

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Є. Т. БУРДУН, С. П. ГЕЙКО

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсового проектування з дисципліни
"Загальне проектування та виробництво суден із
композиційних матеріалів"

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2009

Бурдун Є.Т., Гейко С.П. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни "Загальне проектування та виробництво суден із композиційних матеріалів". – Миколаїв: НУК, 2009. – 72 с.

Кафедра конструювання та виготовлення виробів із композиційних матеріалів

Методичні вказівки містять порядок розрахунку корпусних зв'язків яхт та катерів із склопластику за Правилами Бюро Верітас.

Призначено для студентів 5 курсу спеціальності "Конструювання та виготовлення виробів із композиційних матеріалів", а також спеціальностей кораблебудівного факультету. Може бути корисним для фахівців в галузі малотоннажного суднобудування.

Рецензенти: кандидат технічних наук, доцент Забурдаєв Л.В.;
доктор технічних наук, проф. Коростильов Л.І.

Згідно з наказом ректора НУК № 08 від 09.01.2008 "навчально-методичні посібники, методичні вказівки друкуються в авторській редакції" і відповідальність за їх редагування несе автор.

Вхідні данні:

Тип судна яхта (моторна, вітрильна)

Тип моторної яхти (Моторна круїзна яхта, Спортивна моторна яхта, Прибережна моторна яхта)

Тип вітрильної яхти (Круїзна вітрильна Яхта, Спортивна вітрильна яхта, Гоночна вітрильна яхта)

Довжина судна по ватерлінії у повному завантаженні

Довжина судна максимальна L_{WL} : _____
 L_{HULL} : _____

Максимальна ширина по ватерлінії, у м B_W : _____

Осадка по вантажну ватерлінію, у м T : _____

Висота борту D : _____

Коефіцієнт загальної повноти C_B : _____

Максимальна швидкість у вузлах V : _____

Водотоннажність у повному завантаженні, у т Δ : _____

Умови навігації. Категорія A B C D

Тип армування _____

Тип сполучника _____

Метод виготовлення (Контактне формування, Вакуумна інжекція, Вакуумування препрегу)

Навантаження від такелажу

F_P : Навантаження на ахтерштаг, в кН _____

F_{V1} : Навантаження на вертикальний вант, в кН _____

F_{D1} : Навантаження на нижній вант, в кН _____

F_E : Навантаження на форштаг, в кН _____

F_{BE} : Навантаження на внутрішній штаг, в кН _____

α_i : кут від горизонту, в° _____

Горизонтальні відстані від підстави щогли до кріплення вант

L^p _____

L_{BE} _____

L_E _____

L_{D1} _____

$L_{V1}, \dots$ _____

кути напрямку вант від горизонту, в°

α_{D1} _____

α^p _____

α_{BE} _____

α_E _____

Теоретичне креслення яхти надається.

Ціль роботи – одержання студентами навичок набирання зв'язків корпусу яхти чи катера з армованих пластиків.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. В першому наближенні величину конструктивної шпаци судна можна прийняти рівною теоретичній, що використана в наданому теоретичному кресленні.

1.2. Обґрунтуванню підлягають:

- Балки подовжні та поперечні.

- Пластини непідкріпленої обшивки днища, борту та палуби.

1.3. Балки та пластини підлягають перевірці на міцність, пластини палуби та днища до того ж на стійкість.

1.4. Розрахунок слід вести методом послідовних перерахунків, до задоволення критеріїв міцності по максимальним напругам та за комплексним критерієм Цай-Ву, з урахуванням визначених коефіцієнтів безпеки. Виконання даних умов досягається варіюванням товщини обшивки (кількістю шарів армування, відстанями між балками первинного та вторинного набору, висотою балок та товщиною їх елементів – полиці, стінки).

1.5. В рамках курсового проекту перевірка загальної міцності виконується тільки на мідель-шпангоуті. Перевірка на місцеву міцність проводиться для трьох поперечних перетинів – на мідель – шпангоуті, та в перетинах, що розташовані на відстані $L_{WL}/4$ та $3/4L_{WL}$. В кожному перетині необхідно визначити розміри балок

первинного набору, вторинних балок та зовнішнього обшивання на днищі, борті та палубі.

1.6. Розрахунки зв'язків потребують визначення навігаційних коефіцієнтів, значення яких приведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1. Навігаційні коефіцієнти

Умови навігації	Навігаційні коефіцієнти n
Необмежена навігація - категорія А та В	1,00
Прибережні акваторії - категорія С	0,90
Закриті акваторії - категорія D	0,80

(відповідно до директиви ЄС)

2. ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ

№	Етап	Зміст етапу
1	Характеристики елементарних шарів	Визначення пружних характеристик елементарних шарів в місцевій системі координат, руйнуючих напруг, критеріїв руйнування
2	Параметри жорсткості пластин обшивки. Параметри жорсткості балок набору	Розробка схеми набору – системи набору, положення перебірок, розташування балок первинного та вторинного набору. Призначення в першому наближенні товщини та схеми ламінування зовнішньої обшивки днища, борту та палуби; розмірів набору. Визначення елементів матриці жорсткості панелей обшивки, згинальних жорсткостей балок первинного та вторинного набору
3	Загальні навантаження	Визначення навантажень на тихій воді, на хвилюванні, навантажень від такелажу, комбінацій загальних навантажень
4	Гідростатичні навантаження	Визначення гідростатичних місцевих навантажень на днище, борт та палубу. Визначення ударних хвильових навантажень на борт
5	Навантаження на днище від слеммінгу	Визначення інерційних параметрів руху судна - розрахункових вертикальних прискорень, ударних тисків при явищі слемінга

№	Етап	Зміст етапу
6	Зусилля в пластинах зовнішнього обшивання. Зусилля в балках набору	Визначення згинальних моментів та сил, що перерізують в пластинах зовнішньої обшивки та в балках набору від дії гідростатичних тисків, ударних навантажень на борт та навантажень від слемінгу
7	Деформації та напруги в панелях обшивки	Визначення деформацій від дії згинальних моментів в глобальних координатах, трансформація їх у власні системи координат, визначення за їх значеннями напруг. Перевірка міцності шарів за критеріями максимальних напружень та Цай-Ву
8	Напруження міжшарового зсуву	Визначення міжшарових напружень від дії сил, що перерізують, перевірка міцності за критерієм максимальних напружень зсуву
9	Деформації та напруги в балках набору	Визначення деформацій від дії згинальних моментів та сил, що перерізують в глобальних координатах, трансформація їх у власні системи координат, визначення за їх значеннями напруг. Перевірка міцності шарів за критеріями максимальних напружень та Цай-Ву
10	Розрахунок еквівалентного бруса	Визначення положення нейтральної вісі перетину мідель-шпангоуту, параметрів жорсткості поперечного перетину, деформацій в глобальних координатах та напружень у головних осях ламінату. Перевірка міцності шарів за критеріями максимальних напружень та Цай-Ву
11	Розрахунок на стійкість панелей днища та палуби	Визначення критичних напружень в панелях обшивання при стисканні та зрушенні, порівняння їх з діючими середніми напруженнями при загальному згинанні

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ШАРІВ

3.1. Позначення, використані в даному розділі, та одиниці їх вимірювання:

C_{eq} – коефіцієнт збалансованості тканини;

e – товщина елементарного шару, мм;

E_{f0}° – поздовжній модуль Юнга волокна, у МПа;

E_{f90}° – поперечний модуль Юнга волокна, у МПа;

E_m – модуль Юнга сполучника, у МПа;

G_f – модуль зсуву волокна, у МПа;

G_m – модуль зсуву сполучника, у МПа;

M_f – відносний вміст по масі волокна в елементарному шарі;

P_f – загальна маса на одиницю площі сухого армування, у г/м²;

V_f – відносний вміст по об'єму волокна в елементарному шарі;

v_f – коефіцієнт Пуассона волокна;

v_m – коефіцієнт Пуассона смоли;

ρ_f – щільність матеріалу волокна, кг/м³;

ρ_m – щільність смоли, кг/м³.

