.09г.

Б4

Вероятностная оценка изгибных  
 моментов на суграйтной ветровой  
 волнении

Параметрические ветровая волнения:  
 1. Вет. волна 1/3%

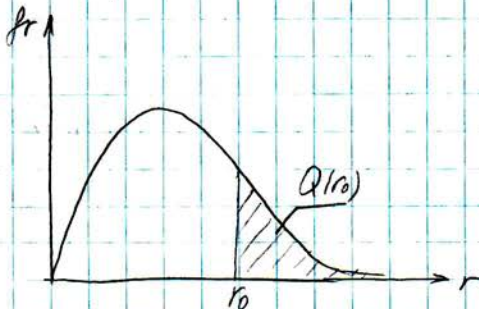
$$f_r(r) = \frac{r}{d_r^2} e^{-r^2/2d_r^2}$$

где  $d_r$  - среднеквадр. отклонен. (стандарт) амплитуды  
 волны  $d_r = \sqrt{D_r}$

1) Определим вероятность амплит. (высоты)  
 волны  $Q(r)$ :

$$Q(r) = P(r_0 > r) \quad ?$$

$$Q(r) = \int_r^{\infty} f_r(\xi) d\xi$$



$$Q(r_0) = \int_{r_0}^{\infty} \frac{r}{d_r^2} e^{-r^2/2d_r^2} dr$$

$$r^2/2d^2 = x$$

$$dx = \frac{2r dr}{2d^2} \Rightarrow dr = \frac{d^2}{r} dx$$

$$Q(r_0) = \int_{r_0}^{\infty} \frac{r}{d^2} e^{-x} \frac{d^2}{r} dx = \int_{r_0}^{\infty} e^{-x} dx = - \left| e^{-x} \right|_{r_0}^{\infty} = e^{-r^2/2d^2}$$

$$= e^{-r_0^2/2d^2}$$

$$Q(r_0) = e^{-r_0^2/2d^2} \quad | \ln$$

$$\ln Q(r_0) = -r_0^2/2d^2$$

$$\downarrow$$

$$r_0 = d \sqrt{-2 \ln Q(r_0)} \quad | \times 2$$

в отечественной практике  
вероятно самым  
важным показателем  $Q = 90\%$

в качестве показателя  
применяется волюта

$$h_{90\%} = 2dr \sqrt{2 \ln \frac{90}{100}}$$

(25)

$$h_{90\%} = 5,3 dr$$

(26)

$$h_{30\%} = 5,11 \quad P(h > 5,11) = 90\%$$

$h_{30\%} = 5,11$  означает, что из 100 волн 94 волны  
< 5,11, и только 6 волн больше 5,11

в России система глобальной широты  
вспомогательная (стр 44 табл 2.1) | все волны | для сев | эквивалент  
 $h_{30\%}$  (исключая вспомогательные волны)  $\geq 4,1$  м.

Справка (26) и др.

$$\bar{r}_r = dr^2 = 0,143 (h_{30\%}/2)^2$$

(27)

$$Q(h_{30\%}) = P(h > h_{30\%}) = 90\%$$

Решая решено для сев. широты  $h_{30\%}$

М-СН  
 $h_{30\%}$   
3,5 м

$M_{кр}, M$  3 м

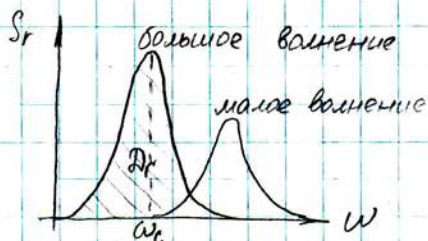
$D_{кр}, D$  2 м

$R$  1,2 м

$L$  0,6 м

} 14%

2) Спектральная плотность длинных волнений  $S_r(\omega)$



$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ - круговая частота}$$

где  $T = \frac{\lambda}{c}$

$$c = \left(\frac{g\lambda}{2\pi}\right)^{1/2} \text{ - для глубокой воды}$$

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{g\lambda}{2\pi}\right)^{1/2}$$

или

$$\omega = \left(\frac{2\pi g}{\lambda}\right)^{1/4}$$

(28)

$$S_r(\omega) = A\omega^{-a} e^{-B\omega^5}$$

$A, a, B, b = \text{const's}$ , зависящие от  $\omega$  на море и времени года

В 1964 г. в г. Дельверте на 2 кораблях по прошлости судов была принята (до максимума  $\omega_r$ ) в кач-ве стандарта для судов на европейских плаваниях единая функция:

$$S_r(\omega) = 98,2 \text{ м}^2 \text{ с}^{-2} T_0 (T_0 \omega)^{-5} \exp\left(-\frac{0,86}{(T_0 \omega)^{11}}\right) \text{ [м}^2 \text{с}^{-2}] \quad (29)$$

В кан-ве вполновласт пар-ки спектрал. функции  $S_r(w)$  ;

$$1. D_r = \int_0^{\infty} S_r(w) dw$$

$$2. W_c = \frac{\int_0^{\infty} S_r(w) w dw}{D_r} - \text{ср. спектральная частота}$$

В кан-ве в пар-ки в нашем случае  $T_c$

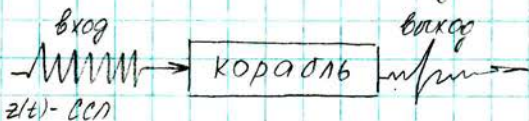
$$3. T_c = \frac{2\pi}{W_c} - \text{ср. спектральный период}$$

Математ. ожидания  $T_c = 2,25 \sqrt{1/30\%} [с]$  (30)

Определим стандарт волнового момента при сеп (дль:?)

При этом будем полагать;

1. корабль представ. собой динамич. линейную систему.



Дано:  $h_{30\%}$ ;  $d_r$ ;  $S_r(w)$

Найти: хар-ки сеп  $M_b(t)$  ;  
1.  $D_{b1}$  ; 2.  $S_{b1}(w)$

2. Волновой процесс - стационарный  $x(t)$ -сеп. В этом случае  $M_b(t)$  - тоже стационар. случайный процесс (сеп)

3. Если сеп  $x(t)$  описывается  $j$ -м процессом, то и  $M_b(t)$  описывается  $j$ -м процессом

$$Q(M_b) = \frac{M_b}{D_{b1}^2} e^{-M_b^2 / 2 D_{b1}^2} - \text{з-н. Релла для } M_b \text{ (21)}$$

4. Судно движется по волочу волны



При свобод. колебл. будет восп-ся  
формула А.Я. Хинчина

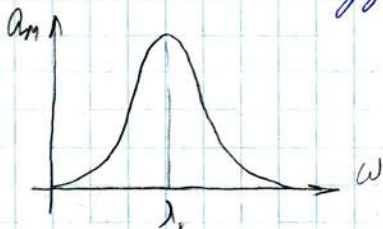
$$S_u(\omega) = S_r(\omega) a_m^2(\omega) \quad (32)$$

где  $S_u(\omega)$  - спектральная ф-та волнового  
мощности

$a_m(\omega)$  - АЧХ волнового узла. мол. при  
рекуррент. узлом. колебан-х для  $r=1$  и  
АЧХ опред-ся либо по герм. вертик.  
качки и узловых колебаний судна

2. Экспериментальный способ.

по осн. уз. модели. или натурн-х  
испытаниям судна и ф-лог (32)



$\int_0^{\infty} (32) \times d\omega$ , получим:

$$\int_0^{\infty} S_u(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} S_r(\omega) a_m^2(\omega) d\omega$$

$$1) D_{uc} = \int_0^{\infty} S_r(\omega) a_m^2(\omega) d\omega \quad (33)$$

- дисперсия волнов. узлов. мощности

$$2) M_b = \rho g K_a(\omega, v_e, M_b, \varphi, \dots) r B L^2 \quad (34)$$

Читая, что  $M_b/r = a_m$ , тогда (34) запиш-ся:

$$a_m(\omega) = \rho g K_a(\omega) B L^2 \quad (35)$$

из (35) опред.  $K_a$ :

$$K_A(\omega) = \frac{a_m}{\rho g B L^2} - \text{безразмерная АЧХ}$$

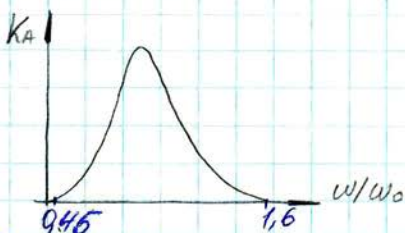
Учитывая, что  $\omega = \left(\frac{2\pi g}{\lambda}\right)^{1/2} \left|\frac{L^{1/2}}{L^{1/2}}\right|$

$$\omega = \underbrace{\left(\frac{2\pi g}{L}\right)^{1/2}}_{\omega_0} \left(\frac{L}{\lambda}\right)^{1/2}$$

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \left(\frac{L}{\lambda}\right)^{1/2} \quad (36)$$

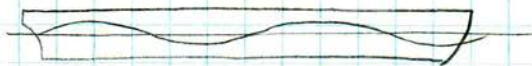
При  $\lambda = L$   $\omega = \omega_0$  :

$$\omega = \omega_0$$

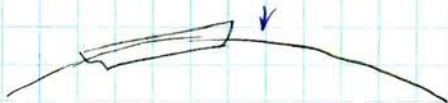


Исчерпывающие показания, что  $K_A(\omega) \neq 0$  в области  $0,45 < \omega/\omega_0 < 1,6$   
С учетом (36), получим:

$$K_A(\omega) \neq 0, \omega \neq 0 \text{ при } \frac{\lambda}{L} \leq 0,4 \text{ и } \frac{\lambda}{L} \geq 5$$



$$\uparrow K_A(\omega) \neq 0, \omega \neq 0$$



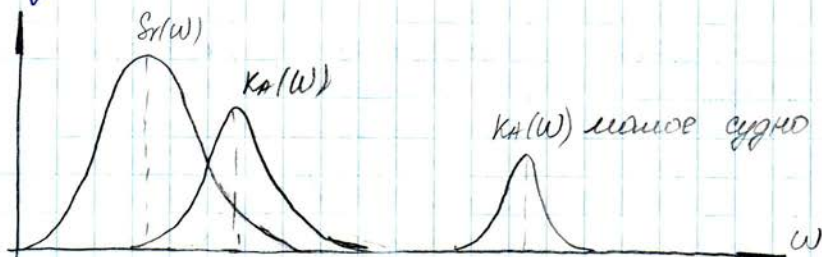
Подставим (35) в (33) и выведем  $\sqrt{\dots}$  :

$$P_{\text{от}} = \int_0^{\infty} S_{\text{от}}(\omega) [\rho g K_A(\omega) B L^2]^2 d\omega \quad \sqrt{\dots}$$

$$\sqrt{Dm} = d_m$$

$$d_m = \rho g B L^2 \left[ \int_0^{\infty} S_r(\omega) K_A^2(\omega) d\omega \right]^{1/2} \quad (37)$$

- стандарт (с.к.о) м



Величина интегр. (37) будет тем больше (судно больше к реформе), чем больше коэффициент  $K_A$  на  $S_r$ . Представим (29) в таком виде:

$$S_r(\omega) = k_{3\%} T_e f(T_e \omega) \quad (38)$$

(38) подставим в (37):

$$d_m = \rho g k_{3\%} B L^2 \left[ T_e \int_0^{\infty} f(T_e \omega) K_A^2(\omega) d\omega \right]^{1/2} \quad (39)$$

Представим (39) в форме сваяна:

$$d_m = k_1(d) r_1 B L^2 \quad (40)$$

Приравнивая (39) и (40) найдем  $r_1$  (не кар-ко волнен, а кар-ко стандарта волн. мом. та)

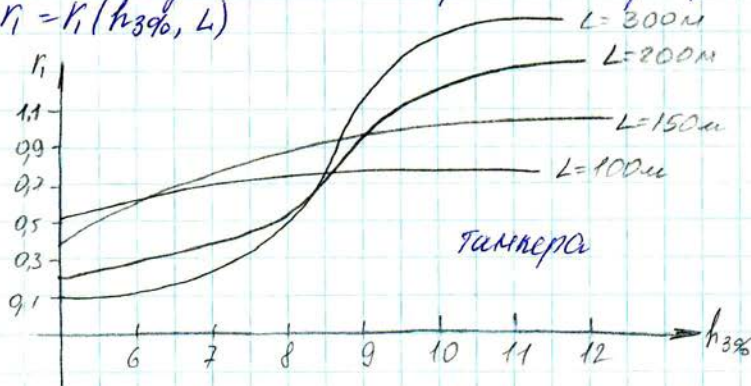
$$r_1 = \frac{\rho g k_{3\%}}{k_1(d)} \left[ T_e \int_0^{\infty} f(T_e \omega) K_A^2(\omega) d\omega \right]^{1/2} \quad (41)$$

- кар-ко стандарта: волнового момента, где  $k_1(d)$  - coeff. стат. постановки судна на воду.

Учитывая ф-лу (30) можно  $r_i$  опред-ть как функцию  $h_{3\%}$  и диаметра судна - при  $\lambda = L$

$$K_A = K_A(L)$$

Это позволяет построить график зависимости  $r_i = K_i(h_{3\%}, L)$

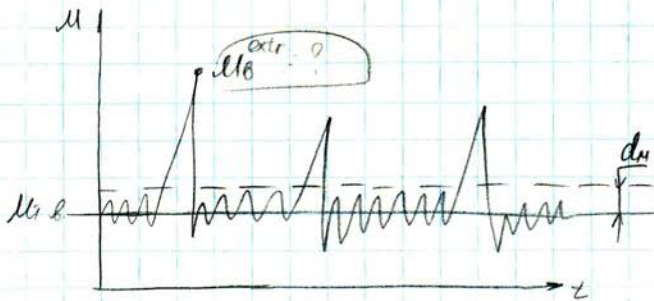


Из графика следует, что большие суда реагируют на изменение только наибольшей высоты ( $h_{3\%}$ ).

3) Полюс вероятностной кривой экстремальных  $M_6$  при нестационарной случайной нагрузке

Под предельной моментом  $M_6^{extr}$  понимается такая величина  $M_6$ , кот. н.д. превзойдена с очень малой вероятностью, т.е.

$$P(M_6^{extr}) = P(M_6 > M_6^{extr}) = 10^{-3} \dots 10^{-8}$$



За расчетный срок службы корабля (ок. 10 лет) его корпус проверит-ся воздействием ванн различной высоты (различн. амплитуды). Т.о. воздействие ванн на судно имеет не стационар. характер.

$h_{3\%} = h_{3\%}(t)$  и следоват.  $d_m = d_m(t)$

Определим  $M_0^{окт}$  за весь срок эксплуатации корабля, т.е. время не стационар-ти ванн или этого не стационар. ванн или работав на отрывные кварцитации участка.