3.2. Визначення вмісту волокна по масі в кожному елементарному шарі.

$$M_f = \frac{(V_f \times \rho_f)}{(V_f \times \rho_f) + ((1 - V_f) \times \rho_m)} \quad (3.1)$$

Вміст волокна, властивості волокон та сполучників наведені в таблицях 3.1, 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.1. Вміст волокна в шарі по об'єму (в %)

Процес викладення		V_f
Контактне формування	Мат	від 15 до 20
	Рівниця	від 25 до 40
	Односпрямовані матеріали	Від 40 до 50
Вакуумна інжекція		45
Вакуумне формування препрегів		від 55 до 60

3.3. Товщина елементарного шару, у мм, визначається по формулі

$$e = (P_f \times (\frac{1}{\rho_f} + \frac{1 - M_f}{M_f \times \rho_m})) \quad (3.2)$$

Таблиця 3.2. Властивості сполучників

Властивість	Одиниця виміру	Тип сполучника		
		Поліефірна	Вінілефірна	Епоксидна
Щільність	кг/м ³	1200	1100	1250
К-т Пуассона		0,38	0,26	0,39
Модуль пружності	мПА	3550	3350	3100
Модуль зсуву	мПА	1350	1400	1500

Таблиця 3.3. Властивості волокон

	Матеріал		Скло		HS	Вуглець		
			E	R				
	Щільність кг/м³		2570	2520	1790	1750	1880	1450
Властивості	В подовжньому до волокна на-прямку	К-т Пуассона	0,238	0,2	0,3	0,32	0,35	0,38
		Модуль пружності мПА	73100	86000	238000	350000	410000	129000
	В поперечному до волокна на-прямку	К-т Пуассона	0,238	0,2	0,02	0,01	0,01	0,015
		Модуль пружності	73100	86000	15000	10000	13800	5400
	Зсув	Модуль пружності мПА	30000	34600	50000	35000	27000	12000

3.4. Пружні характеристики елементарного шару

3.4.1. Подальші розрахунки параметрів шарів вносити до таблиці 3.4.

3.4.2. Пружні характеристики односпрямованих армуючих матеріалів.

Відносна система координат для односпрямованих матеріалів показана на рис. 3.1, де:

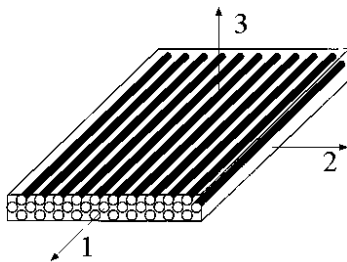
- 1 – вісь паралельна напрямку волокон;
- 2 – вісь перпендикулярна напрямку волокон;
- 3 – вісь спрямована нормально до площини осей 1 і 2.

Таблиця 3.4. Пружні характеристики елементарного шару

№ пп	Тип армування елементарного шару	Вміст волокна в шарі по масі M_f	Вміст волокна в шарі по об'єму V_f	Товщина шару e_i мм	$\bar{R}_{11}$	...	$\bar{R}_{33}$	$\bar{S}_{11}$	...	$\bar{S}_{33}$
1	2		3	4	5	6...8	9	10	11...13	14
1	Скломат									
...										
...										
...	Ткана рів- ниця									
...										
n	Односпря- моване армування									

Рис.3.1. Відносні координати для одно-
спрямованих армуючих матеріалів

- 1 – 0° : поздовжнє розташування волокна.
2 – 90° : поперечне розташування волокна.



а) модуль Юнга E_{UD1} , у МПа:

$$E_{UD1} = C_{UD1} \times (E_{f0} \times V_f + E_m \times (1 - V_f)) \quad (3.3)$$

б) поперечний модулі Юнга E_{UD2} і E_{UD3} , у МПа:

$$E_{UD2} = E_{UD3} = C_{UD2} \times \left(\left(\frac{E_m}{1 - v_m^2} \right) \times \frac{1 + 0,85 \times V_f^2}{(1 - V_f)^{1,25} + \frac{E_m}{E_{f90}} \times \frac{V_f}{1 - v_m^2}} \right) \quad (3.4)$$

в) модулі зсуву, у МПа:

$$G_{UD12} = G_{UD31} = C_{UD12} \times G_m \times \frac{1 + \eta \times V_f}{1 - \eta \times V_f}, \quad (3.5)$$

де
$$\eta = \frac{\left(\frac{G_f}{G_m}\right) - 1}{\left(\frac{G_f}{G_m}\right) + 1};$$

$$G_{UD23} = 0,7 \cdot G_{UD12} \quad (3.6)$$

г) коефіцієнти Пуассона :

$$\nu_{UD13} = \nu_{UD12} = C_{UD\nu} \times (\nu_f \times V_f + \nu_m \times (1 - V_f)) \quad (3.7)$$

$$\nu_{UD21} = \nu_{UD31} = \nu_{UD12} \times \frac{E_{UD2}}{E_{UD1}} \quad (3.8)$$

$$\nu_{UD23} = \nu_{UD32} = C_{UD\nu} \times (\nu'_f \times V_f + \nu_m \times (1 - V_f)) \quad (3.9)$$

де
$$\nu'_f = \nu_f \times \frac{E_{f90^\circ}}{E_{f0^\circ}} \quad (3.10)$$

Коефіцієнти C_{UD1} , C_{UD2} , C_{UD12} і $C_{UD\nu}$ залежать від типу волокна. Вони наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Коефіцієнти C_{UD1} , C_{UD2} , C_{UD12} і $C_{UD\nu}$

	<i>E</i> -скло	<i>R</i> -скло	Вуглець <i>HS</i>	Вуглець <i>IM</i>	Вуглець <i>HM</i>	Арамід
C_{UD1}	1	0,9	1	0,85	0,9	0,95
C_{UD2}	0,8	1,2	0,7	0,8	0,85	0,9
C_{UD12}	0,9	1,2	0,9	0,9	1	0,55
$C_{UD\nu}$	0,9	0,9	0,8	0,75	0,7	0,9

3.4.3. Пружні характеристики ткани рiвниці.

Вiдносна система координат для тканого рiвниці така ж, як i для односпрямованих з наступними значеннями iндексiв: – 1 – вiсь паралельна основi, 2 – вiсь паралельна утоку, 3 – вiсь спрямована нормально до осей 1 i 2.

Пружнi характеристики тканини в елементарному шарi розраховуються по формулах:

а) модуль Юнга в напрямку основи E_{T1} , у МПа:

$$E_{T1} = \frac{1}{e} \left(a_{11} - \frac{a_{12}^2}{a_{22}} \right) \quad (3.11)$$

б) модуль Юнга в напрямку утоку E_{T2} , у МПа:

$$E_{T2} = \frac{1}{e} \left(a_{22} - \frac{a_{12}^2}{a_{11}} \right) \quad (3.12)$$

в) модуль Юнга в поперек, у МПа:

$$E_{T3} = E_{UD3} \quad (3.13)$$

г) Модулі зсуву G_{T12} , G_{T23} , G_{T32} , у МПа:

$$G_{T12} = \frac{1}{e} a_{33}; \quad G_{T23} = G_{T31} = 0,9 \times G_{T12} \quad (3.14)$$

д) Коефіцієнти Пуассона:

$$\nu_{T12} = \frac{a_{12}}{a_{22}}; \quad \nu_{T21} = \nu_{T12} \times \frac{E_{T2}}{E_{T1}}; \quad (3.15)$$

$$\nu_{T13} = (\nu_{UD23} + \nu_{UD13}) / 2 \quad \nu_{T32} = \nu_{T31} = (\nu_{UD32} + \nu_{UD31}) / 2$$

Параметри з iндексом UD визначаються за формулами (п.3.4.2) (при цьому V_f приймається як для тканини) в МПа.мм.

$$\begin{aligned} a_{11} &= e \cdot (C_{eq} \cdot Q_{11} + (1 - C_{eq}) \cdot Q_{22}) \\ a_{22} &= e \cdot (C_{eq} \cdot Q_{22} + (1 - C_{eq}) \cdot Q_{11}) \\ a_{12} &= e \cdot Q_{12}; \quad a_{33} = e \cdot Q_{33} \end{aligned} \quad (3.16)$$

де C_{eq} – рівноважний коефіцієнт збалансованості, що дорівнює відношенню маси сухого армування в напрямку основи до загальної маси армування сухої тканини, в МПа.

$$\begin{aligned} Q_{11} &= E_{UD1} / (1 - (v_{UD12} \cdot v_{UD21})) \\ Q_{22} &= E_{UD2} / (1 - (v_{UD12} \cdot v_{UD21})) \text{ МПа} \\ Q_{12} &= (v_{UD21} \cdot E_{UD1}) / (1 - (v_{UD12} \cdot v_{UD21})) \\ Q_{33} &= G_{UD12} \end{aligned} \quad (3.17)$$

3.4.4. Пружні характеристики матів із рубаних волокон.
Прийнята гіпотеза ізотропності дає можливість оцінити тільки три пружні характеристики:

а) модулі Юнга, у МПа:

$$E_{mat1} = E_{mat2} = \frac{3}{8} \cdot E_{UD1} + \frac{5}{8} \cdot E_{UD2}; \quad E_{mat3} = E_{UD3} \quad (3.18)$$

б) коефіцієнти Пуассона для ізотропних матеріалів:

$$v_{mat12} = v_{mat21} = v_{mat32} = v_{mat13} = 0,3 \quad (3.19)$$

в) модулі зсуву, у МПа:

$$G_{mat12} = E_{mat1} / (2 \cdot (1 + v_{mat21})); \quad G_{mat23} = G_{mat31} = 0,7 \cdot G_{UD12} \quad (3.20)$$

Параметри з індексом UD визначаються за формулами (п.3.4.2) (при цьому V_f приймається як для мату).

Результати розрахунків звести в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6. Пружні характеристики шарів армування

Параметр	Односпрямовані матеріали	Тканина рівниці	Скломат
E_1			
E_2			
E_3			
G_{12}			
G_{31}			
G_{23}			
v_{13}			

Продовж. табл. 3.6

Параметр	Односпрямовані матеріали	Тканина рівницяова	Скломат
v_{12}			
v_{21}			
v_{31}			
v_{23}			
v_{32}			

3.4.5. Комбіновані тканини є послідовність таких елементарних шарів, як односпрямовані, тканої рівниці й мати з рубаних волокон. Кожний компонент аналізується відповідно типу армуючої тканини.

Мультиаксіальні тканини слід розбивати на шари, відповідно до їх конструкції, наприклад: біаксіальну на два односпрямованих, розташованих під кутом $\pm 45^\circ$.

3.4.6. Визначення елементів матриці жорсткості та податливості

Формули для визначення елементів матриці жорсткості надані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Формули для визначення елементів матриці жорсткості, МПа

	Для односпрямованих матеріалів	Для тканин з рівниці	Для матів
$\bar{R}_{11}$	$E_{UD1} / (1 - v_{UD12} \cdot v_{UD21})$	$E_{T1} / (1 - v_{T12} \cdot v_{T21})$	$E_{mat1} / (1 - v_{mat1}^2)$
$\bar{R}_{22}$	$E_{UD2} / (1 - v_{UD12} \cdot v_{UD21})$	$E_{T2} / (1 - v_{T12} \cdot v_{T21})$	$E_{mat1} / (1 - v_{mat1}^2)$
$\bar{R}_{12}$	$v_{UD21} \cdot E_{UD1} / (1 - v_{UD12} \times v_{UD21})$	$v_{T21} \cdot E_{T1} / (1 - v_{T12} \times v_{T21})$	$v_{mat1} \cdot E_{mat1} / (1 - v_{mat1}^2)$
$\bar{R}_{21}$	$v_{UD12} \cdot E_{UD2} / (1 - v_{UD12} \times v_{UD21})$	$v_{T12} \cdot E_{T2} / (1 - v_{T12} \times v_{T21})$	$v_{mat1} \cdot E_{mat1} / (1 - v_{mat1}^2)$
$\bar{R}_{33}$	G_{UD12}	G_{T12}	G_{mat12}

Формули для визначення елементів матриці податливості надані в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. Формули для визначення елементів матриці податливості, МПа

	Для односпрямованих матеріалів	Для тканин з рівниці	Для матів
$\bar{S}_{11}$	$1 / E_{UD1}$	$1 / E_{T1}$	$1 / E_{mat1}$
$\bar{S}_{22}$	$1 / E_{UD2}$	$1 / E_{T2}$	$1 / E_{mat}$
$\bar{S}_{12}$	$-\nu_{UD21} / E_{UD2}$	$-\nu_{T21} / E_{T2}$	$-\nu_{mat1} / E_{mat1}$
$\bar{S}_{21}$	$-\nu_{UD12} / E_{UD1}$	$-\nu_{T12} / E_{T1}$	$-\nu_{mat1} / E_{mat1}$
$\bar{S}_{33}$	$1 / G_{UD12}$	$1 / G_{T12}$	$1 / G_{mat12}$

Використовуючи одержані дані, заповнити таблицю 3.9.

Таблиця 3.9. Елементи матриці жорсткості та податливості, МПа

№ шару	Матеріал	$\bar{R}_{11}$		$\bar{R}_{33}$	$\bar{S}_{11}$		$\bar{S}_{33}$
1	Скломат М 450						
2	Тканина з рівниці RT -600						
3	Односпрямована тканина (або один шар мультиаксильної тканини)						

3.5. Розрахунок характеристик міцності шарів.

Руйнівні напруження індивідуального шару, що визначені для елементарного шару, розраховані в залежності від типу армування (односпрямовані, ткани рівниці, мати)

$\sigma_{br1, T}, \sigma_{br1, C}$ Теоретичні напруги руйнування, в Н/мм² відповідно при розтягуванні й стисканні індивідуального шару в напрямку 1 його місцевої системи координат;

$\sigma_{br2, T}, \sigma_{br2, C}$ – теоретичні напруги руйнування відповідно при розтягуванні й стисканні індивідуального шару в напрямку 2 місцевої системи координат, Н/мм²;

τ_{br12} – теоретичні напруги руйнування на зсув в площині симетрії індивідуального шару, в Н/мм²,

визначаються наступним чином

$$\begin{aligned} \sigma_{br1} &= \varepsilon_{br1} \times E_1 \times Coef_{res} & \sigma_{br2} &= \varepsilon_{br2} \times E_2 \times Coef_{res} \\ \tau_{br12} &= \gamma_{br2} \times G_{12} \times Coef_{res} & \tau_{br1L} &= \gamma_{br1L} \times G_{23} \times Coef_{res} \end{aligned} \quad (3.20)$$

де: E_1, E_2, G_{12}, G_{23} – пружні характеристики, визначені в таблиці 3.6.
 $\varepsilon_{br1}, \varepsilon_{br2}$ – теоретична руйнуюча деформація розтягування та стискання елементарного шару в напрямках 1 та 2 місцевої системи координат. Якщо в формулу підставляти руйнуючі деформації в процентах, то результат слід поділити на 100.