0	1	2	i	g	Больность
$h_0$	$h_1$	$h_2$	$h_i$	$h_g$	
$d_{m_0}$	$d_{m_1}$	$d_{m_2}$	$d_{m_i}$	$d_{m_g}$	
$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_i$	$P_g$	- вероятность конкретной амплитуды

кварцитации участка ванн

1) Для стационар. ур-в имеем:

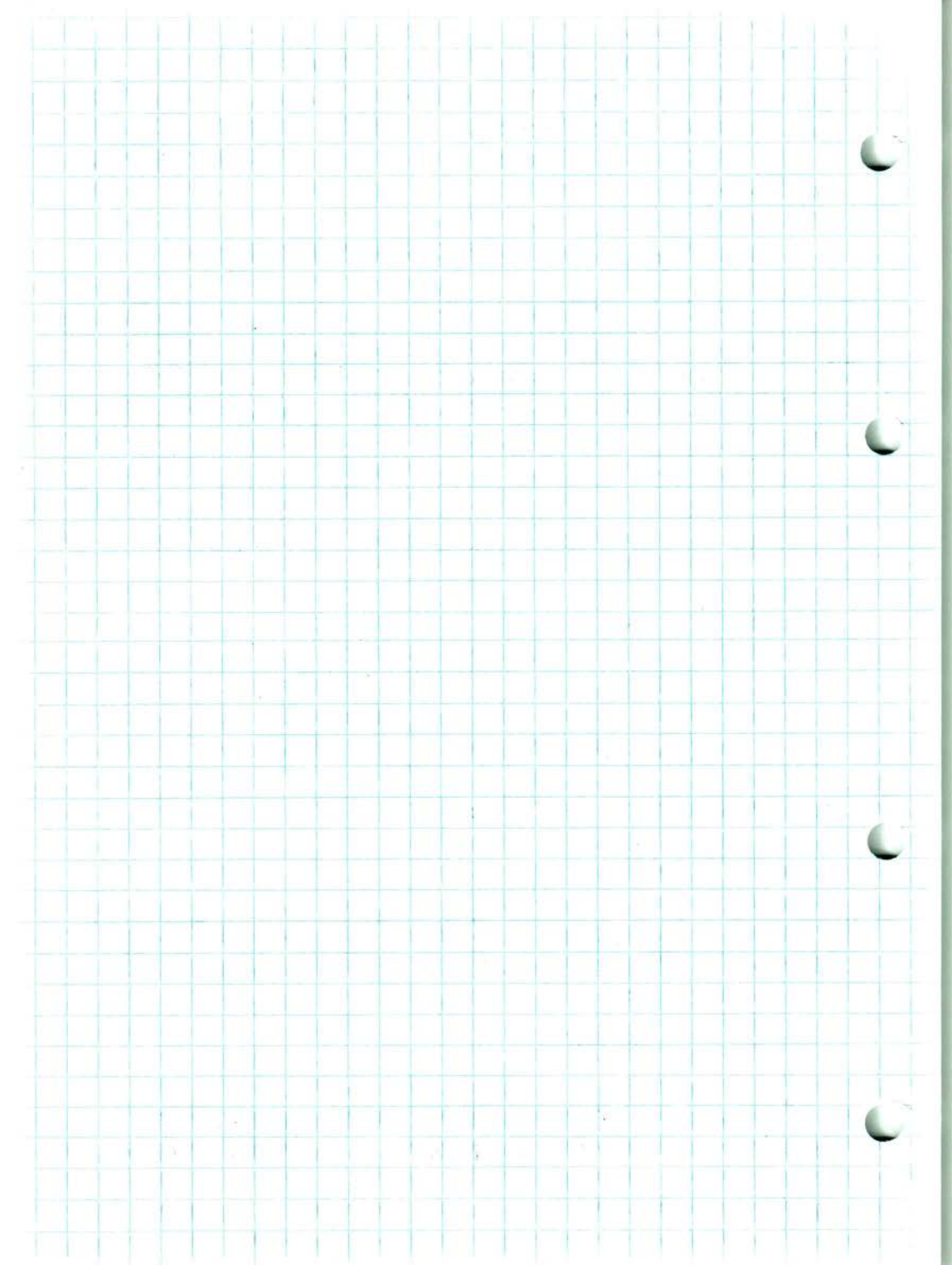
$$Q_i(M_0) = e^{-M_0^2 / 2d_{m_i}^2}$$

2) С учетом вероятности существования разных режимов  $h$  определим обеспеченность  $i$ -го режима:

$$Q^*(M) = P_i e^{-M^2 / 2d_{m_i}^2}$$

3) С учетом всех совокуп. режимов обеспечен-ть  $M_0$  составит сум. вероятн-й

$$Q(M_0) = \sum_{i=0}^g P_i e^{-M_0^2 / 2d_{m_i}^2}$$



Конструктивная прочность Практика

Расс. гр. р. "Расчет статей масс судна и их вместимости по длине корпуса в шхуне и в балласте"

Иск. данные: однопалубн. вышовой эле температур  $T = 2000^\circ$  с закрыт. пролимит, медстрей и мо в шхуне

Оси. Хар-ки судна	проектир-ое	прототип (№81)
1. Класс Регистра Регистра	M	M
2. Длина расчетная, м	<u>92,0</u>	92,1
3. Ширина, м	<u>13,0</u>	13,0
4. Высота борта, м	5,5	5,5
5. Грузоподъемность, т	<u>2000</u>	2000
6. Мощность гл-х двиг-й, кВт	$2 \times 485 = N_2$	$2 \times 485$
7. Скорость хода, км/ч путки	18,7	18,7
8. Автономность, /ч/мин " "	$\frac{10/20}{10 \cdot 20 = n_{20}}$	11/23
9. $K_k$		<u>0,155</u>
10. $K_M$ , т/квт		<u>0,103</u>
11. Водоизмещен. в балласте, т	2285	2285
12. Осадки $T_H$ / $T_k$		<u>2,12 / 2,91</u>
13. Водоизмещен. в шхуне, т	3076	3076
14. Средняя осадка $T_c$ , м	3,3	3,3

1. Масса обдуваемого корпуса  $m'_k$

$$m'_k = k_k \cdot L \cdot B \cdot H$$

$$m'_k = 0,155 \cdot 92 \cdot 13,55 = 191,59 \text{ т}$$

2. Масса шлангов двигателя и механизмов МО

$$m_M = k_M \cdot N$$

$$m_M = 0,103 \cdot 2 \cdot 485 = 99,91 \text{ т}$$

3. Запас водозащитки

$$m_3 = 3\% m_{\text{нор}}$$

$$m_{\text{нор}} = m'_k + m_M + m_3$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{0,03 m_{\text{нор}}}$

$$m_{\text{нор}} = \frac{m'_k + m_M}{0,97} = 1154,124 \text{ т}$$

$$m_3 = 0,03 \cdot 1154,124 = 34,624 \text{ т}$$

4. Масса топлива  $m_T$

$$m_T = q_T \cdot n \cdot N_{\Sigma} \cdot 24 =$$

$$q_T = 258 \cdot 10^{-6} \text{ т/кВт.час}$$

$$n = 10 \text{ суток}$$

$$N_{\Sigma} = 975 \text{ кВт}$$

$$m_T = 258 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 975 \cdot 24 = 60,372 \text{ т}$$

$$m(\text{масло}) = 5\% m_T$$

$$m(\text{вода}) = 5\% m_T$$



$$m_{\text{гвм}} = 1,1 \text{ тг} = 66,409 \text{ т}$$

б. Масса команды и пассажиров

$$m_{\text{кл}} = m_{\text{к}} + m_{\text{п}}$$

где  $m_{\text{к}} = (0,1 \dots 0,15) \text{ тк}$

$$m_{\text{к}} = 0,125 \cdot 20 = 2,5 \text{ т}$$

$$m_{\text{п}} = 0 \text{ (если не изв.)}$$

$$m_{\text{кл}} = 2,5 \text{ т}$$

в. Масса провизии и питьевой воды.

$$m_{\text{пв}} = m_{\text{п}} + m_{\text{в}}$$

$$m_{\text{в}} = \underbrace{\Gamma_{\text{в}}}_{\text{норма}} \cdot \underbrace{n_{\text{кл}}}_{\text{число}} \cdot 10^{-3}$$

$$\Gamma_{\text{в}} = 30 \text{ кг/сут} \cdot \text{чел.}$$

$$m_{\text{в}} = 30 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ т}$$

$$m_{\text{п}} = \Gamma_{\text{п}} \cdot n_{\text{кл}} \cdot n \cdot 10^{-3}$$

автономн.

$$\Gamma_{\text{п}} = 4 \text{ кг/сут} \cdot \text{чел.}$$

$$m_{\text{п}} = 4 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ т}$$

$$m_{\text{пв}} = 6,8 \text{ т}$$

✓ 7. Масса пресной питьевой воды

$$m_{\text{пмв}} = \Gamma_{\text{пмв}} \cdot n_{\text{кл}} \cdot n \cdot 10^{-3}$$

$$\Gamma_{\text{пмв}} = 30 \text{ кг/сут} \cdot \text{чел.}$$

$$m_{\text{пмв}} = 30 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ т}$$

### 8. Определение массовой водонасыщенности

$$m = m'_k + m_m + m_z + m_{гр} + m_{твм} + m_{кп} + m_{лв} + m_{пнв} =$$

$$= 3285,833 \text{ т}$$

### 9. Проверка условий равновесия

$$m = \rho V$$

$$V = \delta^3 BT = 3221 \text{ м}^3; \rho = 1,7 \text{ т/м}^3$$

$$\Delta m = 3221 - 3285,833 = -14,83 \text{ т}$$

$$m'_k(\text{испр.}) = 1019,59 - 14,83 = \underline{1004,76 \text{ т}}$$

### 10. Определение массы мажуротки

$$m_{н(\text{корм})} = 0,13 V_{кн}$$

$$\text{где } V_{кн} = 958 \text{ м}^3$$

$$m_{н(\text{корм})} = 0,13 \cdot 958 = 124,5 \text{ т}$$

$$m''_k(\text{без мажур}) = 1004,76 - 124,5 = 880,26 \text{ т}$$

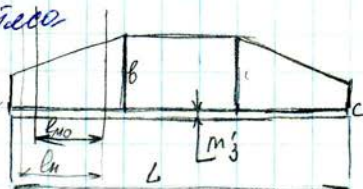
### 11. Распределение стальной нагрузки по длине судна

а)  $m''_k$  - распредел. по диагр. Байбеда

$$a = 0,72 \cdot m''_k / L = 0,72 \cdot \frac{880,26}{92} = 6,89 \text{ т/м}$$

$$b = 1,17 \cdot m''_k / L = 1,17 \cdot \frac{880,26}{92} = 11,19 \text{ т/м}$$

$$c = 0,60 m''_k / L = 0,60 \cdot \frac{880,26}{92} = 5,74 \text{ т/м}$$



2)  $m_M$

$$\bar{m}_M = \frac{m_M}{V_{MO}} = \frac{99,91}{8,5} = 11,75 \text{ т/м}$$

3)  $m_Z$  запас воздуха

$$\bar{m}_Z = \frac{m_Z}{V} = \frac{34,624}{92} = 0,376 \text{ т/м}$$

4) Топливо, вода, масло  $m_{TOM}$

$$\bar{m}_{TOM} = \frac{m_{TOM}}{V_{MO}} = \frac{66,409}{8,5} = 7,81 \text{ т/м}$$

5)  $m_{KL}$  команда, пассажиры

$$\bar{m}_{KL} = \frac{m_{KL}}{V_H} = \frac{25}{13} = 0,19 \text{ т/м}$$

6) провозим, вода  $m_{PB}$

$$\bar{m}_{PB} = \frac{m_{PB}}{V_H} = \frac{6,8}{13} = 0,5 \text{ т/м}$$

7) пресная питьевая вода  $m_{PMB}$

$$\bar{m}_{PMB} = \frac{m_{PMB}}{V_H} = \frac{6}{13} = 0,46 \text{ т/м}$$

8) надстражка  $m_H$

$$\bar{m}_H = \frac{m_H}{V_H} = \frac{124,5}{13} = 9,58 \text{ т/м}$$

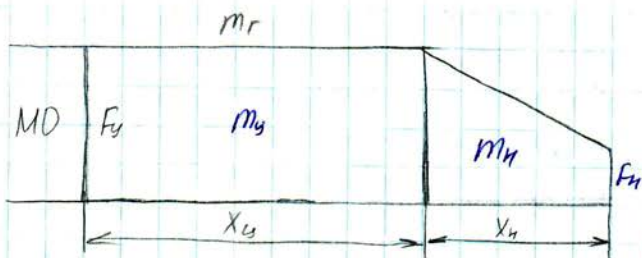
9) груз  $m_{GR} = 2000 \text{ т}$



$F_i = V_{отс} \cdot H_{отс}$

- площадь <sup>или</sup> вертикальные отсека

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4; F_5 = V_5 \cdot H_5$$

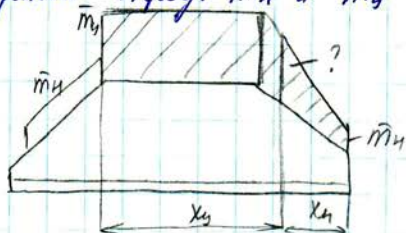


$x_у$  - длина цилиндрич. вставки  
 $x_н$  - длина носового троса  
 $F_у$  - площадь переборки цилиндрич. части судна  
 $m_у$  - масса груза, перемещаемого в цилиндрич. вставку  
 $m_н$  - масса в носовой переборке  
 $F_н$  - площадь переборки форштевень (носовой) переборки.

$$\begin{cases}
 m_у + m_н = m_r \\
 \frac{\bar{m}_н}{\bar{m}_у} = \frac{F_н}{F_у} = \gamma
 \end{cases}$$

(где)

Требуется опред.  $\bar{m}_н$  и  $\bar{m}_у$



$$\bar{m}_у = \frac{m_у}{x_у}$$

$$\bar{m}_н = \gamma \bar{m}_у ; \gamma = 1 \quad (*)$$

$$\bar{m}_у x_у + \left( \frac{\bar{m}_н + \bar{m}_у}{2} \right) x_н = m_r \quad (**)$$

(\*) в (\*\*)

$$\bar{m}_у x_у + \left( \gamma \bar{m}_у + \bar{m}_у \right) \frac{x_н}{2} = m_r$$

$$\bar{m}_y = \frac{m_T}{x_y + (y+1) \frac{x_H}{2}} \quad (***)$$

10) Определим массу балласта  
 Для этого берем формулу А

$$\frac{m_{ns}}{m} = 1 - \frac{d}{\delta} \left( 1 - \frac{T_{cs}}{T_2} \right) + 0,5 \left( \frac{d}{\delta} - 1 \right) \left( 1 - \frac{T_{cs}}{T_4} \right)^2$$

$m$  - масса судна в полном грузу

$$m_{ns} = m_{no} - m_n$$

$$m_{no} = Am$$

$$m_n = m'_k + m_m + m_3$$

Пусть  $m = 1631,7 \text{ т}$ ;  $T_{cs} = 1,455 \text{ м}$ ;  $T_{cp} = 1,71 \text{ м}$ ;  
 $d = 0,871$ ;  $\delta = \frac{V}{LBT} \approx 0,797$ ;  $m_n = 413,3 \text{ т}$

23.03.09г.

$$A = 1 - \frac{0,871}{0,797} \left( 1 - \frac{1,455}{1,71} \right) + 0,5 \left( \frac{0,871}{0,797} - 1 \right) \left( 1 - \frac{1,455}{1,71} \right)^2 =$$

$$= 1 - 0,164 + 0,001 = 0,837$$

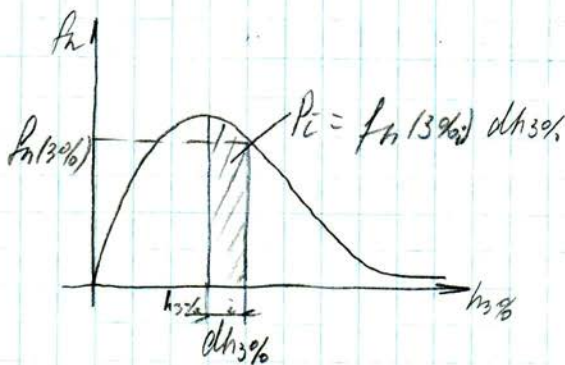
$$m_{no} = Am = 0,837 \cdot 1631,7 = 1365,7 \text{ т}$$

$$m_{ns} = m_{no} - m_n = 1365,7 - 413,3 = 952,4 \text{ т}$$

Полн. масса балласта распредел. по балластным катерам. 2<sup>го</sup> эта, в носовой части  
 Распределен. масс судна по теорет. габаритам в шир. балластного составн. опред. со 100% запасом, в отлещ. от сост. в грузу (10%)

6.04.09.:

ма. севе. иссл.-е. во.мелие  
различных морских путей и времени  
года строится одновременное распре-  
деление решений во.мелие.