γ_{br12} – теоретична руйнуюча деформація зсуву в площині елементарного шару.

γ_{brIL} – теоретична руйнуюча деформація міжшарового зсуву в площині елементарного шару.

$Coef_{res}$ – коефіцієнт, що враховує адгезійні властивості сполучника.

Всі ці параметри наведені в табл.3.10 і табл.3.11.

Таблиця 3.10. Коефіцієнти $Coef_{res}$

Сполучник		
Поліефірний	Вінілефірний	Епоксидний
0.8	0.9	1

Таблиця 3.11. Теоретичні руйнівні напруження в армуванні, %

		Деформація		Тип армуючого волокна					
				E скло	R скло	HS вуглець	IM вуглець	HM вуглець	Ара- мід
Тип армування	Односпрямовані	Розтягування	ε_{br1}	2.7	3.1	1.2	1.15	0.7	1.7
			ε_{br2}	0.42	0.35	0.85	0.65	0.4	0.65
		Стискання	ε_{br1}	1.8	1.8	0.85	0.65	0.45	0.35
			ε_{br2}	1.55	1.1	2.3	2.3	2.1	2
		Зсув	γ_{br12}	1.8	1.5	1.6	1.7	1.8	2
			γ_{brIL13}	1.8	1.5	1.6	1.7	1.8	2
			γ_{brIL23}	2.5	1.8	1.9	1.85	1.8	2.9
	Тканини	Розтягування	ε_{br1}	1.8	2.3	1	0.8	0.45	1.4
			ε_{br2}	1.8	2.3	1	0.8	0.45	1.4
		Стискання	ε_{br1}	1.8	2.5	0.85	0.8	0.5	0.42
			ε_{br2}	1.8	2.5	0.85	0.8	0.5	0.42
		Зсув	γ_{br12}	1.5	1.5	1.55	1.6	1.85	2.3
			γ_{brIL13}	1.8	1.8	1.55	1.6	1.85	2.9
			γ_{brIL23}	1.8	1.8	1.55	1.6	1.85	2.9

Продовж. табл. 3.11

		Деформація	Тип армуючого волокна					
			E скло	R скло	HS вуглець	IM вуг- лець	HM вуглець	Ара- мід
Тип армування	Мати	Розтягу- вання	ε_{br1}	1.55	-	-	-	-
			ε_{br2}	1.55	-	-	-	-
		Стискан- ня	ε_{br1}	1.55	-	-	-	-
			ε_{br2}	1.55	-	-	-	-
		Зсув	γ_{br12}	2	-	-	-	-
			γ_{brIL13}	2.15	-	-	-	-
			γ_{brIL23}	2.15	-	-	-	-

Результати розрахунків характеристик міцності звести у таблицю 3.12.

Таблиця 3.12. Руйнівні напруги в армуванні

Деформація	Позначення	мПа		
		Односпрямовані матеріали	Тканини	Мати
Розтягуванн	σ_{br1}			
	σ_{br2}			
Стискання	σ_{br1}			
	σ_{br2}			
Зсув	τ_{br12}			
	τ_{brIL13}			
	τ_{brIL23}			

3.6. Визначення критеріїв руйнування для елементарних шарів в їх місцевій системі координат.

3.6.1. Аналіз конструкцій з композиційних матеріалів базується на коефіцієнтах безпеки, заснованих на теоретичній міцності елементарних шарів (типі сполучного, волокна, тканини), значення яких використовуються для оцінки міцності всього пакета шаруватого пластику.

3.6.2. Запаси міцності SF у кожному елементарному шарі виз-

начаються як відношення між теоретичною міцністю й прикладною напругою.

Розглядають три типи напруг, відповідно до виду навантаження волокон:

- напруги, паралельні волокну (поздовжній напрямок). Ці напруги розташовані в такий спосіб:

- у напрямку 0° для односпрямованої стрічки або тканини;
- у напрямку 0° і 90° для ткані рівниці.

- Напруги перпендикулярні до волокна (поперечний напрямок). Ці напруги розташовані в такий спосіб:

- у напрямку 90° односпрямованої стрічки або тканини.

- Напруги зсуву, паралельні волокну. Ці напруги, можуть зустрічатися у всіх типах армування.

3.6.3. Критерії руйнування.

Слід використовувати два критерії руйнування. Ці два критерії руйнування повинні бути перевірені для кожного індивідуального шару:

а) критерій максимальних напруг, що приводить до руйнування складових смола/волокно одного елементарного шару повного пакета шаруватого пластику

Як правило, мінімальний допустимий коефіцієнт безпеки, може бути виражений у такий спосіб:

$$CF = C_V C_F C_R C_I \quad (3.21)$$

де: C_V – коефіцієнт, що приймає до уваги ефект старіння композиційних матеріалів. Цей коефіцієнт приймається рівним 1,2 для шаруватих пластиків і 1,1 для заповнювача тришарової панелі;

C_F – коефіцієнт, що приймає до уваги спосіб формування й відтворюваності процесу виготовлення. Цей коефіцієнт приймається рівним 1,2 у випадку використання препрегів, 1,3 для процесу просочення під тиском, і приймається рівним 1,4 у випадку контактного формування.

Для заповнювача тришарової панелі C_F приймається рівним 1,0

C_R – коефіцієнт, що приймає до уваги тип навантаження, що сприймається волокнами армування. Як правило, цей коефіцієнт приймається рівним:

- 2,6 для напруг розтягування або напруг стискання, паралельних безперервному волокну системи армування (односпрямована стрічка або тканина, ткані рівниці);

- 1,5 для напруг розтягування або напруг стискання, перпендикулярних безперервному волокну системи армування (односпрямована стрічка або тканина);

- 2,0 для напруг зсуву, паралельних волокну в елементарному шарі й для міжшарових напруг зсуву в ламінації;

- 2,5 для напруг зсуву в заповнювачі тришарової панелі;

- 2.0 для матів, незалежно від типу навантаження

C_1 – коефіцієнт, що приймає в увазі тип зовнішніх навантажень;

C_1 – приймається рівним 1,0 для гідростатичного тиску морської води й 0,8 для ударного тиску навантажень від слемміга на днище, ударного тиск на борт.

в) комбінований критерій Цай-Ву або Гофмана, у гіпотезі плоского напруженого стану, визначений за наступною формулою:

$$\left| \frac{\sigma_1^2}{\sigma_{br1,T} \cdot \sigma_{br1,C}} + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_{br2,T} \cdot \sigma_{br2,C}} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_{br1,T} \cdot \sigma_{br1,C}} + \frac{\sigma_{br1,C} - \sigma_{br1,T}}{\sigma_{br1,T} \cdot \sigma_{br1,C}} \sigma_1 + \frac{\sigma_{br2,C} - \sigma_{br2,T}}{\sigma_{br2,T} \cdot \sigma_{br2,C}} \sigma_2 + \frac{\tau_{12}^2}{\tau_{br12}^2} \right|^{-1/2} \geq SF_{CS} \quad (3.22)$$

де: $\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}$ – місцеві напруження в індивідуальному шарі, в N/mm^2 , виражені відносно місцевої вісі.

SF_{CS} – Мінімальний припустимий запас міцності для комбінованих напруг, може бути виражений у такий спосіб:

$$CF_{CS} = 2,2 C_V C_F \quad (3.23)$$

де: C_V та C_F – коефіцієнти, визначені в (3.6.3).

Примітка: Для σ_1, σ_2 значення позитивні при розтягуванні й негативні при стисканні. Для $\sigma_{br1,T}, \sigma_{br1,C}, \sigma_{br2,T}, \sigma_{br2,C}$ значення повинні прийматися позитивними як при розтягуванні, так і при стисканні.