$f_n(h_{3\%})$  - плотность распределения вероятности года для различных морей и

$$P_i = \int f_n(h_{3\%}) dh_{3\%} \quad (43)$$

(43)  $\rightarrow$  (42) и от суммирования переходим к интегрированию

$$Q = \int_0^{h_{3\%}^{\max}} f_n(h_{3\%}) e^{-\frac{c_0^2}{2d_{3\%}^2}(h_{3\%})} dh_{3\%} \quad (44)$$

- вероятность в за весь срок  
испытания судна

где  $h_{3\%}^{\max} = 19 \dots 21$  - для судов морского плавания Север Атлантики р-на

$f_n(h_{3\%})$  - плотность распределения вероятностей с  $h_{3\%}$  за длительный период времени

$d(1/396)$  - стандарт  $1/396$  (37)  
 после интегрир-е (44) получим завис-ть  $Q = Q(M_0)$   
 обратим ее:  $M_0 = M_0(Q)$  (45)  
 запишем (45) в форме сваяна:

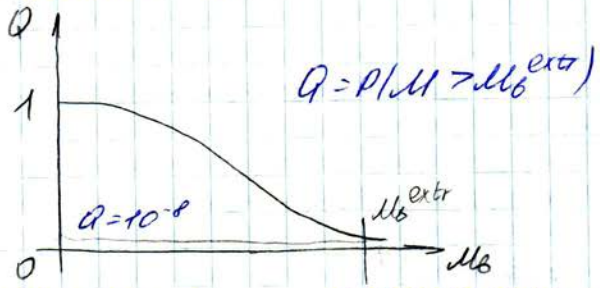
$$M_0 = k_1(d) \frac{1}{2} h_e(Q) v k^2 \quad (46)$$

(45) = (46), получим:

$$h_e(Q) = \frac{2 M_0(Q)}{k_1(d) v k^2} \quad (47)$$

эффективная высота волны обеспечения  $Q$

это не хар-ка волн, а хар-ка экстрем-го волнового процесса для масштаба  $Q$

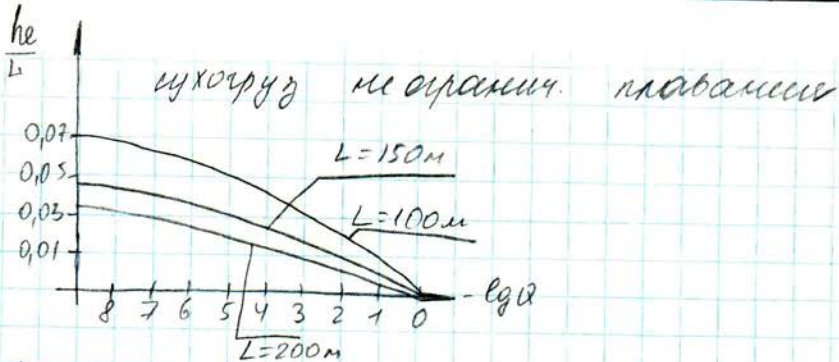


Масштаб-е температура.  $N = 10^8$  циклов в кач-ве параметра, кот. судно использует около  $M_0$  различной величины волн. Будем брать среднее 1 раз в сутки, т.е. средоват.  $N$  вер-ть  $Q = \frac{1}{10^8} = 10^{-8} M_0^{extr}$

Тогда (47) запишется:

$$h_e(10^{-8}) = \frac{M_0^{extr}(Q = 10^{-8})}{k_1(d) v k^2} \quad (48)$$

Для различной зависимости  $h_e = \frac{M_0^{extr}(Q)}{k_1(d) v k^2}$  построим (49)



Морской Регистр расценил 2 величины  $M_b^{extr}$  - для критерия экстремат. прочност. динам.-се.

$$M_{b1}^{extr} = M_b(Q=10^{-5}) = \alpha_0 \alpha_1 \frac{h_1(10^{-5})}{L} k_1(d) B L^2 \quad (150)$$

где  $\alpha_0 \alpha_1 h_1(10^{-5}) = h_e(Q=10^{-5})$

- для критерия предельной прочност. корпуса судна:

$$M_{b2}^{extr} = M_b(Q=10^{-8}) = \alpha_0 \alpha_2 \frac{h_2(10^{-8})}{L} k_2(d) B L^2 \quad (151)$$

где  $\alpha_0 \alpha_2 h_2(10^{-8}) = h_e(Q=10^{-8})$

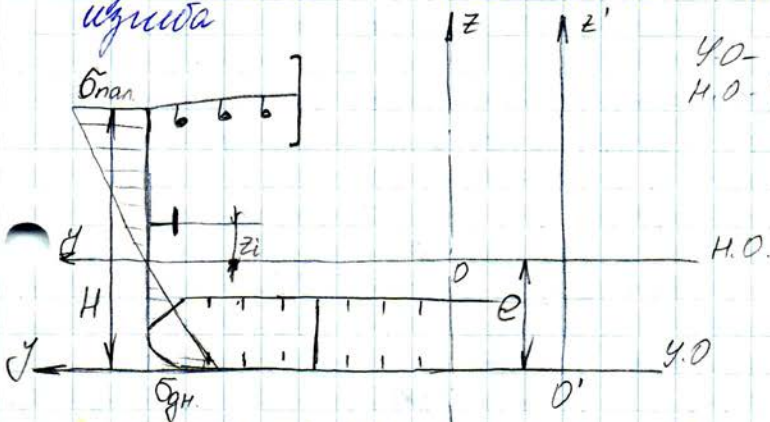
Особенности расчета динамических и статических изгибающих моментов для скоростных судов (снх)

См. стр 231-235 по чр-ку



Определение напряжений при деформации корпуса судна и шпангоута

Будем рассм. корпус судна как балку переменного сечения, которая поворачивается вокруг шпангоута



У.О. - условная ось  
Н.О. - нейтр. ось

$$\sigma_i(x) = \frac{M(x)}{J_y(x)} z_i \quad (152)$$

в кач-ве  $M(x)$  принимаем расчетный  $M_p$   
 $M_p = \max(M(x)) = M_{\text{в}} + M_{\text{в}} + M_{\text{уд}}$   
 $J_y$  - мал. инерции сечения судна в районе шпангоута  
 шар-ми сечения явл-ся величинами;

- 1)  $e$  - полнов. нейтральной оси сечения относит. У.О.
- 2)  $J_y$  - мал. инерции сечения
- 3)  $F_{\text{гн}}$  - площадь сечения

использ-е  $\phi(152)$  основано на след. х. гипотезах:

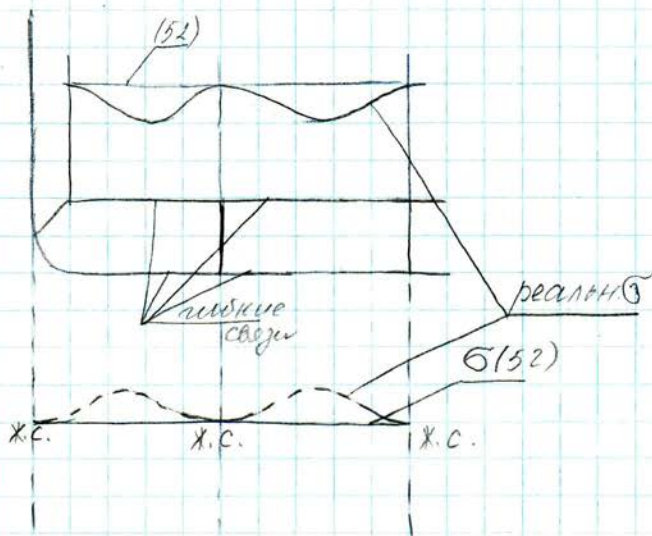
- 1) материал корпуса однородной
  - 2) выполняется д.м. материала
- з-м. Гука:  $\sigma_i = E \epsilon_i$

- 3) пашуба и димце мах-се в  
 одновоме напрем. составени  
 4) волнам-се гипотеза тивских  
 сечени.

$$E_i = \alpha Z_i$$

- $\alpha$  - кривина,  $Z_i$  - пражб. от проща  
 5) элемент корпуса судно являються  
 достая. тествими сверими.

в состав сечени F включаются прод-е  
 свери, эти прод. свери делится на  
 пубные и фисетные свери  
 к пубным сверим относятся мастина  
 сшивки и мастнов.  
 к пиветным сверим относятся продолотие  
 баски.  
 также деление на пуб. и  
 пивет. свери сведано с различном  
 их нде



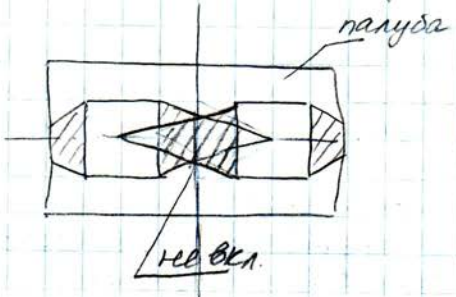
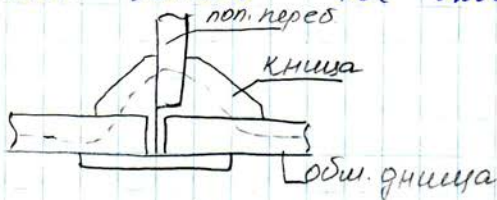
Живильный брус корпуса при общем изгибе

В связи с ограниченными возможностями стоек свесов  $b_{г.с} < b_{т.с}$  для расчета напряжений в корпусе сворачивается поперек живильный брус. В состав пилорады  $F_{жк}$  включаются свесы, обладающие 1) достаточной прочностью.

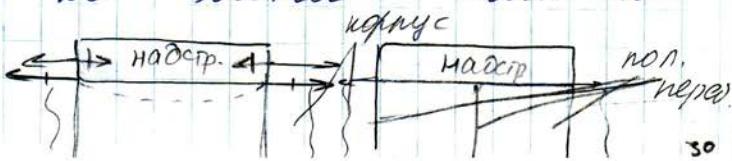


Антицы) не включ.ся в  $F_{жк}$ .

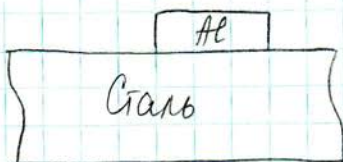
Короткие надстройки не включ.ся в состав  $F_{жк}$ ; рейки пилорады, пилорамы и др. 2) достаточной прочностью. Все же разрезы по балке не включ.ся



3) достаточной связью с корпусом (не включ. фальшивый, переходной доской (у танкера), надстройка на портовых срединках) для включения надстройки в состав  $F_{жк}$  между собой она должна быть не менее чем на 3 переборки



#### 4) Агломерация дупорядности



В этом слур. существ. процедуру приведения к однородности:

$$\varepsilon = \frac{P}{F \cdot E_{ст}} = \frac{P}{E_{Al} F_{Al}}$$

Отсюда следует:

$$E_{ст} F_{ст} = E_{Al} F_{Al}$$

" "

$$\frac{1}{3} E_{ст}$$

$$F_{ст}(\text{нагруж}) = \frac{E_{Al}}{E_{ст}} F_{Al}$$

$\varphi_H$

$$F_{ст} = \varphi_H F_{Al}$$

Введение вместо  $F_{Al} \rightarrow F_{ст}$  через  
 редуцир. коэф.  $\varphi_H$  позволяет привести  
 к однородному материалу - Сталь.  
 Совокупность всех конструктивных продольных  
 связей корпуса судна, удобств. укладочной  
 волюн. чл. устройств, машин, в ко. продольно-се-  
 зависимость имеют, термит. трубы  
 балки (52) нагр. жидкост. брусом  
 посколку, лоб. и теск. связи ведут  
 себе не ортогонально приходящих попереч-  
 марки по брусам волновать с  
 пол-со метод. последоват. прил. мн-б

В 1 приближен. эти кар-ки ( $F_{jk}, y_j, e$ ) вычисля-ся при условии, что все сварки бруса явл. жесткими. Это позволяет все прод. сварки вводить поименно с помощью этих кар-ки сред. в табл-е форме (табл. 3.1 стр 56 уч-ка)

N n/n	наимен. прод. св. (факт/х.с.с.с.)	$F_j'$ см <sup>2</sup>	$x_j'$ м	стан. мом. инт.	
				$F_j' z_j'$ м <sup>3</sup>	перенос. $F_j' x_j'^2$
1.	колышки				
2.	настил лан.				
3.	ребра ст.				
	'''				
		$\Sigma F_j'$	$\Sigma F_j' x_j'$	$\Sigma F_j' z_j'^2$	$\Sigma e_{ij}$

$$e' = \frac{1}{F_{\Sigma k}} \Sigma F_j' z_j'$$

$$F_{\Sigma k} = \Sigma F_j'$$

$$y_j' = z [ \Sigma F_j' x_j'^2 + \Sigma z_j' - e'^2 F_{\Sigma k} ]$$

$$\sigma_{\text{тан}} = \frac{M_p}{I_y} (H - e')$$

$$\sigma_{\text{дн}} = \frac{M_p}{I_y} e'$$

(153)

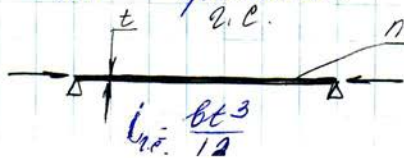
особенности учета жестких сварок в составе бруса. Расчет жесткости жестких сварок во 2 приближении

БС

$\sigma_i$  опред-ся по (152)

напряжения в жестких сварках отлич-ся от напряж. в мягких сварках, опред. по ф. (152), (153). Это связано с особенностями жестких сварок.

1) низкая устойчивость жестких сварок по сравнен. с мягкими св.



$$t \ll h$$

↓

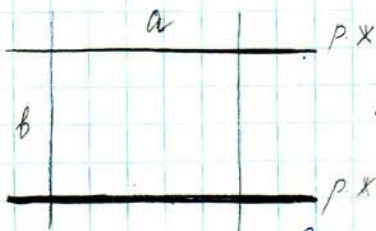
$$i_{н.с.} \ll i_{м.с.}$$

$$\sigma_2 = \frac{\epsilon i_{н.с.}}{e h}$$

$$\sigma_2 (н.с.) \ll \sigma_2 (м.с.)$$

Поэтому часто  $\sigma_{х.с.}' / \sigma_2 \approx \sigma_2 (н.с.)$

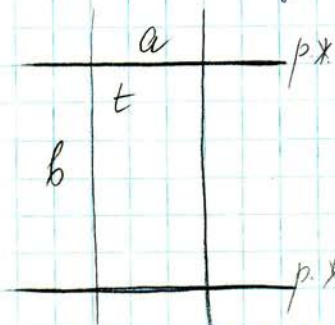
$\sigma_{м.с.} - \sigma_2 (н.с.) = \Delta \sigma > 0$  - передается на соседнюю м.с.



прод. имеет надрез

$$\sigma_2 = 26 \left( \frac{100t}{b} \right)^2 - (54)$$

для стационарной пластинки



пол. имеет надрез

$$\sigma_2 = 19 \left( \frac{100t}{a} \right)^2 \left[ 1 + \left( \frac{a}{b} \right)^2 \right]^2 - (55)$$

При прод. системы  $\sigma_2 (прод.) = 4 \sigma_2 (пол.)$   
"система пласт. единиц" (прод. и пол.)  
В связи с этим решено для судов  
 $L \rightarrow$  вооружением. прод. сист.  
для плавуч.

2) Сварные шовные связи образуют  
нестационарную систему плавуч.



$W_0$  - стремна начальной строгаемой пошвы

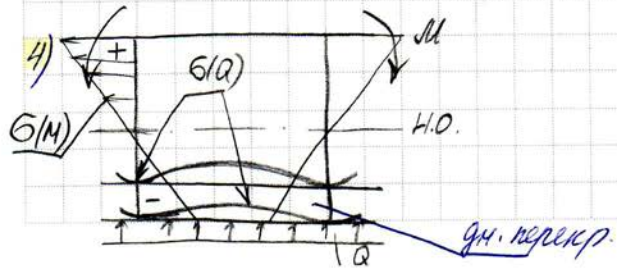
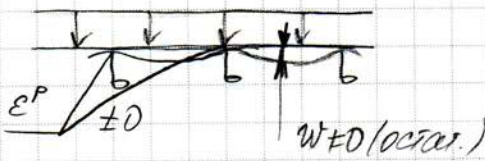
$W_0$  приводит к смещен. жестк. пластинкой, а сферой, к смещен. напряж.-л в г.с.

$$\sigma_{x.c} - \sigma_2(z.c) = \Delta \sigma_1 > 0$$

$$\sigma_{x.c}(5x) - \sigma_2 c = \Delta \sigma_2 > 0$$

При прод. системе макс. 13.04.09  
 пошвы  $W_0$  не выисет но  
 смещенные напряж. в шотк. сферх  $\sigma_{2.c}$ .  
 При поп. системе ишеет место от.  
 сисонное выисенные но  $\sigma_{2.c}$ .

3) В процессе эксплуат. судна и дейст. поп. нагрузок (давлен. воды, груз) приводит к возникнов. пластич. деформ. в пластине



$|B_2| = |B(M)| + |B(Q)| \leq B_2$  - условие устойчивости

$$|B(M)| \leq \frac{B_2 - |B(Q)|}{B_2' \leq B_2}$$

при  $|B(M)| > B_2'$  наступает граница термостойкости.

$|B(M)| - B_2' = \Delta B_4$  - дефект напряжения передается соседним местами свери

Определение геометрических характеристик двиваментного бруса во 2 приближении

Учитывая особен. гнотик свери можно определить  $e, F_2, Y_2$ . Учет особен-й в.с. свери с по.и-ю метода редукционнх коор-в. М.Г. Вудрова. сов. метод между гнот. свери замен-ся фиктивн. местами свери, напряж. в кот. принимат-ся равными  $B_{м.с.}$ , как в соседн. м.с. При условии, передав-ли пер. тпу фиктивн. м.с. = усинно, передаваем. пер. тп.

$$P_{г.с.} = B_{г.с.} F_{г.с.} = B_{м.с.} F_0$$

$$\frac{B_{г.с.}}{B_{м.с.}} = \frac{F_0}{F_{г.с.}}$$

$$\frac{F_0}{F_{г.с.}} = \psi \leq 1, \text{ т.к. } F_0 \leq F_{г.с.}$$

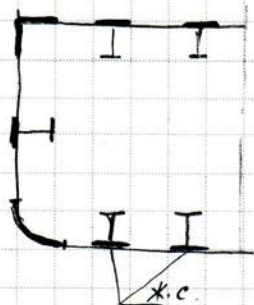
$\psi$  - редукт. коэф.

$$\psi = \frac{B_{г.с.}}{B_{м.с.}}$$

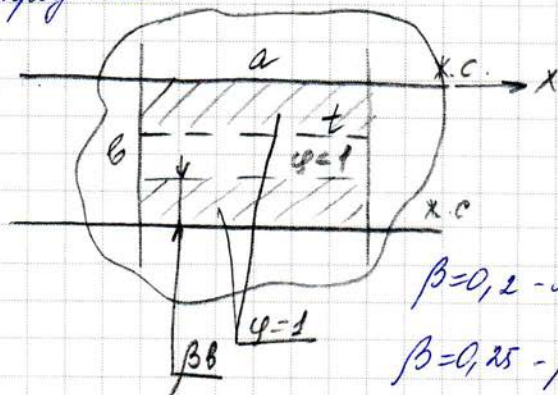
$$B_{г.с.} \leq B_{м.с.}$$



Исследования показали (П.Ф. Ларков, П.А. Соколов) что часть г.с.-й, примыкающей к т.е., работает как жестк. свирь, т.е. бг.с = бт.с.



С учетом этого фактора  $F_D$  определ.:  
 Прод. свир.

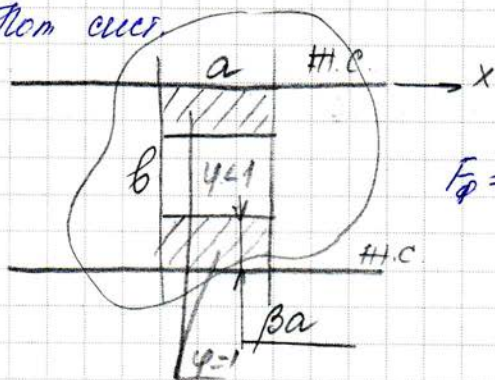


$\beta = 0,2$  - жестк. свирь.

$\beta = 0,25$  - жестк. свирь

$$F_D = t [2\beta b + \varphi(b - 2\beta b)]$$

Пот свир.

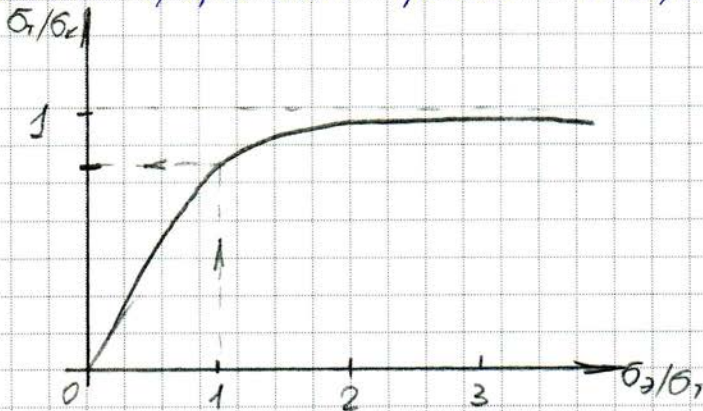


$$F_D = t [2\beta a + \varphi(b - 2\beta a)]$$

Расчет  $\varphi$  вводим-ся по формулам:

И.с.	продольн.	поперечн.
$\sigma_{н.с.} > 0$	$\varphi = 1$	$\varphi = \frac{\sigma_{з.с.}}{\sigma_{н.с.}}$
$\sigma_{н.с.} < 0$	$\varphi = \frac{\sigma_{з.}}{\sigma_{н.с.}}$	$\varphi = \frac{\sigma_{з.с. \text{ или } \sigma_{з.}}}{ \sigma_{н.с.} }$ , $\varphi = \frac{\sigma_{з.}}{ \sigma_{н.с.} }$ (то же самое)

При больших  $\sigma_{з.} \geq \sigma_{т}$  вычисление по зависи-м для изг. упругого тела будет не действ-ся, поэтому вместо  $\sigma_{з.}$  используем  $\sigma_{к-}$  - реал-н.  $\sigma$ , при кот. происх. потеря упру-гости.



Согласно Рехн. Решетри  $\varphi$  опред-ся по табл.  $\varphi = \varphi / \text{знак } \sigma_{н.с.}$ ,  $\sigma \neq 0, \sigma = 0$   
 Определив  $F_{i.}$  можно для штих. свдзсн:  
 введем-ся:  $F_{\text{ок}}'' = \sum F_i'' |И.с.| + \sum F_{\text{ок}} (з.с.)$

$$e'' = \frac{\sum F_i'' z_i}{F_{\text{ок}}''}$$

$$N_y'' = 2 \left[ \sum F_i'' z_i^2 + \sum z_i'' - e'' F_{\text{ок}}'' \right]$$

$$\sigma_i'' = \frac{M_p}{r_{y_i}''} z_i''$$

или

$$\sigma_{\text{пан}}'' = \frac{M_p}{W_{\text{пан}}''} ; W_{\text{пан}}'' = \frac{I_y''}{H - e''}$$

$$\sigma_{\text{дн}}'' = \frac{M_p}{W_{\text{дн}}''} ; W_{\text{дн}}'' = \frac{I_y''}{e}$$

$$\frac{\sigma_{\text{пан}}'' - \sigma_{\text{пан}}'}{\sigma_{\text{пан}}''} \leq \xi \text{ - допуск. } \text{порешимость}$$

$\xi \leq 0,1$  - прямой решётр

$\xi \leq 0,05$  - поперечной решётр

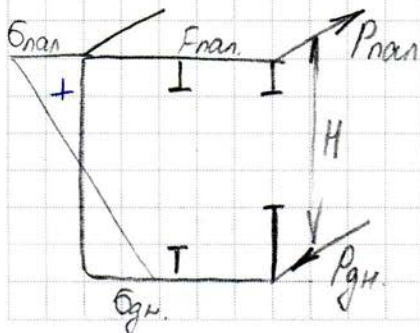
Особенности расчета напряжений в корпусах СПК

См. (стр 233-235)

Влияние Ч/Н на напряжения и деформации корпуса судна

1. Влияние Ч/Н на  $\sigma$

69



Получаем,  $\sigma_{опт} = 0$  (луч простоты), тогда

$$P_{эф} P_{гн} = P;$$

$$M = P \cdot H$$

$$P = P_{эф.} = \sigma_{эф.} F_{эф.}$$

$$\sigma_{эф.} = \frac{P_{эф.}}{F_{эф.}} = \frac{M}{F_{эф.} H}$$

$$M = M_{г.в.} + M_B$$

$$\text{где } M_{г.в.} = \frac{DL}{\mu}$$

$$M_B = 9,81 \cdot k_0 k_1 k_2 \delta h B L^2$$

$$\sigma_{эф.} = \underbrace{\left( \frac{D}{\mu} + 9,81 k_0 k_1 k_2 \delta h B L^2 \right)}_{F_{эф.}} \frac{L}{H}$$

$$\sigma_{эф.} = \mu_1 \frac{L}{H} \quad (56)$$

Т.к.  $\sigma_{эф.} < \sigma_T$ , то из (56) можно определить  $[L/H]$  - допустимое

$$\sigma_T = \mu_1 \left[ \frac{L}{H} \right]$$

$$\left[ \frac{L}{H} \right] < \frac{\sigma_T}{\mu_1} \quad (57)$$

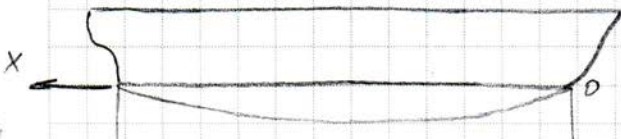
на основе (57) морской Регистр определил  $\left[ \frac{L}{H} \right] \leq 18$  - для морских судов иностран. плавания

$\left[ \frac{L}{H} \right] \leq 20$  - для морских судов алгебран. плавания (ВСП)

7.к. Для речных судов м-малые, то [L/H] ограничив-ся же прочностью, а жесткостью (или прогибом) допустим.

Для стержня [L/H] речных судов определ-ть жесткость (прогиб) корпуса судна

$$\int \int E I_y(x) \frac{d^4 W}{dx^4} = m(x) \quad \text{— диф. ур. изгиба судна}$$



$$W(x) = \int_0^x \int_0^x \frac{m(\xi)}{E I_y(\xi)} dx^2 + Bx + A \quad \left| \begin{array}{l} x=L = \xi; \quad x=0; \quad x=L \\ x = \frac{z_0}{y_0} \end{array} \right.$$

$$W(\xi) = \frac{m_0 L^2}{E I_y} \int_0^{\xi} \int_0^{\xi} \frac{m(\xi)}{m_0} \frac{y_0}{I_y(\xi)} dz^2 + B\xi + A$$

Ур. уел:  $\xi=0 \quad W=0$   
 $\xi=L \quad W=0 \quad \rightarrow \quad A=0$

$$0 = \frac{m_0 L^2}{E I_y} \int_0^1 \int_0^{\xi} \frac{m(\xi)}{m_0} \frac{y_0}{I_y(\xi)} dz^2 + B \cdot L$$

$$B = - \frac{m_0 L^2}{E I_y} \int_0^1 \int_0^{\xi} \frac{m(\xi)}{m_0} \frac{y_0}{I_y(\xi)} dz^2$$

(58)

$$W = \frac{m_0 L^2}{E I_y} \left[ \int_0^{\xi} \int_0^{\xi} \frac{m(\xi)}{m_0} \frac{y_0}{I_y(\xi)} dz^2 - \int_0^1 \int_0^{\xi} \frac{m(\xi)}{m_0} \frac{y_0}{I_y(\xi)} dz^2 \right]$$

— упрощая члены  $\int \int$  корпуса от  $m(x)$

$$W = \frac{m_0 L^2}{E I_y} f(\xi)$$

$$\bullet \quad W_{\max} = W_{\xi} = \frac{m_0 L^2}{E I_y} f(1/2) \quad (59)$$

Для морских судов:

$$f(1/k) = \frac{1}{11,4}$$

Для речных судов:

$$f(1/k) = \frac{1}{28+5}$$

0-контр. общей паллоты

В(59)  $\eta_{\Sigma} = \eta_{H \cdot E \cdot \eta_{\text{тран}}}$ , подставим в(59):

$\eta$ -контр. формы ширине

$$W_{\Sigma} = \frac{M_{\Sigma}}{11,4 E \eta_{\text{тран}}} \left(\frac{L}{H}\right)^2 \quad (60)$$

Перерез. сила несколько увеличена.  
просев судна, но эти же величины можно  
пренебречь

$$W = W(M) + W(N)$$

Ограничивая min жесткость ( $E \eta_{\Sigma}$ )  
а сферой  $W$ ,  $\eta_{\Sigma}$  (60) получим  $[L/H]$ ,  
коэффициент речн. реверту  $[L/H]_{\text{max}}$  применил.  
в завис. от класса судно. (чем легче  
классе  $M \rightarrow L$ , тем больше допуск-ся  
 $[L/H]_{H=28} \rightarrow_{H=40}$ )

Для морск. судов в наст. вр. так  
же ввод-ся огранич. на жесткость:

$$\eta_{\Sigma} \geq [9]$$

Малая жесткость судов приводит  
к очень ухудшенным условиям  
работы механизмов, возникает  
резонанс (волнов. смещения) при

$$\lambda = \frac{c}{m}$$

$\sigma_k = \lambda_1$  или  $\lambda_2$  и навмн. устойчивых разрушений (трещин). (60)

## Прочность и долговечность судовых конструкций и материалов

Определение напряжений по ф(52) не позволяет судить ни о прочносте, ни о долговечн. судна. Необходимо знать хар-ки прочности и долговечности.

Прочность - способность не разрушиться при действии на констр. однократн. жестких нагрузок величиих в эксплуатационной мере проч. явл. От днн точност-х констр-и

Долговечность - свойство конструкции сохранять опред. время целостность (прочность) при действии на констр. повторных жестких нагрузок.

Мерой долговечн. явл. время или число циклов до образования трещин. Прочн. констр. со временем уменьш-ся вследствие износа и коррозии конструкции. Исходя предпа температур связано с тем, что при статических нагрузках точност. констр. теряет устойчивость. при  $\sigma_k = \sigma_T$ ; при растяж-х  $\sigma = \sigma_T$  происходит изменение формы констр-ии.

Для крупного сост. матер. разруш.  $\sigma_k < \sigma_T$  с учетом приближ-го значения нагрузок, напряж-и прочности допуска-е и хар-тер-к напряж. процесса.

$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}$ ,  $n > 1$  - коэф. запаса

Вязкое и крупное разрушение  
судогорюснотк материалов при  
срискратнотк нагрузках

Поведен. материала при разрушении  
зависит от его природа, температур,  
скорости деформир-я и от вида и ве  
конструкци

Разрушение назыв. вязким если оно  
происходит после образования отност.  
наибольших пластич. деформации  
от действ. нагруз. нагрузки.

Крупное разруш. происх. в отсутст.  
наибольших деформации под  
действ. мороз-х нагрузок при  
скоростях разрушени, = скорости звука  
Светлота крупное разрушени, чаще  
при малых температ-х под действ.  
механич-х нагрузок, наз. хладноломкостью

$T_x$  °C  
в завис. от  $T_x$  °C стали делится на  
категории

категории	A	B	D	E	F
$T_x$	исчисл.	0°	-20°	-40°	-60°

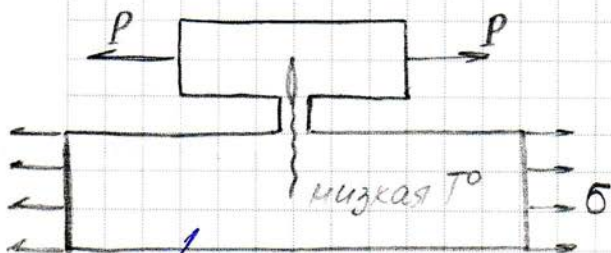
Для констр. приемлет-ся

$$|\sigma_3| < |\sigma_x|$$

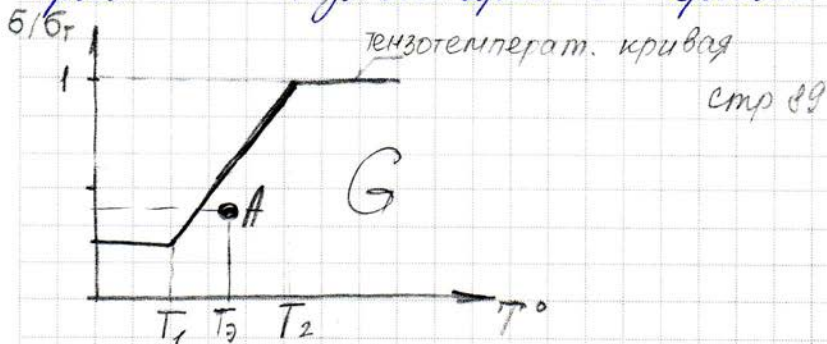
Для ответств-х констр-ий опред-ся  
такие хар-ки, показыв-е способность



констр-ши термозить трещину  
 Эта кон-ка опред-ся на основе  
 Т. Кавзава (на все расчеты)



определяется  
 на основе этих значений  
 строится температур-е кривые

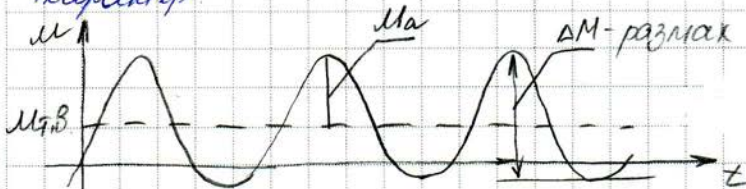


- 1.)  $A \in G$  - трещина термозится
- 1.)  $A \notin G$  - разрушение

Зар-ки некот-х матер-в (20.04.09г)  
 для температур-е кривой дана  
 в табл. 4.1 условия  
 расчетное значение для Met при  
 низких темп-х дает механика  
 разрушения; с помя критерию  
 Урбана можно опред. допуск.  
 напряжен. [5] для констр. с  
 трещиной в круглом сечен.  
 (см. стр. 89)

Устойчивое разряженное колебание при переключении конденсатора ( $\sigma_a = \text{const}$ ,  $\sigma_m = \text{const}$ )

Будем считать, что напряжение имеет характер:

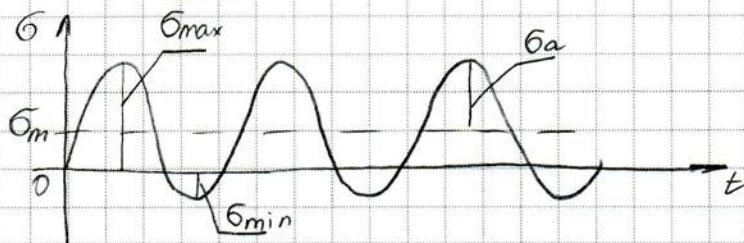


$$U = U_{ср} + U_a \cos \omega t$$

Для конденсатора

$$\sigma_m = \frac{U_{ср}}{W_{нар}} - \text{среднее напряжение}$$

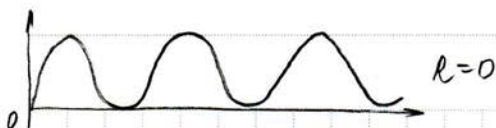
$$\sigma_a = \frac{U_a}{W_{нар}} - \text{амплитуда напряжения}$$



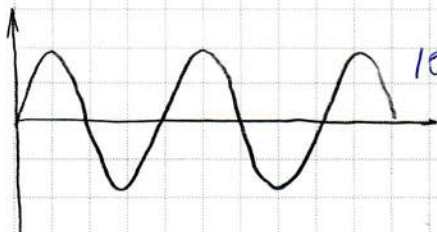
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} - \text{асимметрия искры}$$



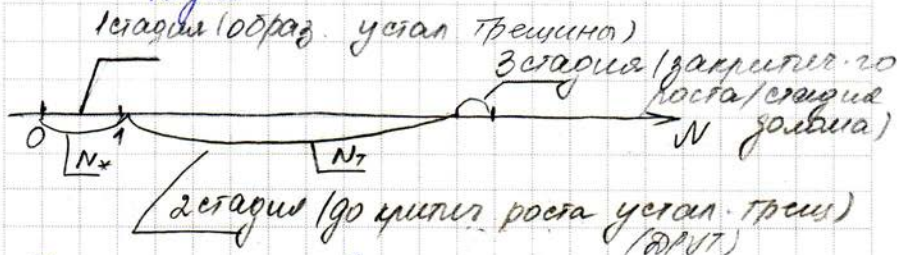
переменное напряжение



$|\sigma_{min}| = \sigma_{max}$

$R = -1$  - симметричная нагрузка

В процессе циклического процесса происходит накопление повреждений. В материале и разрушение компр-ии, кот. процесс в 3 стадии



Число циклов до разрушения:

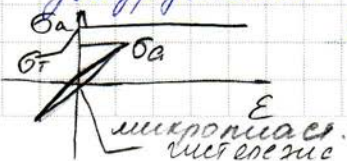
$$N_x + N_T + 1 = N_p$$

$N_x = (10...30)\% N_p$  - для точност. констр.

$$N_T = (90-70)\% N_p$$

В завис. от амплит. напряж. ба различают:

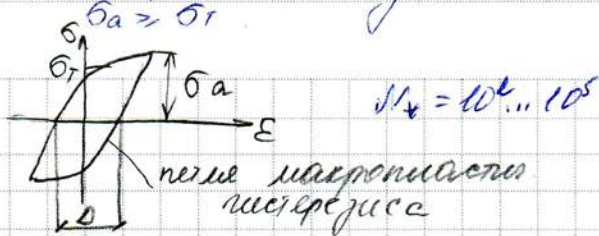
1) многоциклов. усталостное разрушение:



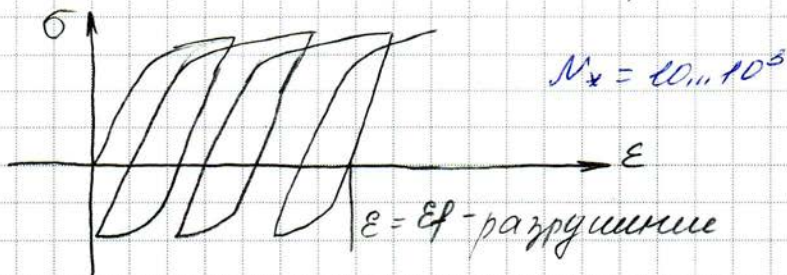
$$\sigma_a < \sigma_T$$

$$N_x = 10^4 \dots 10^8$$

2. Малоцикловое усталостное разрушение



3. Квазистатическое циклическое разрушение

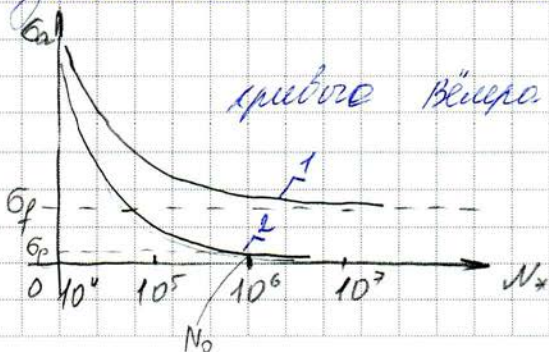


Многоцикловое усталостное разрушение по стадии образования трещины  $N_x$  при регулярном напряжении ( $\sigma_a = \text{const}$ )

$\sigma_a = \text{const} < \sigma_T$

$\sigma_m = \text{const}$

Определим зар-к от многоцикл. деформ. разруш. впервые начали формироваться режим и в Вейлер



- 1 - для малоуглеродистых сталей
- 2 - для цветных сплавов и высокопрочных сталей (и для малоуглерод. в коррозион. среде)

Мне кривой 1 имеют  $\sigma_f \neq 0$  - различается предел усталости

При  $\sigma_a \rightarrow \sigma_f$ ;  $N_x \rightarrow \infty$   
 $\sigma_a \leq \sigma_f$

$\sigma_f$  - хар-ка усталостной прочности.

Мне кривой 2:  $\sigma_f = 0$

Для этих мне вводятся условный предел усталости  $\sigma_R$

При  $\sigma_a = \sigma_R$ ;  $N_x = N_0$ , где  $N_0$  - базовое число циклов (в каждой отрасли свое)

Для сталей:  $N_0 = 10^6 \dots 5 \cdot 10^6$  циклов

Для АЛ-х сплавов:  $N_0 = 10^7 \dots 5 \cdot 10^7$  циклов

$\sigma_R$  - хар-ка усталостной прочности

Аппроксимация кривых 1 и 2 дает след. ур-е:

$$N_x = N_0 \left( \frac{\sigma_R}{\sigma_a} \right)^S \quad (61)$$

где  $S = 4 \dots 6$

чем выше прочность материала, тем выше  $S$

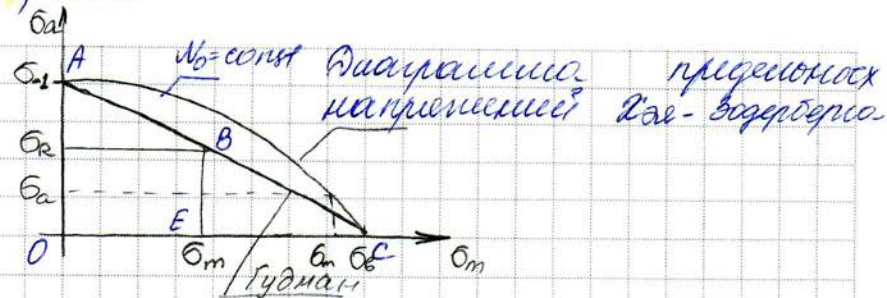
$$\frac{\sigma_R(A)}{\sigma_R(B)} = \left( \frac{\sigma_B(A)}{\sigma_B(B)} \right)^{1/2}$$

$$\sigma_A \approx 0,45 \sigma_B$$

На усталост. разрушен. констр. влияет множество физико-механет. конструкторско-технологич. и металлург. факторов.

Примем в среднем напряжении

1)  $\sigma_m > 0$



Из подобия  $\triangle BDC$   $\triangle DAC$  и  $\triangle EBC$ :

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_2 - \sigma_m} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 \left( 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_2} \right) \quad \text{— ф-ла Гудмана} \quad (62)$$

$$\sigma_m = 0,5\sigma_2$$

Для точек-х констр-и судна исполз. ф-лу Гудмана:

$$\sigma_2 = \sigma_1 \left( 1 - \nu, \frac{\sigma_m}{\sigma_2} \right) \quad (63)$$

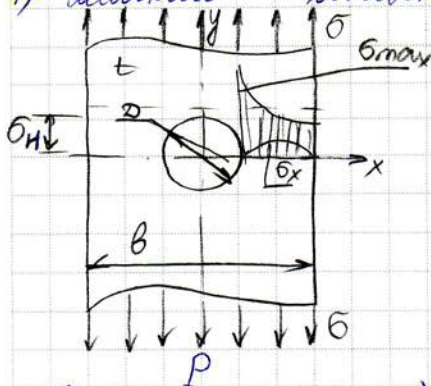
$\nu$  — коэф. безопасности  $\sigma_m$   
 $\nu_1 = 0,5 \dots 0,6$

Подставим (63) в (61):

$$N_x = N_0 \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_a} \right)^s \left( 1 - \nu, \frac{\sigma_m}{\sigma_2} \right)^s \quad (64)$$

$$N_x = N_x(\sigma_a, \sigma_m)$$

- см. стр. 92-93
- 2) Физический фактор - внешние частоты напряжений
  - 3) Внешние виды напряем. состояния
  - 4) Внешние концентраторы напряжений



$$P = \sigma b t = \sigma_n (b - D) t$$

$$\sigma_n = \frac{P}{t(b-D)}$$

- В концентраторе: 1) возникает  $\sigma_{max}$   
 $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} = K_t$  - теорет. коэф-т концентрации напряжений (материал идеального упругий)
- 2) возникает неравномерность (неравномерн. состояние)  $\sigma_y$
  - 3) Вместо линейного напряем. состоян. образ-ся НДС  $\sigma_y \neq 0, \sigma_x \neq 0, \sigma_{xy} \neq 0$   
 Величина  $K_{\sigma} = \frac{\sigma_{\sigma x}}{\sigma_n}$  назыв. эффективной коэф-т концентрации напряжений  
 $K_{\sigma} > 1, \sigma_{\sigma x}$  и  $\sigma_{\sigma y}$  - условные пределы усталости для гладкого и с концентратором образцов материала.  
 $\sigma_{\sigma x} < \sigma_{\sigma y}$

$$N_x = N_0 \left( \frac{\sigma_{\sigma x}}{\sigma_a} \right)^s \quad (65)$$

-ур-е Вейера для концентратора

$$\sigma_{\sigma x} = \frac{\sigma_{\sigma}}{K_{\sigma}} \quad (66)$$

Подставим (66) в (65), получим:

$$N_x = N_0 \left( \frac{\sigma_e}{k_e \sigma_a} \right)^s$$

где  $\sigma_e = \sigma_{-1} (1 - \nu) \frac{\sigma_m}{\sigma_b}$  подставим:

$$N_x = N_0 \left( \frac{\sigma_{-1}}{k_e \sigma_a} \right)^s \left( 1 - \nu \frac{\sigma_m}{\sigma_b} \right)^s \quad (67)$$

$$N_x = N_x(\sigma_a, \sigma_m, k_e)$$

Пирсон получил ур-е связи:

$$k_e = 1 + q_\sigma (k_e - 1) \quad (68)$$

где  $q_\sigma$  - коэф-т чувствительности материала к концентрации  $\sigma$

$$0 \leq q_\sigma \leq 1$$

не чувств. / чувств.

$q_\sigma \approx 0,7$  - ст. малой и средн. прочности

$q_\sigma = 0,5$  - НВ

Формула (68) справедлива для ст.  $k_e^{\text{нр}} = 4$  для ст. и сплавов  $k_e^{\text{нр}} = 7$

Ст. 3:  $\sigma_T = 235 \text{ МПа}$

$\sigma_{-1} = 160 \text{ МПа}$

$D \gg \delta \Rightarrow k_e = 3$

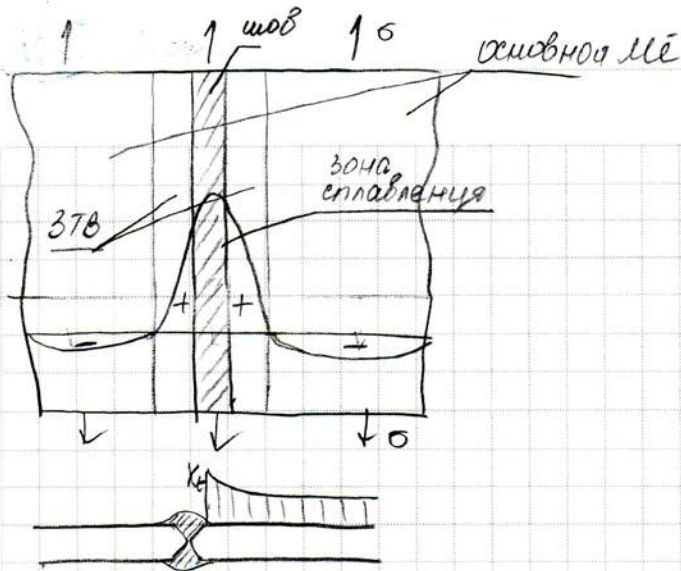
$k_e = 1,4$

5) Внешние сварки

Сварка имеет большое технолог. преимущ., но от. много недостатков:

1. Создает монолитность конструкции
2. Сложнее после затв-х сварочных напряжений
3. Возник. концентраторы напряжений
4. В зоне в окрестности сварки (зона сплавления) в зоне термич. влияния (ЗТВ) возник. много микро- и макро дефектов





Сварное соединение приводит к снижению прочности конструкции из-за концентрации напряжений.

Ст. 3.

$\sigma_{-1} = 160 \text{ МПа}$

при автоматич. сварке:

$\sigma_{-1} = 100 \text{ МПа}$

при ручной сварке:

$\sigma_{-1} = 70 \text{ МПа}$

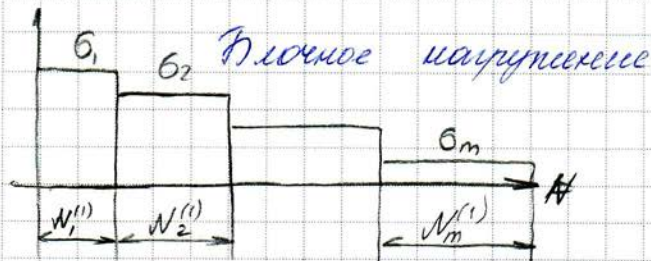
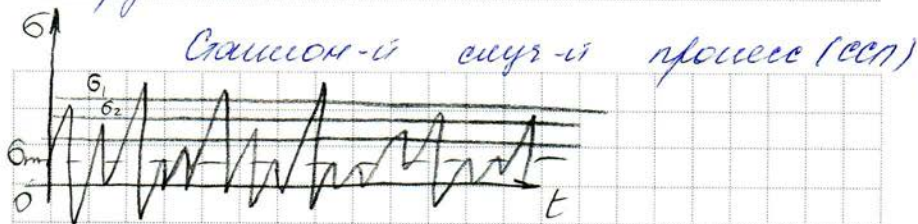


6) Типичные уровни напряжений  $\sigma_a > \sigma_t$ , см. стр 95

Снижение долговечности конструкции при переменном нагружении.

Формула (67) позволяет определить число циклов до разрушения при постоянной  $N_0$  при постоянных  $\sigma_a$  и  $\sigma_m$ . При эксплуатации конструкции действует переменное напряжение в каждом цикле.