В розрахунках панелей обшивання на стійкість застосовується коефіцієнт безпеки CF_B

$$CF_B = 3,8 C_F$$

3.6.4. Вважається, що міцність на руйнування повного пакета

досягається, як тільки досягнута нижня межа міцності будь-якого елементарного шару.

Результати розрахунків коефіцієнтів безпеки звести у таблицю 3.13.

Таблиця 3.13. Коефіцієнти безпеки шарів ламінату

Тип внутрішніх навантажень	Шари пластику		Пінопласт	
	Гідростатичні навантаження	Ударні навантаження	Гідростатичні навантаження	Ударні навантаження
Шари з направленими волокнами				
Вздовж волокна				
Поперек волокна				
Зсув				
Мат				
-				

4. ПАРАМЕТРИ ЖОРСТКОСТІ ПЛАСТИН ОБШИВКИ

4.1. Прийняти послідовність шарів для обшивання днища, борту, палуби комбінуючи задані типи тканини, досягнувши наведеної нижче (таблиця 4.1) товщину e у першому наближенні.

Таблиця 4.1. Орієнтовні товщини обшивок

Днищове обшивання	10-36мм
Обшивання борту	8-18 мм
Палуби	6-16 мм

Примітки:

Наведені мінімальна величина – для суден довжиною 10 м, максимальна – для суден довжиною 24 м. Для заданої довжини товщини обшивок прийняти інтерполяцією

Область днища – частина корпусу, що розташована нижче ватерлінії в граничному завантаженні. Область борта – части-

на корпус, що розташована вище ватерлінії в граничному завантаженні.

Послідовність викладки шарів внести до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Пакет обшивання днища (борт, палуба, тощо)

№ шару	Матеріал	Напрямок армування град.	Товщина шару e_i , мм
1	Скломат		
2	Рівниця ткани		
3	Скломат		
4	Рівниця ткани		
5	Скломат М 450		
6	Рівниця ткани		
7	Скломат М 450		
8	Односпрямована -45^0		
9	Односпрямована 45^0		
10	Скломат М 450		
11	Рівниця ткани		
12	Скломат М 450		
13	Рівниця ткани		
14	Скломат М 450		
			Сумарна товщина

Примітки: шари 3 та 4 – складові біаксіальної тканини.

Використати прийняті в параграфі 3 данні по товщині ламінатів.

4.2. Положення елементарного шару.

Схема розташування шарів, з позначеннями, прийнятими в подальших розрахунках показана на рис. 4.1, де: AP – нейтральна площина ламінату, розташована в середині товщини ламінату

e – товщина ламінату, у мм

e_k – товщина елементарного шару k , у мм

Z_k – відстань між AP і поверхнями шарів k та $k+1$.

$$Z_k = \frac{-e}{2} + \sum_1^n e_i \quad (4.2)$$

Z_{K-1} – відстань між AP і поверхнями шарів K та $K-1$.

$$Z_{k-1} = \frac{-e}{2} + \sum_1^{n-1} e_i \quad (4.3)$$

Орієнтація між місцевою системою координат кожного шару й глобальною системою координат ламінату показана на рис. 4.2. Як правило, глобальна система координат приймається співпадаючою із системою координат судна:

X – поздовжня вісь судна (в глобальних координатах);

Y – вісь, що перпендикулярна поздовжньої осі в площині ламінату.

Примітка 1: Кут розглядається як позитивний між глобальною й місцевою системами координат.

4.3. Жорсткість та податливість всіх шарів у глобальній системі координат ламінату слід розраховувати за формулами:

$$\begin{aligned} R_{XX} &= \bar{R}_{11}m^4 + 2(\bar{R}_{12} + 2\bar{R}_{33})m^2n^2 + \bar{R}_{22}n^4 \\ R_{XY} &= (\bar{R}_{11} + \bar{R}_{22} - 4\bar{R}_{33})m^2n^2 + \bar{R}_{12}(m^4 + n^4) \\ R_{YY} &= \bar{R}_{11}n^4 + 2(\bar{R}_{12} + 2\bar{R}_{33})m^2n^2 + \bar{R}_{22}m^4 \\ R_{XZ} &= (\bar{R}_{11} - \bar{R}_{12} - 2\bar{R}_{33})m^3n + (\bar{R}_{12} - \bar{R}_{22} + 2\bar{R}_{33})mn^3 \\ R_{YZ} &= (\bar{R}_{11} - \bar{R}_{12} - 2\bar{R}_{33})mn^3 + (\bar{R}_{12} - \bar{R}_{22} + 2\bar{R}_{33})m^3n \end{aligned} \quad (4.4)$$

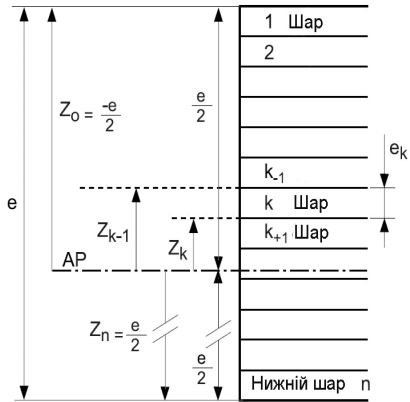


Рис 4.1. Положення елементарних шарів

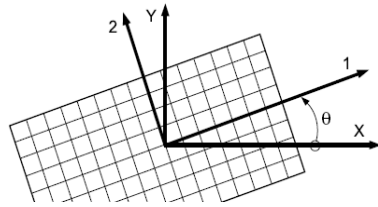


Рис 4.2. Орієнтація елементарного шару

$$\begin{aligned}
S_{XX} &= \bar{S}_{11}m^4 + (2\bar{S}_{12} + \bar{S}_{33})m^2n^2 + \bar{S}_{22}n^4 \\
S_{XY} &= (\bar{S}_{11} + \bar{S}_{22} - \bar{S}_{33})m^2n^2 + \bar{S}_{12}(m^4 + n^4) \\
S_{YY} &= \bar{S}_{11}n^4 + (2\bar{S}_{12} + \bar{S}_{33})m^2n^2 + \bar{S}_{22}m^4 \\
S_{XZ} &= (2\bar{S}_{11} - 2\bar{S}_{12} - \bar{S}_{33})m^3n + (2\bar{S}_{12} - 2\bar{S}_{22} + \bar{S}_{33})mn^3 \\
S_{YZ} &= (2\bar{S}_{11} - 2\bar{S}_{12} - \bar{S}_{33})mn^3 + (2\bar{S}_{12} - 2\bar{S}_{22} + \bar{S}_{33})m^3n \\
S_{ZZ} &= 2(2\bar{S}_{11} + 2\bar{S}_{22} - 4\bar{S}_{12} - \bar{S}_{33})m^2n^2 + \bar{S}_{33}(m^4 + n^4)
\end{aligned} \tag{4.5}$$

де $m = \cos \theta$ $n = \sin \theta$

Використовуючи отримані вище дані, заповнити таблиці за зразком табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Пакет днища (борт, палуба, тощо)

№ шару	Матеріал	Товщина шару e_i , мм	Z_K мм	$(Z_K + Z_{K-1})/2$ мм	Z_K^2 мм ²	Z_K^3 мм ³	$Z_K^2 - Z_{K-1}^2$ мм ²	$Z_K^3 - Z_{K-1}^3$ мм ³	$\bar{R}_{XX}$		$\bar{R}_{ZZ}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-20	21
1	Скломат М 450										
2	Рівниця ткани										
3	Одно-спрямована -45°										
4	Одно-спрямована -45°										
n											

Примітка: шари 3 та 4 – складові біаксіальної тканини.