напряжения



$N_i^{(1)}$  - число циклов в единицу времени напряжением  $\sigma_i$

Требуется для данного плочного напряжения определить  $N_x$  или  $t_x$  (время до образования трещины) для формирования крит. наибольшего повреждения при плочном нагружен. всегда сущ-е аналогия;

1. В кач-ве меры повреждения возмем величину  $\theta$  / разрушение, плотность дислокаций и среднекро. трещин и т.д.)
2. Числовое образование трещины:

$\theta(N_x) = \theta_x$  - критическое повреждение

3. Для плочного нагружения критерий записывается:

$$\sum_{i=1}^m \theta_i = \theta_x$$

(69)

где  $\theta_i = \theta_{ai} \cdot N_i$  от  $\theta_i$  (70)  
 $\theta_{ai}$  - амплитуда колебаний за  
 1 цикл от  $\theta_i$   
 $N_i = N_i^{(n)} t_x$  - общее число циклов за  $t_x$   
 (до образования трещины)

$$N_i = N_i^{(n)} t_x \text{ от } \theta_i \quad (71) \quad (22.04.09)$$

При  $\theta_i = \text{const}$  до  $t_x$  числ. колебаний:

$$\theta_{ai} N_{xi} = \theta_* \quad (72)$$

$N_{xi}$  - число циклов до образования трещины от  $\theta_i$

(70) заменим по (72), получим:

$$\frac{\theta_i}{\theta_*} = \frac{N_i}{N_{xi}}$$

$$\theta_i = \frac{\theta_* \cdot N_i}{N_{xi}} \quad (73)$$

(73) в (69):

$$\sum_{i=1}^m \theta_* \frac{N_i}{N_{xi}} = \theta_*$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{N_i}{N_{xi}} = 1 \quad (74)$$

- критерий образования усталостной трещины по критерию - Майнера (крит. линейного накоплен. повреждений)  
 (крит. (74) в (74)):

$$\sum_{i=1}^m \frac{t_x N_i^m}{N_{xi}} = 1$$

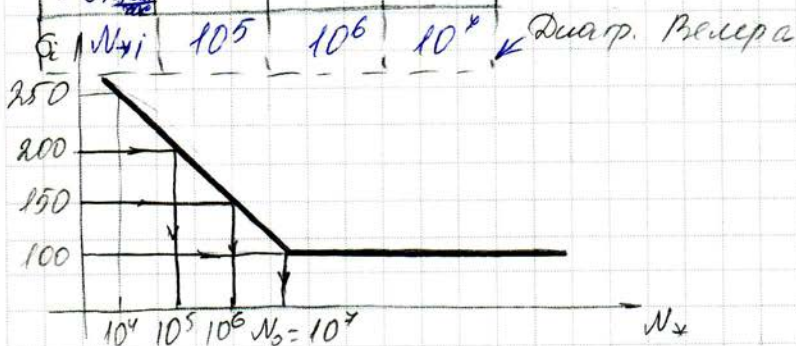
$$t_x = \frac{1}{\sum_{i=1}^m N_i^m / N_{xi}} \quad (75)$$

145) - Время до образования усталостной трещины (ресурс)

Задача: найти ресурс  $t_k$  если на данной момент действ в группе маркшеймел:

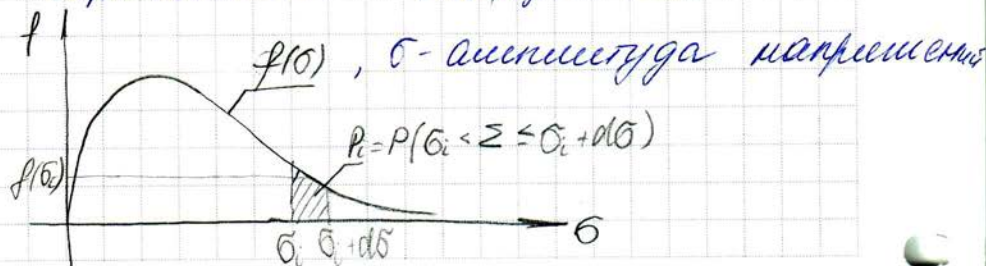
$N$	1	2	3
$\sigma_{i, \text{MPa}}$	200	150	100
$N_{i, \text{числ}}$	10	$10^2$	$10^4$

стр 98.



$$t_k = \frac{1}{\frac{10}{10^5} + \frac{100}{10^6} + \frac{10^4}{10^7}} = \frac{1}{10^{-4} + 10^{-4} + 10^{-3}} = 833 \text{ часа}$$

Определение ресурса конструкцией при статистической случайности переменной маркшеймел



$$P_i = f(\sigma_i) d\sigma$$

$$P_i = \frac{N_i}{N_{\Sigma}} = f(\sigma_i) d\sigma_i \quad (76)$$

Известно, что констр. цепочка имеет  $N_{\Sigma}$  циклов напряжений разного уровня до образования трещины  $t_x$   
 $N_i$  - число циклов уровня  $\sigma_i$  за  $t_x$   
 $P_i = \frac{N_i}{N_{\Sigma}}$

$$N_i = N_{\Sigma} f(\sigma_i) d\sigma_i \quad (177)$$

(177) в (174), переходим от суммирования к интегрированию:

$$N_{\Sigma} \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{f(\sigma) d\sigma}{N_x(\sigma)} = 1 \quad (178)$$

- критерий образования усталостной трещины  
 Пусть  $T_c$  - средний период циклов (178) умножим на  $T_c$ :

$$T_c N_{\Sigma} \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{f(\sigma) d\sigma}{N_x(\sigma)} = T_c t_x$$

Учитывая, что  $T_c N_{\Sigma} = t_x$  - время до образования трещины, получим:

$$t_x \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{f(\sigma) d\sigma}{N_x(\sigma)} = T_c$$

$$t_x = \frac{T_c}{\int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{f(\sigma) d\sigma}{N_x(\sigma)}} \quad (179)$$

Пусть  $N_x(\sigma) = N_0 \left( \frac{\sigma-1}{\sigma} \right)^S$  - Вейсбер

$f(\sigma) = \frac{\sigma}{d\sigma} e^{-\sigma^2/2d\sigma^2}$  - Релеев

$$\sigma_{\min} = \sigma_{-1} ; \quad \sigma_{\max} = \infty$$

$$t_x = \frac{T_c \cdot N_0}{\int_{\sigma_{-1}}^{\infty} \frac{\sigma}{d\sigma} e^{-\sigma^2/2d\sigma^2} \left( \frac{\sigma}{\sigma-1} \right)^S d\sigma}$$

Возьмем:  $\frac{d\sigma}{d\sigma} = dx$ ;  $\frac{\sigma}{d\sigma} = x$ ;  $\frac{\sigma-1}{d\sigma} = x_0$

$$t_x = \frac{T_c \cdot N_0 \cdot x_0^s}{\int_{x_0}^{\infty} x e^{-x^{1/2}} x^s dx}$$

$$t_x = \frac{T_c \cdot N_0 \cdot x_0^s}{\int_{x_0}^{\infty} x^{s+1} e^{-x^{1/2}} dx} = A(x_0, s)$$

Тогда получим:

$$t_x = A(x_0, s) T_c N_0 \left(\frac{\sigma-1}{d\sigma}\right)^s \quad \text{— время до отказа, установленное}$$

$A(x_0, s)$  — функция табулирована  
 где  $d\sigma$  — функция, зависящая от возм. волнов.  
 $d\sigma = d\sigma(h_{20\%})$

Потому что (180) справедливо при  $t_{x_0} = \text{const}$   
 $\Delta t < t_x$  —

Стабильн. нагрузочн. ( $m_0 = \text{const}$ ,  $d\sigma = \text{const}$ )

В ур. (180) учесть коэффициент напряжен. Касс  
 среднее напряжение  $m_0$

$$t_x = A(x_0, s) T_c N_0 \left(\frac{\sigma-1}{K_c d\sigma}\right)^s \left(1 - \nu \frac{m_0}{1.6\sigma}\right)^s \quad (81)$$

(81) — подошма (6\*) для детерм. нагружения  
 (81) опред-т надежность корпуса судна  
 при стабильн. нагружении

Оценка усталостной надежности  
 при нестационарном (эксплуатационном)  
 нагружении.

В эксплуат. условиях судно подвергается  
 воздействию различных волн за  
 время  $T_x$  образуется усталостная трещина  
 при эксплуат. нагружении.

Для нестационар. нагружения критерий  
 (74) запишем в виде:

$$\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_{xi}} = 1$$

(82) — крит. образ-е трещины при нестационар. нагружен.

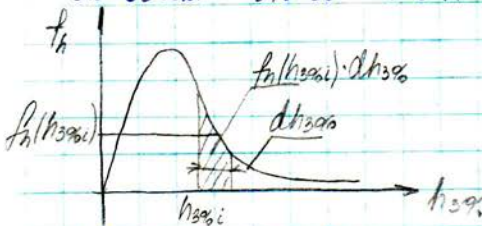
$t_i$  - время распространения сигнала по волновому

каналу

$t_{\text{ext}(S)}$  где  $d_0 = d_0(h_{3\%})$

лучше всего гандбейн. распределен. вероятн

Объем 3% вероятности



Вероятн. нахождения сигнала на высоте  $h_{3\%}^i$  равна  $P_i$

$$P_i = \frac{t_i}{T_*} = f_n(h_{3\%}^i) dh_{3\%}$$

$$t_i = T_* \int f_n(h_{3\%}) dh_{3\%} \quad (83)$$

(83)  $\rightarrow$  (82); переходим от суммы к интегралу:

$$T_* \int_0^{h_{3\%}^{\max}} f_n(h_{3\%}) dh_{3\%} = \frac{T_c N_0 \left( \frac{\sigma-1}{K_e} \right)^s \left( 1 - \nu, \frac{m\sigma}{\sigma_a} \right)^s}{A(\bar{x}_0, S) \left( \frac{\sigma-1}{K_e d_0(h_{3\%})} \right)^s} \stackrel{!}{=} 1 \quad (84)$$

Из (84) получаем:

$$T_* = \frac{T_c N_0 \left( \frac{\sigma-1}{K_e} \right)^s \left( 1 - \nu, \frac{m\sigma}{\sigma_a} \right)^s}{\int_0^{h_{3\%}^{\max}} d_0^s(h_{3\%}) f_n(h_{3\%}) dh_{3\%}} \quad (85)$$

Вспомогательный интеграл, который зависит от среднего:

Вспомогательный интеграл  $S$ :

$$I = \int_0^{h_{3\%}^{\max}} d_0^s(h_{3\%}) f_n(h_{3\%}) dh_{3\%}$$

Обозначим:  $\int_0^{h_{3\%}^{\max}} d_0^s(h_{3\%}) f_n(h_{3\%}) dh_{3\%} \stackrel{!}{=} d_0^s$  - приведенный сигнал на высоте  $h_{3\%}$

Тогда (85) запишем:

$$T_* = A_c(\bar{x}_0, S) T_c N_0 \left( \frac{\sigma-1}{K_e d_0^s} \right)^s \left( 1 - \nu, \frac{m\sigma}{\sigma_a} \right)^s \quad (86)$$

- достоверность приема сигнала при

$$T_c = \frac{2T}{1.5} = \frac{2T}{1.5 \pi \cdot 0.1 \lambda} = \left( \frac{2T \lambda}{0.15} \right)^{1/2}$$

Принимаем  $\lambda = L$  тогда

$$1) T_c = \left( \frac{\lambda \pi L}{g} \right)^{1/2} \quad (87)$$

Из (87) и (86) следует, что чем больше длина судна, тем больше его долговечность.

2)  $T_* = \min$  для судов  $L = 120-130$  м при  $M_0 = M_0 (Q = 10^{-3})$

3) При увеличении концентрации напряжений  $K_e$  на 10% при  $S = 6$ ,  $T_*$  уменьшается в 2,5 раза.

4) Считая констр. концентрац.  $K_e$  и сверхвал.  $K_e$  мож. увеличиваем  $T_*$  и число трещин в конце срока службы

Принимаем срок службы  $[T] = 24$  года, критерий усталостной прочности  $T_* > [T]$  - крит. усталостной прочности (88)

27.04.09г. Направление общего удара в  
настройке  
стр 65-67 СМ.

Критерий общей прочности корпуса

В наст. вр. основным критер. общей прочности корпуса кор. авт.-сл.:

1) Крит. усталостной прочности  
Приведен в морском Регистре

2) Крит. статической прочности  
Приведен в морском и Регистре

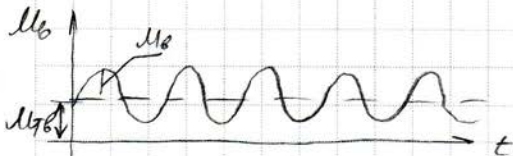
3) Крит. в кружной прочности корпуса  
Нет в Регистре



# Критерий эксплуатационной прочности

Это выполнение параметра остат. в корпусе массового образ-я усталостных трещин.

Этот критерий формулир. в предполож., что циклич. разруш. корпуса явл. стахиомакнети. при том в кач-ве амплитуды. напряж. момента  $M_b = M_b(Q = 10^{-3})$



Крит. усталост. прочности записов:

$$\sigma_a^3 \leq \sigma_R \quad (89)$$

где  $\sigma_a^3$  соответствует  $M_b(10^{-3})$

$\sigma_R = \sigma_{-1}(1 - \nu) \frac{\sigma_m}{\sigma_B}$  - усталост. прочность

$$\sigma_a^3 = \frac{M_b(Q = 10^{-3})}{W_{min}} \quad (90)$$

$$\sigma_m = \frac{M_{\tau B}}{W_{min}} > 0$$

(90) в (89):

$$\frac{M_b(10^{-3})}{W_{min}} \leq \sigma_{-1}(1 - \nu) \frac{M_{\tau B} \cdot \sigma_B}{W_{min}}$$

$$\frac{M_b(10^{-3}) + \sigma_{-1} \nu \frac{1}{\sigma_B} M_{\tau B}}{W_{min}} \leq \sigma_{-1} \quad \text{- крит. усталост. прочности корпуса} \quad (91)$$

Морской Регистр ф-му (91) представляется в виде:

$$\frac{K_{\sigma} M_{\sigma} + K_{\sigma B} M_{\sigma B}}{W_{min} \cdot \Delta W} \cdot 10^3 \leq [6] \quad (92)$$

(92) - крит. эквивал. прочности морских судов.

$M_{\sigma}, M_{\sigma B}$  - [кНм]

$W_{min}$  - [см<sup>3</sup>]

[6] - [МПа]

$K_{\sigma}$  - коэф. учета волнового и гребного воздействия от марсополн. шибртен.)

$M_{\sigma}$  - по ф-ле (50)

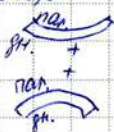
$K_{\sigma B}$  - коэф. учета влияния  $M_{\sigma B}$

$M_{\sigma B}$  - так момент по пиков. вале, возмущающий расклев. напряжение в пилске эвдвал.

связь с  $W_{min}$

$W_{min}$  - мом. сопротивления пилзой или

эвдвала с расклев-ми напряж-ми



$\Delta W$  - изменение мом. согрот. в ре-те  
серед. корпуса к середине срока

$$\Delta W \sim [7]/2$$

[6] - допуск. напряж-е, опред. по ф-ле  
морского регистра.

Т.к. для речных судов волнов. расклев. наимного бывает, чем

для морских и много шпиль вальсов. пилзой от  $M_{\sigma}$  не вогск, то

в каг. ве крит. эквивал. прочность

для мор. речн. судов исп. крит.

допуска. напряж-е:

$$|\sigma_{\max}| = [\sigma]$$

$$\text{где } \sigma_{\max} = \frac{M_{\text{гб}} + M_{\text{в}}}{W_{\text{min}}}$$

(93)

[ $\sigma$ ] - дан в региональном размере

$$[\sigma] = k \sigma_T, \quad k < 1$$

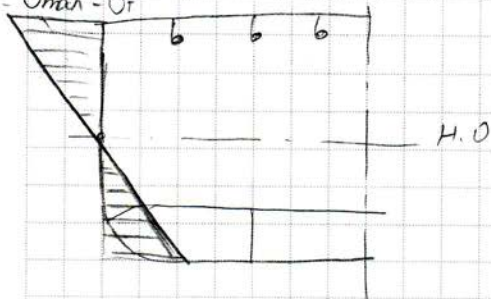
Критерий статической предельной прочности

Он вводится для оценки способности  
 корпуса судна воспринимать  
 симметричные экстремальные нагрузки  
 в продольной плоскости.  
 (Этот крит. опред. величину способн.  
 корпуса, хар-ка м-м предельной  
 прочности)

$$\{ M_{\text{в}} (Q = 10^{-8}) + M_{\text{гб}} + M_{\text{в}} \}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_{\text{min}}}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{ан}} = \sigma_T$$



$$\sigma_{\text{ан}} = \sigma_T = \frac{M_{\text{гб}}}{W_T}$$

$$M_{\text{гб}} = \sigma_T W_T$$

(94)

- предельная прочность корпуса  
 для рассматриваемых нагрузок

Для статого пояска две пачубот  
(если стата) разрушавалася при  
 $\sigma_{кр} \leq \sigma_T$  лнр запись-си:

$$M_{лр} = \sigma_{кр} W_T \quad (95)$$

Предельный момент - такой при котором  
корпус момент, кот. возрвае в  
наиб. удаленной сфере корпуса  
(пачубот) напряжении  $\sigma_{max} = \sigma_T$  где  
растяжение) или  $\sigma_{max} = \sigma_{кр}$   
поиск. решея запись- критерий  
стат. пред-и прочности в виде:

$$\frac{M_{лр}}{M_{ок}(\theta = 10^{-8}) + M_{вб} + M_{уд}} > k > 1 \quad (96)$$

коэф. запаса

(96) - крит. статич. предельная прочность  
корпуса судно.

где  $\sigma_T^H = \sigma_T^H W_T \quad (97)$

$\sigma_T^H$  - нормативн. предел текучести  
материала, учитывающей статистическую  
(крупнотность) величину  $\sigma_T$

$$\sigma_T^H = m_{\sigma_T} - 3\sigma_{\sigma_T}$$

$$\sigma_T^H = k_H \sigma_T$$

$k_H$  опре-се по формуле Фрейтера

$M_{ок}(\theta = 10^{-8})$  - теоретич. волновое момент  
по ф-ле (51)

$M_{вб} = \max M_{вб}$

$M_{уд}$  - ударный момент от шпангоута

В ф-ле (107)  $W_T = W_{min}$ , опред-и с учетом  
 редуцирования остатков свежей

$$\psi_i = \frac{\Delta w_i}{\sigma_{н.с.}}$$

Примем, опред-им т.о.:

$$W_{min} = W_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta W_T}{W_{T0}}\right) - \Delta W$$

Здесь  $\Delta W_T$  - уменьшение момента сопротивления условий-е степенями  
 устойчив. <sup>уменьшен-я</sup> прод.св-ей

$\Delta W$  - уменьш. мом. сопр-я, связан с ошибкой обшивки и уменьш. F<sub>кв</sub>.  
 (мом. живоб. бруса)

$\Delta W_T$  и  $\Delta W$  - для средняя срока службы [T]/L

Измн. мом. от шпанга:

$$M_{шп} = 0,1 M_{шп}^{дн} + M_{шп}^{орт} \geq 0,1 M_{шп} - \text{для}$$

сильнее прогиба судна

$$M_{шп} = 0,1 M_{шп} \text{ для перегиба}$$

$k = k_{min}$   $k_k$  - коэф. запаса по критерию предельной прочности

$k_{min} = 1,2$  } для прогиба ( $\sigma_{шп} < 0$ )  
 $k_k = 1$

$k_{min} = 1,3$  } для перегиба ( $\sigma_{шп} > 0$ )  
 $k_k > 1$  - опред. по ф-ле

Увеличен. кот. запаса связано с предотвращением крупных разруш-ей напруг.

Т.к. морск. суда относ. коротки, (по отношен. с ленточной) 47

для тех случаев проверки прочности при срыве. Местной проч. пределов. выполнен. прогнозы при срыве.

$$\frac{N_n}{N_{T,8} + N_{пер}} \geq 1,2 \quad \text{— крит. предельной проч. при срыве (98)}$$

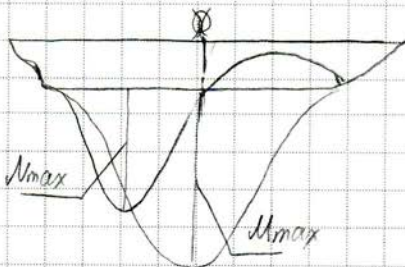
$$N_n = T \cdot S$$

$T$  — предел текуч. при срыве

$S$  — суммарная площадь элементов

бортов и продольных перегородок. При  $\sigma_T = 1/2 \sigma_{T,8}$ ;  $N_n = \frac{1}{2} \sigma_T S$  — предельная прочность срыва.

$$N_{пер} = N_{в} + N_{гор}$$



При  $b/v \geq 70\%$ ,  $b$  — ширина локоточного вогнутого, на прочность корпуса влияют крупнейшие элементы и изм. моментов в гориз. плоскости  $M_x$  и  $M_y$ .

В сущ. 1<sup>ое</sup> критерием  $M_x$  и  $M_y$  учитываются с помощью котор.  $K_{з1} > 1$ , которой водит в качестве множителя при  $M_{y1}$ :

$$K_{з1} \cdot M_{y1} (10^{-3}) \text{ в крит. (92)}$$

В сущ. крит. пред-й прочности  $M_x$  и  $M_y$  учитываются через котор.  $K_{з2} < 1$  при  $M_n$ :

$$K_{з2} \cdot M_n \text{ в крит. (96)}$$

Для ретных судов крит. статей.  
пред-ч прочности запис-ся в форме.

Для новых корпусов:

$$\sqrt{\frac{M_n}{M_n^{max} + M_e}} \geq n \quad (99)$$

Для корпусов в конце срока  
эксплуатации: [T]

$$\frac{M_n^u}{M_n^{max} + M_e} > n^* \quad (100)$$

где  $M_n = \sigma_T W_T$  или  $M_n = \sigma_{кр} W_T$

$n$  - коэф.

$n = 1,25$  для запасов, не несущих поп. нагруз.  
 $n = 1,5$  для диммера

$$M_n^u = \sigma_T W_T^u$$

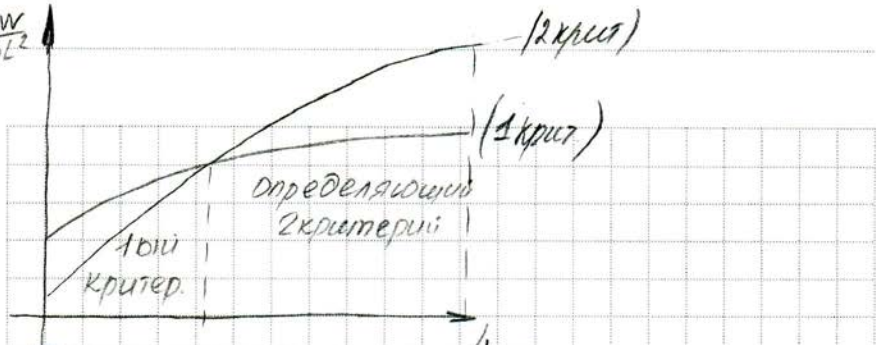
$W_T^u$  - с редуцированием, с учетом ценого  
оливики и изменений к концу  
срока службы [T]

$n^u = 1,1$  - для корпусов не несущих поп. нагруз.

$n^u = 1,25$  - для диммера

Для судов большой диммера, с  
высокими  $M_n$  и высокими  $\sigma_T$ , опреде-  
ляемыми прочностя судна критер.  
будет 2 критерия, а 1 крит. будет  
вып-ся автоматически.

$\frac{w}{bL^2}$



Для скоростных аппаратов использ-ся крит. доп-х маршей-и суда  
 $|b_{max}| \leq [b]$  - режиме суда  
 где  $[b] = 0,25 b_T$   
 $[b] = 0,35 b_T$

Для бортов скоростных судов:  
 $T_{max} < [T] = 0,57 [b]$

Для морских скоростных судов использ. еще крит. предельной прочности  
 $\frac{M_p}{T_{кр}} \geq 1,5$

Критерий общей прочности корпуса судна

Решить проблему требования к общей прочности через конструк-тивные технологич-е требования:

1)  $T_x < T_2$  - эксплуат. темп. маршевалк.

1)  $H \left( \frac{b_{max}}{b_T}, T_2 \right) \in G$   
 - на температурат. приводе

2) коэф-т концентрации в узлах конструкции не должен превышать  
 $k_e = 3$   
 $k_e$  - малого



3) контроль за трещинами:

$$l = [e] \text{ мм} \text{ - нормир-ся}$$

В паллах  $[e] = 200 \text{ мм}$  Ст-Ав-сплав

$[e] = 150 \text{ мм}$  Ст, высокопрочн. лег

Вне палл и балок  $[e] = 0,1R$  (R - вогаса балки)

$[e] = 0,075h$  - высокопр. метал

4) конструктивно-технолог. мероприятия по предотвещ. трещин (евр. стр. 184-188)

При деформации судна кромк (29.04.09)

корпуса и носового корпуса судна приворачиваю к уклонен.  $W$  могут возникнуть углы.

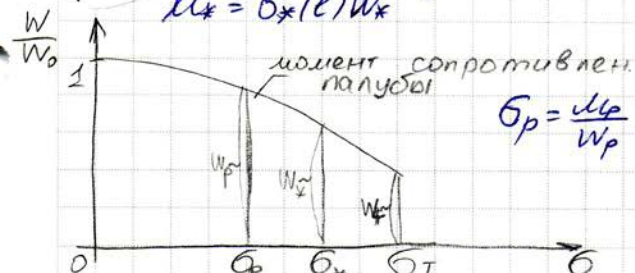
При кручении состав. материала  $T_{кр} = T_x$  разрыв. напряж.  $\sigma_x(e) < \sigma_T$

При волн-ии крив. стат. деформ. привр. прочности ( $M_p/M_p > n$ ) может произойти разрыв.

корпуса при местн-х нагрузках. Если  $M_p = M_{об} + M_{в} > 0$ , то нагрузка растяжута (с трещинами)

$n$  - разрыв-й крив. момент:

$$M_x = \sigma_x(e) W_x$$



В этом случае крив. кружк. прочности замещается:

$$\frac{M_x}{M_p} \geq n \quad (101)$$

$$M_x = M_p$$

$n_x$  - коэф. запаса прочности

$$n_x > 1$$

$$(101) \times \frac{M_x}{M_p} :$$

$$\frac{M_x}{M_p} \frac{M_p}{M_p} \geq n_x$$

Обозначим  $\frac{M_x}{M_p} = k_f$  - фактический коэф-т запаса

$$k_f = n$$

$\frac{M_x}{M_p} = k_f$  - коэф. запаса прочности  
и  $k_f$  - коэффициент запаса прочности судна, обуслов. условиями

$$dk_f \geq n_x > 1$$

$$\rightarrow n_x = dk_f$$

Реш. Пер:  $d = 0,82 \dots 0,83$  - запас на шнос  
МРС. Р W -  $\Delta W$   $n > 1,88$

$$\frac{M_x}{M_p} \geq k_{fd}$$

(102) - крит. кружкой прочности корпуса с  $e$

Представим крит. (102) в мандрем-х

$$M_x = \sigma_x(e) W_x$$

(103)

$$M_p = \sigma_p W_p$$

(103) в (102) :

$$\frac{\sigma_x(e)}{\sigma_p} \frac{W_x}{W_p} \geq k_{fd}$$

Обозначим:

$$dw = \frac{W_p}{W_x} > 1$$

$$\frac{\sigma_x(e)}{\sigma_p} \Rightarrow k_p d d w$$

(104)

- крит. крупн. прочности в напряж-х  $\sigma$   
 здесь  $\sigma_p = M_p / W_p$  известно,  $\sigma_x(e)$  - опред-ся из  
 критерия прочности

$$\sigma_x \sqrt{m(e)} \varphi_1(e) = [k] \quad (105)$$

$\varphi_1 = 1$  - для центральной трещины

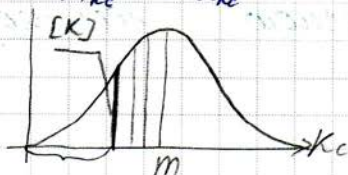
$\varphi_1 = \rho, \mu$  - для краевой трещины



$$[k] = \frac{k_e}{k_n} - \text{допускаемой кин}$$

$k_e$  - стат. трещиностойкость материала  
 $k_n > 1$  - коэф. запаса, учитыв. стохастичность

$$[k] = m k_e - 3 \sigma_{k_e}$$



$$\text{При } e = [e]: \sigma_x = \frac{[k]}{\sqrt{m(e)} \varphi_1(e)}$$

Расчет эксплуатационного ресурса  
 скоростных аппаратов

Время безопасн. эксплуатации  
 конструкции (в частности СПК) опред-ся  
 на основе одного из 3-х принци-  
 пов:

- 1) Принцип безопасного ресурса
- 2) Принцип безопасного повреждения
- 3) Принцип эксплуатации по технап. свойствам.

1) Принцип безопасного ресурса

Ресурсы определяются числом циклов нагрузки, числом моточасов, числом пробегов в км, числом тонн/км, числом тонн/перемещ.

Этот принцип применяется для констр-ии стан. опор, в кот. сполно диаметры увеличиваются. В этом принципе применяется. Должно быть до появления трещины:

$$T_{op} = \frac{T_x}{n_{op}} \quad (106) \text{ - безопасной ресурс}$$

$T_x$  - время до образования усталост. трещины (см. §5)

$n_{op} > 3 \dots 5$  - коэф. безопасного ресурса.

2) Принцип безопасного увеличения допускаемых напряжений при наличии трещин  $\sigma \leq \sigma_{et}$ , при регулярной диаметри констр-ии в этом случае:

$$T_{op} = T_x + T_1 \quad (107)$$

где  $T_1$  - время от образования трещины до разрушения

$$T_1 = \alpha T_x, \quad \alpha = 0,15 \text{ - для ст. } 09X17H7Ю$$

$$\alpha = 0,3 \text{ - для ст. } 12X18H10T$$

Учти также, что  $\alpha$  не завис. от числа циклов, размеров для трещин:

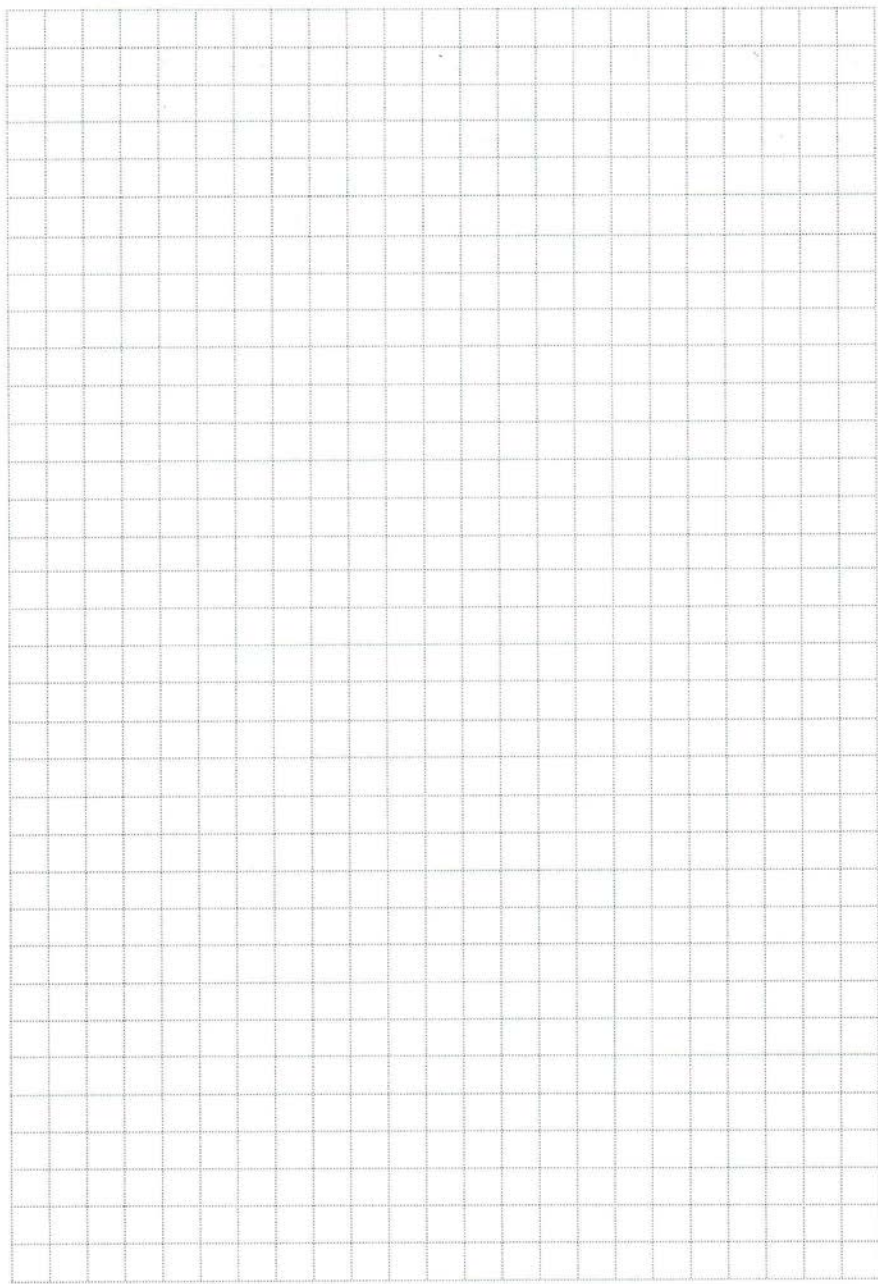
$$\Delta T = \alpha \alpha T_x \quad (108)$$

(108) в (107)

$$T_{op} = T_x (1 + 2\alpha) \quad (109)$$

3) Принцип эксплуатации по техник.  
состдан.