Скласти аналогічні таблиці для ламінату підсиленої днищової обшивки в районі кіля (для вітрильних яхт), борту, ширстреку та палуби, тощо.

4.4. Визначення елементів матриці жорсткості пакету

A_{ij} – жорсткість при розтягуванні (матриця 3х3)

$$A_{ij} = \sum_1^n (R_{ij})_K \cdot e_K \quad (4.6)$$

B_{ij} – коефіцієнт спільної дії розтягання й згинання (матриця 3х3)

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \sum_1^n (R_{ij})_K \cdot (Z_K^2 - Z_{K-1}^2) \quad (4.7)$$

(для симетричного ламінату B_{ij} прийняти рівними нулю)

D_{ij} – жорсткість на згинання (матриця 3х3)

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \sum_1^n (R_{ij})_K \cdot (Z_K^2 - Z_{K-1}^2) \quad (4.8)$$

Розрахунок елементів матриці жорсткості в глобальній системі звести до таблиць 4.4.1–4.4.2.

Використати прийняті в таблиці 4.2 данні по товщині шарів.

Таблиця 4.4.1. Обшивка днища (борту, палуби, тощо)

№ шару	$e_i, \text{мм}$	$\bar{R}_{XX}$ e_i	$\bar{R}_{XY}$ e_i	...	...	$\bar{R}_{ZZ}$ e_i	$\bar{R}_{XX} (Z_K^2 - Z_{K-1}^2)$		$\bar{R}_{XX} (Z_K^3 - Z_{K-1}^3)$	
1	2	3	4	5	8	9	10	11-15	16	17-21
1										
2										
3										
4										
....										
n										
		A_{ij} (суми товпчиків)					B_{ij} (суми товпчиків)		D_{ij} (суми стовпчиків)	

Та в матричній формі.

Таблиця 4.4.2. Пластини днища

A_{11}	A_{12}	A_{13}	D_{11}	D_{12}	D_{13}
A_{21}	A_{22}	A_{23}	D_{21}	D_{22}	D_{23}
A_{31}	A_{32}	A_{33}	D_{31}	D_{32}	D_{33}

Скласти аналогічні таблиці для, борту та палуби, тощо.

Для тришарових пластин виконати розрахунок окремо для зовнішньої та внутрішньої оболонки.

Для подальших розрахунків розрахувати обернені матриці.

4.5. Крім того, необхідно виконати розрахунки параметрів жорсткості для панелей стінки та полки I -подібного профілю набору (шпангоутів, флорів та стрингерів). В першому наближенні прийняти їх товщину рівною половині товщини відповідної зовнішньої обшивки. Використати шари з ортогональним армуванням, або мати. Стінка та полка профілю балки в рамках роботи виконуються однаковим пакетом.

4.6. Розрахувати елементи обернених матриць A'_{ij} , D'_{ij} скориставшись правилом обернення та занести їх до аналогічної таблиці.

4.7. Визначення ваги ламінатів

Загальна вага ламінату на 1 квадратний метр, у г/м^2 , дорівнює:

$$W = \sum_1^n \frac{P_{fi}}{M_{fi}} \quad (4.9)$$

P_{fi} – маса квадратного метра сухої армуючої тканини кожного елементарного шару;

M_{fi} – вміст по масі волокна в кожному елементарному шарі, визначений в п.(3.2).

Розрахунок ваги ламінатів звести до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Вага 1 м^2 пакету (днища, борту, палуби)

№ шару	$P_{fi} \text{ г/м}^2$	M_{fi}	$W, \text{ г/м}^2$
1			
1			
2			
3			
4			
.....			
n			
			Вага 1 м^2 пакету (сума стовпчику)

4.8. Ефективні параметри ламінатів.

Ефективна жорсткість на зсув й розтягування будуть використані для розрахунку напруг мідель-шпангоуту при загальному згинанні а набору при згинанні при дії місцевих навантажень.

4.8.1. Жорсткість при розтягуванні й зрушенні.

Ефективна жорсткість ламінату на розтягування розраховується у двох головних напрямках X та Y .

У напрямку X та Y :

$$E_x = \frac{1}{(A_{11}' \times e)} \quad E_y = \frac{1}{(A_{22}' \times e)}. \quad (4.10)$$

4.8.2. Ефективна жорсткість на зсув визначається за виразом:

$$G_{xy} = \frac{1}{(A_{33}' \times e)}, \quad (4.11)$$

де A_{11}' , A_{22}' , A_{33}' елементи обернених матриць жорсткості, визначених в (4.6);

e – загальна товщина ламінату, у мм;

4.8.3. Для тришарових панелей додатково визначити E_x , E_y , V_x , V_y та G_{xy} окремо для зовнішньої та внутрішньої оболонок.

4.8.4. Крім того, необхідно виконати розрахунки для панелей стінки та полки II – подібного профілю набору (шпангоутів, флорів та стрингерів).

Результати розрахунків занести до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. Ефективні параметри жорсткості ламінатів (приклад)

Панель	E_x , мПа	E_y , мПа	G_{xy} , мПа
Днище			
Борт			
Палуба			
Стінка та полка флорів			
Стінка та полка стрингерів			
Стінка та полка шпангоутів			
Ширстрек			
Підсилення килю			
інше			

5. ПАРАМЕТРИ ЖОРСТКОСТІ БАЛОК НАБОРУ

5.1. Як правило, композитний набір включає приєднаний пасок, стінку й фланець. Всі ці частини вважаються за незалежні ламінати, що мають свої власні характеристики:

- ефективну жорсткість при розтягуванні E_x , як показано в (4.8.1), у поздовжньому напрямку набору;
- положення нейтральної осі V_x , як показано в (4.8.3);
- ширину приєданого паска, як показано в (5.2);
- ширину полки, висоту стінки (приймаються конструктивно, послідовними ітераціями до забезпечення умов міцності);
- товщину елемента e_i .

Зауваження 1: Для приєданого паска тришарової конструкції жорсткість може бути розрахована без урахування заповнювача.

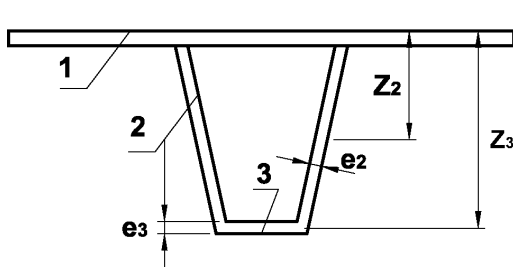


Рис. 5.1. Модель набору

Для трапецієподібного профілю прийняти товщину стінки та полиці рівною 0.05-0.1 висоти, ширину полиці – половині висоти балки.

5.2. Ширина приєданого паска, що буде використана для перевірки міцності вторинних балок набору повинна

бути отримана, у м., за наступними формулами:

• $b_p = s$ – коли приєднаний пасок простирається по обидва боки вторинної балки набору;

• $b_p = 0,5s$ – коли приєднаний пасок простирається по одну сторону балки вторинного набору (тобто балки вторинного набору, що обмежують отвори).

Ширина приєданого паска, що буде врахована при перевірці міцності рамних (первинних) балок набору, повинна бути отримана, у м., по наступних формулах:

• $b_p = \min(s; 0,2 l)$ – у місцях, де ламінат простирається по обидва боки первинної балки набору:

• $b_p = 0,5 \min(s; 0,2 l)$ – у місцях, де ламінат простирається по один бік первинної балки набору (тобто первинні балки набору, що обмежують отвори).

де s – інтервал між балками набору:

5.3. Розрахунок параметрів жорсткості балок набору.