Ресурсы не включаются  
Он использ. для не дорожн. и  
не больш. машин и компр.-в.  
В том случае после обработки  
назначенного ресурса [7] для данн.-в  
техника. требует оценка остат.  
ресурса с учетом максим.-х  
погрешностей и разрешения.



# Задачи

4.05.09г.

20.  $[T] = (t_x) / n_{op} = T_{op}$   
 $n_{op} = 5$   
 $[T] = ?$

32. Опр. эквивал. ресурс корпуса СМК

$$T_{\text{оп}} = T_* (1 + \alpha z)$$

$$z = 3; \alpha = 0,3 \quad (\text{стр } 98)$$

3. Опр. образ-ся ли трещина в констр. кат. Испытания цемента. коэффициент. (стр 98)

$$N_1 = 10^4 \text{ ц.} \quad \sigma_1 = 200 \text{ МПа}$$

$$N_2 = 10^5 \text{ ц.} \quad \sigma_2 = 150 \text{ МПа}$$

$$N_3 = 10^7 \text{ ц.} \quad \sigma_3 = 100 \text{ МПа}$$

$$\sum_{i=1}^3 \frac{N_i}{N_{\text{кр}}} \geq 1 - \text{трещина образ-ся}$$

$$< 1 - \text{трещина не образ-ся}$$

$$\frac{10^4}{10^5} + \frac{10^5}{10^6} + \frac{10^7}{10^7} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + 1 > 1 \quad \text{трещина образ-ся}$$

38. Опр. дисперс. и стандарт. от среднего мерного волнения. (80)  
 Оп- ср. период волнен  $T$ , даны 3-и период дан того волнения (табл. 2.1. - 8,5 ÷  $n(\omega)$ )

$$\text{III} \sigma \text{ а } h_{3\%} = 8,5 \div 11 \text{ м}$$

$$h_{3\%} = 10 \text{ м}$$

$$\varphi(27) \sim 12,3 \text{ уз.}$$

$$R_T = 0,143 \left( \frac{h_{3\%}}{2} \right)^2 = 0,143 \cdot 25 = 3,575 \text{ м}^2$$

$$d_T = \sqrt{R_T} = 1,89 \text{ м}$$

$$\phi.130) T_c = 3,25 \sqrt{h_{3\%}} = 3,25 \sqrt{10} = 10,28 \text{ c}$$

$$3\text{-й период: } f(r) = \frac{\alpha}{\alpha r} e^{-r^2/2\alpha^2}$$

$$f(r) = \frac{\alpha}{1,89} e^{-r^2/2(1,89)^2}$$

24. Спр. расчеты угла. макс. первого  
судна кн. "0"

$$L = 140 \text{ м}; B = 16,5 \text{ м}; H = 5 \text{ м}; d = 0,8;$$

$$\sigma = 0,7; T_c = 3 \text{ м}; T_H = 1 \text{ м}; T_y = 15 \text{ м}; E = 2 \cdot 10^8 \text{ кПа}$$

$$\mu_0 = \mu_0^B + \mu_0^L = ?$$

$$\mu = \frac{BL}{L_0} \text{ (прототип)} \Rightarrow \mu = -80$$

$$\mu_0^L = -\frac{BL}{80}$$

$$D = LBT\sigma = 140 \cdot 16,5 \cdot 3 \cdot 0,7 = 4851 \text{ м}^2$$

$$\mu_0^B = \frac{4851 \cdot 140}{80} = -8489 \text{ м}^2$$

$$\mu_0^L = \beta \mu_0^B$$

$$\beta = \frac{1}{1 + 0,01226 \frac{BL^2}{EJ} \alpha^2} = \frac{1}{1 + 0,01226 \frac{16,5 \cdot 140^2}{2 \cdot 10^8 \cdot 15} 0,8^2} = 0,98$$

$$\text{где } \frac{L}{H} = 28$$

$$1,016578$$

$$\frac{140}{5} = 28$$

$$\mu_0^L = 0,98 \cdot 8489 = -8319 \text{ м}^2$$

$$\mu_0^B = -9,81 \cdot k_0 k_2 \sigma^2 h BL^2$$

$$\text{где } h_{3\%} = 2 \text{ м (перцепт)}$$

$$\sigma = 0,7$$

$$k_0 = 1,24 - 1,7 \frac{B}{L} = 1,04$$



$$K_1 = 0,0077 \text{ (кв "0", } L = 140 \text{ м)} \text{ табл. 2.2.110}$$

$$K_2 = 2 - 20 \frac{T_1}{L} = 1,86$$

$$M_b = -9,81 \cdot 0,04 \cdot 0,0077 \cdot 1,86 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 16,5 \cdot 140^2 =$$

$$= -66156,7 \text{ кНм}$$

$$M_p = -8319 + (-66156,7) = -74475 \text{ кНм}$$

20. Определить морск. судна волнов.

морской  $M_b (10^{-5})$

$$L = 120 \text{ м} \quad \alpha_1 = 0,96$$

$$B = 16 \text{ м} \quad \underline{M_b (10^{-5}) = ?}$$

$$T = 7 \text{ м}$$

$$d = 0,85$$

$$M_b (10^{-5}) = \alpha_0 \alpha_1 K_1 / d h_1 (10^{-5}) B L^2$$

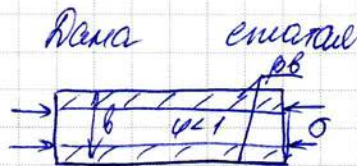
$$K_1(d) = 0,65d - 0,17 = 0,38$$

стр 16  $\alpha_0 = (1,3 - 2 \frac{B}{L}) (0,65 - 2,1 \frac{T}{L}) = 0,55$

$$h_1 (10^{-5}) = 5,9 \text{ м}$$

$$M_b (10^{-5}) = 0,55 \cdot 0,96 \cdot 0,38 \cdot 5,9 \cdot 16 \cdot 120^2 =$$

$$= 272000 \text{ кНм}$$



плита

стальной

пластина

морск. судно

$$t = 8 \text{ мм}$$

$b = 0,5 \text{ м}$  | прод. сест. нап.

$$\sigma = -300 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_T = 400 \text{ МПа}$$

Определить величину  $\Delta F$ , обусловленную деформацией пластины при  $F_{\text{вн}}$ .

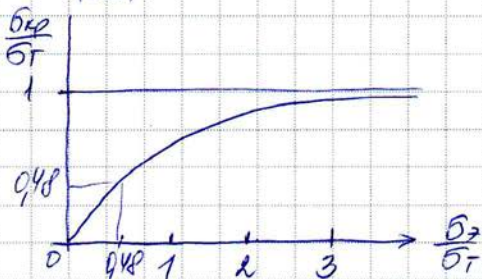
$$F_p = E [2\beta B + 4(B - 2\beta B)]$$

$$\beta = 0,2 \quad d = 1$$

$$\frac{\Delta F}{Bt} = F - F\varphi \quad - ?$$

$$\Delta F = Bt - F\varphi$$

$$\varphi = \frac{\sigma_{np}}{B_{cr}}; \quad \sigma_{\tau} = 76 \left( \frac{100t}{B} \right)^2$$



$$\sigma_{\tau} = 76 \left( \frac{100 \cdot 8}{500} \right)^2 = 194 \text{ МПа}$$

$$\frac{194}{500} = 0.48 \quad \sigma_{np} = 194 \text{ МПа}$$

$$\varphi = \frac{194}{300} = 0.65$$

$$F_{\varphi} = 8 [2 \cdot 0.2 \cdot 500 + 0.65 (500 - 2 \cdot 0.2 \cdot 500)]$$

$$F_{\varphi} = 8 \cdot 500 [0.4 + 0.65 (1 - 0.4)]$$

$$F_{\varphi} = 3160 \text{ мм}^2 \quad \begin{matrix} 0.79 \\ \hline 0.39 \end{matrix}$$

$$\Delta F = 8 \cdot 500 - 3160 = 840 \text{ мм}^2$$

11. Опн. шв и Nв режущего сдвига

$$\sigma = 0.75; \quad B = 16 \text{ м}; \quad L = 180 \text{ м}; \quad T_H = 2 \text{ м};$$

$$H = 5 \text{ м}; \quad d = 0.8; \quad E = 2 \cdot 10^5; \quad F_H = 1.5 \text{ м}^2$$

Опн-мб: эмпирику прогиба сдвига  
опн шв

$$N_b = \frac{4 \text{ шв}}{L}$$

Средняя промеха:

$$W_{max} = \frac{\mu_0 L^2}{\epsilon_0 \mu (80 + 5)} \quad (59)$$

27. Опре-ть  $\frac{\mu_x}{\mu_r}$  - част. маг. для макс. сузна где  $\mu_x$  и  $\mu_r$  опре-ся по ф. Свасана

$$\mu_x = k_x h L B^2$$

$$\mu_r = k_r h T B^2$$

Если ег  $L = 130 \text{ м}$ ;  $b = 16 \text{ м}$ ;  $T = 7 \text{ м}$ ;

$$k_x = k / 1000; \quad k = K \times L \times 2, \quad \frac{1}{b} = 10/16 = 0,8 \text{ по таб. 14.2}$$

$$k_r = 1/5^2$$

$$27 \cdot 10^3$$

Стр 398

$$\frac{\mu_x}{\mu_r} = \frac{\pi^2 \cdot 0,027 \cdot B^2}{TL} = (90\%)$$

Опре-ть гол. коэф. концентрации судового узо.  $[K_e]$  если предельная долговечн.  $N_0 = 5 \cdot 10^4$  ч. при ресурсе. нацир. с  $\sigma_a = 40 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_m = 100 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_b = 300 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{-1} = 80$ ,  $N_0 = 5 \cdot 10^6$  ч,  $S = 4$ ;  
 $q = 0,7$ ;  $\psi = 0,6$

$$N_x = N_0 \left( \frac{\sigma_{-1}}{K_e \sigma_a} \right)^S (1 - \psi) \left( \frac{\sigma_m}{\sigma_b} \right)^S$$

$$K_e = 1 + q / (K_e - 1)$$

$$K_e = ?$$

$$5 \cdot 10^4 = 5 \cdot 10^6 \left( \frac{80}{K_e \cdot 40} \right)^4 (1 - 0,6) \left( \frac{100}{300} \right)^4$$

$$(10^{-2})^{1/4} = \frac{80}{40 K_e} (\dots)$$

$$[K_e] = 2 \left( 1 - 0,6 \frac{100}{300} \right)^4 \frac{1}{(10^{-2})^{1/4}}$$

$$[K_e] = 1 + 0,7 [K_e] - 1 \Rightarrow [K_e] = \frac{K_e - 1 + 0,7}{0,7}$$

28. Составим доминирующую 2<sup>х</sup> компоненту  $(N_{x1}/N_{x2})$  при бинар. марковском процессе ( $\sigma_a = \text{const}$ )  
 $\sigma_a \approx N_0, (1-\nu) \frac{\sigma_m}{\sigma_0}, S(z), q(-0,7),$  - бинар.

$$\frac{N_{x1}}{N_{x2}} = \frac{N_0 \left( \frac{\sigma_{-1(1)}}{k_{z(1)} \sigma_a} \right)^S \left( 1 - \nu, \frac{\sigma_m}{\sigma_0} \right)^S}{N_0 \left( \frac{\sigma_{-1(2)}}{k_{z(2)} \sigma_a} \right)^S \left( 1 - \nu, \frac{\sigma_m}{\sigma_0} \right)^S} = \left( \frac{\sigma_{-1(1)} k_{z(2)}}{k_{z(1)} \sigma_{-1(2)}} \right)^S$$

$$\frac{N_{x1}}{N_{x2}} = \left( \frac{\sigma_{-1(1)}}{1 + 0,7(k_{z(1)} - 1)} \right)^S / \left( \frac{\sigma_{-1(2)}}{1 + 0,7(k_{z(2)} - 1)} \right)^S = \dots$$

$$\sigma_{-1(1)} = 70, \quad \sigma_{-1(2)} = 100$$

$$k_{z(1)} = 3, \quad k_{z(2)} = 2$$

Дир-ть маркш. в палео и гинце  
 речн. суфра класс. "л", если  
 $\sigma_y = 6 \text{ м}^2, H = 5 \text{ м}, e = 2 \text{ м}, M_y = -2,5 \cdot 10^5 \text{ Нм},$   
 $\sigma_r = 295 \text{ МПа}$

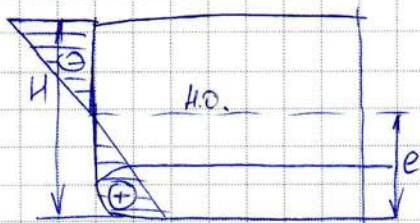
$\sigma_{max}, \sigma_{gr}$  и проверка прочности - ?

$$|\sigma_{max}| \leq [\sigma] = k \sigma_r, \quad k \rightarrow \text{по решетку.}$$

табл. стр 36-37

$$k_{max} = 0,65$$

$$k_{gr} = 0,6$$

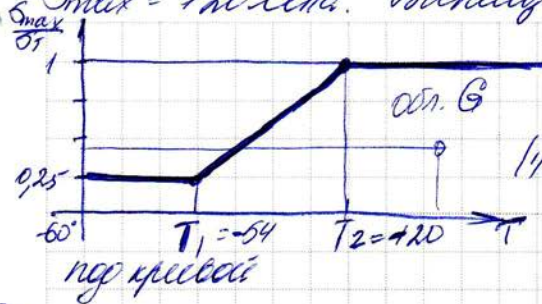


$$\sigma_{max} = \frac{M_p}{W_{nan}}; \quad \sigma_{gr} = - \frac{M_p}{W_{gr}}$$

$$W_{nan} = \frac{J_y}{H - e}; \quad W_{gr} = \frac{J_y}{e}$$

$$\sigma_c = \frac{M}{J_y} Z_i$$

Запрещается ли трещина? В ст09ГД  
 если диаметр, тешен  $T_{max} = -10^\circ C$   
 $\sigma_{max} = 180 \text{ МПа}$ . Воспал. температур. кривая



ст 89  
 1000 ч. 4.1  
 $(\frac{\sigma_{max}}{\sigma_T}, T_2)$   
 0.4 -106

15) Проверить прочность проволочного  
 стержня диаметром  $d = 395 \text{ МПа}$   
 $W_p = 3 \text{ м}^3$ , на поверхности есть пол. трещ.  
 $M_0 = 3,5 \cdot 10^5 \text{ кНм}$ ,  $M_0 = \pm 6 \cdot 10^5 \text{ кНм}$ .

$\frac{M_p}{M_0} \geq n$

$M_p = \sigma_T W_p$ ;  $M_p = M_0 + M_{00} = 9,5 \cdot 10^5 \text{ кНм}$   
 $n = 1,5$  (1,35 - поверхность, если нет пол. трещ)

Проверить круп. прочн. стержня, если

$\sigma_{max} = 150 \text{ МПа}$   
 $d = 0,85$

$K_{\sigma} = 1,35$  (для поверхности по диаметру)

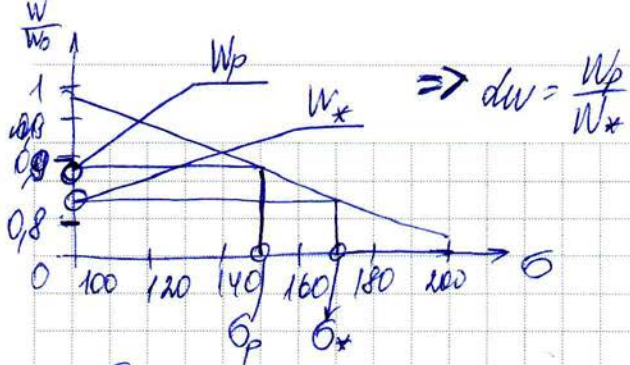
$K_{\sigma}^x = 160 \text{ МПа/мм}$  (коэф. крупн. трещины)

$[e] = 200 \text{ мм}$

$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max}} > K_{\sigma} d dw$  ? да  
 нет

$\sigma_x = \frac{K_{\sigma}^x}{\sqrt{e}} \sigma_y$  (кр. трещина)

$dw = \frac{W_p}{W_x}$



$$\frac{\sigma_*}{\sigma_{\text{max}}} > 1,32 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = \text{норм. потери}$$

25.05.09г. Экзамен.

9<sup>00</sup> 5106

1. теория

2. задача

Учебник! Лекции! Календаратор!

Опред. кафедры в корпусе  
ф. Лос Свободна  
Кол

Гос. экзамен

1.06.09 - 9<sup>00</sup>

29.05.09 - 14<sup>00</sup> - консультация

- I.
1. Конструкции, прочность
  2. Механика разрушен.
  3. Теория пластичн. - ползучести
  4. Ротационн. механика ПОЯМ!
- II. Задача.