5.3.1. Відстань до нейтральної осі набору V , у мм, розраховується як:

$$V = \sum E_{xi} \cdot S_i \cdot Z_i / \sum E_{xi} \cdot S_i \quad (5.1)$$

де: E_{xi} – жорсткість при розтягуванні кожної частини набору, у Н/мм², у поздовжньому напрямку набору;

S_i – площа кожної частини, у мм²;

$$S_i = e_i \cdot b_i$$

e_i – товщина елементу, b_i – ширина елементу;

Z_i – відстань, у мм, між зовнішньою поверхнею приєднаного паска й нейтральною віссю для кожної частини набору.

5.3.2. Жорсткість на згинання, у Н.мм²:

$$[EI] = \sum E_{xi} \cdot (I_i + S_i \cdot d_i^2) \quad (5.2)$$

d_i – відстань, у мм, між нейтральною віссю кожної частини набору й нейтральною віссю набору

$$d_i = Z_i - V \quad (5.3)$$

I_i – власний момент інерції кожної частини набору, у мм⁴.

Розрахунок проводити в табличній (табл.5.1) формі.

Таблиця 5.1. Розрахунок параметрів жорсткості балок набору

Елемент	b_i мм	e_i мм	Gxy_i МПа	E_{xi} МПа	I_i мм ⁴	S_i мм ²	$E_{xi} S_i$	Z_i мм	E_i	d_i мм	$E_{xi} S_i \cdot d_i^2$	$E_{xi} I_i$	$Gxy_i S_i$
2	3	4	5	6	7	8	9	10	14	11	12	13	
Приєднаний пасок													
Приєднаний пасок односпрямований													
Стінка						ΣI_i		ΣZ_i		Σd_i			$\Sigma Gxy_i S_i$
Полка													

Ордината центру тяжіння перетину дорівнює

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

Загальна жорсткість на згинання дорівнює

$$[EI] = \Sigma_3.$$

6. ЗАГАЛЬНІ НАВАНТАЖЕННЯ

6.1. Правила знаків згинальних моментів і сил, що перерізу-
ють, у будь-якому поперечному перерізі судна (рис. 6.1):

- вертикальний згинальний момент M позитивний, коли він викликає напруги, що розтягують, у палубі (згинальний момент, що перегинає); і негативний у протилежному випадку (згинальний момент, що прогинає);

- вертикальна сила, що перерізує Q , позитивна у випадку спрямованої вниз результуючої сили перед розглянутим перетином і спрямованої нагору за розглянутим перетином судна; ця сила негативна в протилежному випадку.

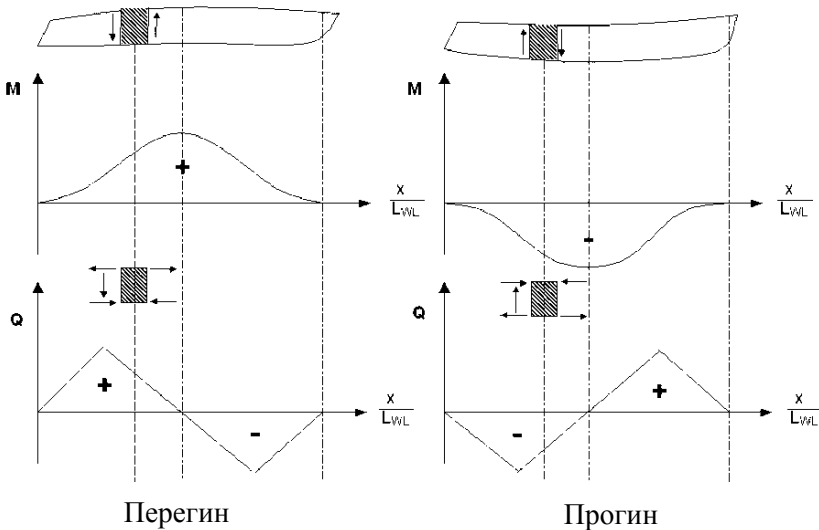


Рис. 6.1. Правила знаків для згинальних моментів і сил, що перерізу-
ють

6.2. Хвильові навантаження

Максимальну величину вертикального хвильового згинального моменту, в кН.м, і силу, що перерізує, в кН, слід отримати за наступними формулами:

$$M_{WV} = 0,156 n C_W L_W^2 B_W C_B \quad (6.1)$$

$$Q_{WV} = 0,488 n C_W L_W B_W C_B \quad (6.2)$$

де:

C_W – висота хвилі, у м;

L_W – довжина хвилі, у м.

C_B – коефіцієнт загальної повноти

Для однокорпусних яхт випадкова зустрічна хвиля (еквівалентна статична хвиля) має наступні характеристики:

• довжина хвилі L_W , у м:

$$L_W = 0,5 (L_{WL} + L_{HULL}) \quad (6.3)$$

• висота хвилі C_W , у м:

$$C_W = (118 - 0,36 L_W) L_W 10^{-3} \quad (6.4)$$

6.3. Навантаження від такелажу.

Навантаження від такелажу, що викликають прогин корпусу повинні бути розглянуті в комбінації з навантаженнями на тихій воді й хвильових загальних навантажень, як зазначено в 6.4.

6.3.1. Максимальний згинальний момент корпусу M_{RIG} , в кН.м, викликаний стоячим такелажем, є середньою величиною згинального моменту M_{RIGF} викликаного форштагом і згинального моменту M_{RIGA} викликаного ахтерштагом, та визначається наступним чином:

$$M_{RIGF} = F_E \sin \alpha_E L_E + F_{BE} \sin \alpha_{BE} L_{BE} \quad (6.5)$$

$$M_{RIGA} = M_P + M_{V1} + M_{D1} \quad (6.6)$$

де:

$$M_P = F_P \sin \alpha_P L_P \quad (6.7)$$

$$M_{V1} = F_{V1} L_{V1} \quad (6.8)$$

$$M_{D1} = F_{D1} \sin \alpha_{D1} L_{D1} \quad (6.9)$$

Символи позначені на рис. 6.2, де:

F_P – навантаження на ахтерштаг, в кН;

F_{V1} – навантаження на вертикальну ванту, в кН;

F_{D1} – навантаження на нижню ванту, в кН;

F_E – навантаження на форштаг, в кН;

F_{BE} – навантаження на внутрішній штаг, в кН;

α_{D1} , α_P , α_{BE} , α_E : – кути напрямку вант від горизонту, в $^\circ$, як показано на рис. 6.2;

L_P , L_{BE} , L_E , L_{D1} , L_{V1} : – горизонтальні відстані від підстави щогли до кріплення вант, у м, як показано на рис. 6.2.

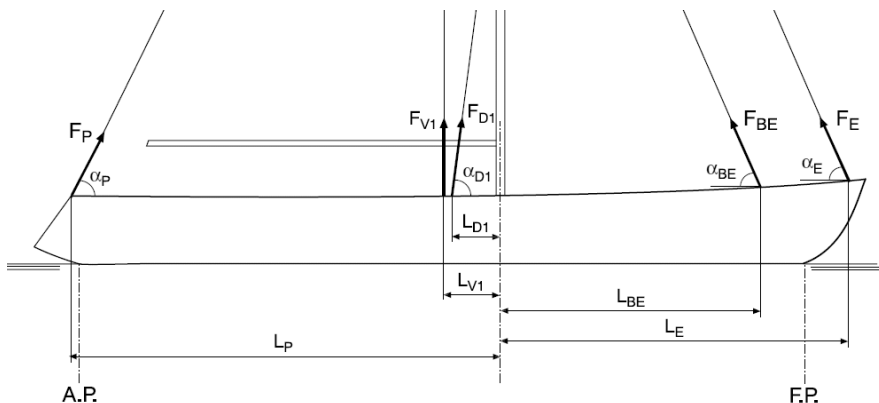


Рис. 6.2. Навантаження на корпус від дії такелажу

6.3.2. Вертикальна максимальна сила, що перерізує, Q_{RIG} , в кН, що викликана стоячим такелажем, є середньою величиною сили, що перерізує, Q_{RIGA} викликаной ахтерштагом, і сили, що перерізує, Q_{RIGF} викликаной форштагом, визначається як:

якщо одночасно завантажений форштаг і внутрішній штаг

$$Q_{RIGF} = F_E \sin \alpha_E + F_{BE} \sin \alpha_{BE} \quad (6.10)$$

$$Q_{RIGA} = Q_P + Q_{V1} + Q_{D1} \quad (6.11)$$

де:

$$Q_P = F_P \sin \alpha_P \quad (6.12)$$

$$Q_{V1} = F_{V1} \quad (6.13)$$

$$Q_{D1} = F_{D1} \sin \alpha_{D1} \quad (6.14)$$

6.4. Згинальний момент і сила, що перерізує, на тихій воді (значення й умови) мають бути визначені згідно табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Згинальний момент і сила, що перерізує, на тихій воді

Тип яхти	Згинальний момент на тихій воді	Сила, що перерізує, на тихій воді
Звичайні моторні яхти	$M_{SW} = 0,8 M_{WV}$	$Q_{SW} = 0,8 Q_{WV}$
Однокорпусні вітрильні яхти	$M_{SW} = 0,2 M_{WV}$	$Q_{SW} = 0,2 Q_{WV}$

6.5. Розподіл навантажень.

В курсовій роботі загальні навантаження визначаються тільки для міделевого перетину судна.

Для поздовжнього розподілу вертикального хвильового згинального моменту й хвильової сили, що перерізує, розподіл показано на рис. 6.3 і рис. 6.4.

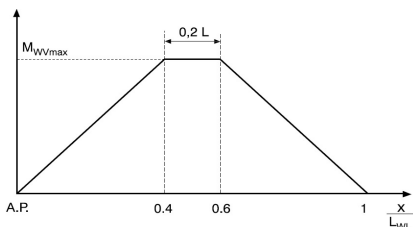


Рис. 6.3. Розподіл згинаючого хвильового моменту по довжині

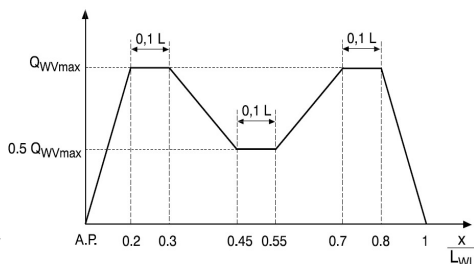


Рис. 6.4. Розподіл хвильової сили, що перерізує по довжині

6.6. Комбінації загальних навантажень (згинальних моментів і сил, що перерізають) повинні бути виконані відповідно до табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Згинальні моменти

Ситуації	Згинальні моменти (кН.м)		Вертикальна сила, що перерізує (кН.м)	
	Моторні	Вітрильні	Моторні	Вітрильні
Перегин	$M_{SW} + M_{WV}$	$M_{SW} + M_{WV}$	$Q_{SW} + Q_{WV}$	$Q_{SW} + Q_{WV}$
Прогин	$M_{SW} - M_{WV}$	$M_{SW} - M_{WV} - 0,7 M_{RIG}$	$Q_{SW} - Q_{WV}$	$Q_{SW} - Q_{WV} - 0,7 Q_{RIG}$

Заповнити таблиці 6.1 та 6.2 числовими значеннями.

7. МІСЦЕВІ НАВАНТАЖЕННЯ

7.1. Для всіх типів яхт, тиск води в будь-якій точці днища й борта, в кН/м^2 , має бути визначений за наступною формулою:

$$P_S = 9,807n \left[T + \left(\frac{C_W}{X_I} + h_2 \right) - z \right] \quad (7.1)$$

де: C_W – висота хвилі, у м;

$C_W = 10 \log(L_W) - 10$, але не менш ніж 3м

L_W – довжина хвилі рівна

$L_W = 0,5 (L_{WL} + L_{HULL})$;

X_I – коефіцієнт хвильового навантаження, визначений на рис. 7.1, і у табл. 7.1.

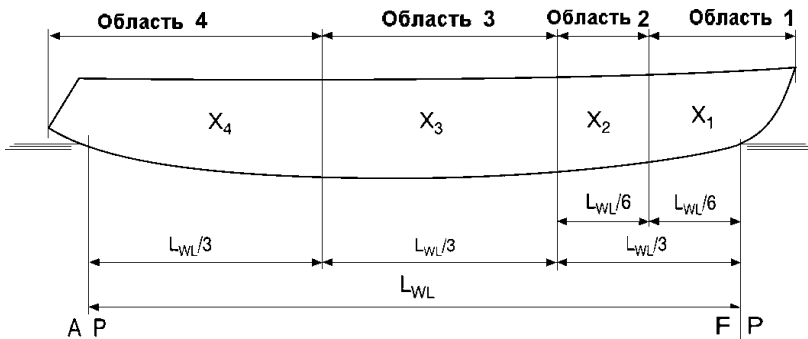


Рис. 7.1. Локальні області навантажень і коефіцієнт X_I для визначення тиску води на борти й днище

Таблиця 7.1. Коефіцієнти хвильового навантаження

Тип яхти	Область 4 (1) X_4	Область 3 (1) X_3	Область 2 (1) X_2	Область 1 (1) X_1
Однокорпусна моторна яхта	2,8	2,2	1,9	1,7
Однокорпусна вітрильна яхта	2,2	1,9	1,7	1,4

z – вертикальна відстань від точки, що розглядається до вантажної ватерлінії (рис. 7.2). Тиск на днище обчислюється при $z = 0$;

h_2 – відстань у м, для однокорпусних суден:

$$h_2 = 0$$

Результати розрахунку тиску на днище, борт та подальші розрахунки зводити до таблиці 7.2.

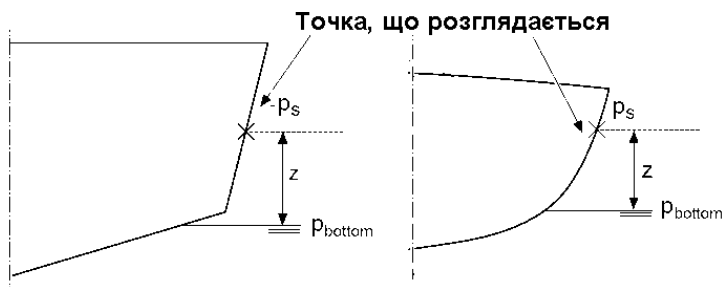


Рис. 7.2. До визначення координати z

Таблиця 7.2. Результати розрахунку місцевих навантажень

Район перетину	Положення перетину по довжині		
	$0.25L_{WL}$ та	$0.5L_{WL}$	$0.75L_{WL}$
<i>Гідрстатичні навантаження</i>			
Днище			
Борт $Z=0$			
Борт $Z=(D-T)$			
Борт $Z=(D-T)/2$			
Палуба			
<i>Ударний тиск на борт</i>			
Борт			
<i>Слеммінг</i>			
Днище	X	X	

7.2. Ударний тиск на борт.

Ударні тиски, наведені далі, необхідно розглядати, як мінімальний тиск на борт і повинні бути прийняті до уваги тільки для пластин і вторинних балок набору, розташованих на бортовому обшиванні.

У будь-якій точці борта однокорпусних яхт, ударний тиск p_{smin} , в кН/м^2 , не повинен бути меншим ніж:

- в областях 1 і 2 як визначено на рис. 7.1 (від носового пер-

пендикуляра на $L_{WL}/3$ у корму), між вантажною ватерлінією й на 1 м вище:

$$p_{smin} = 80 n K_2 \quad (7.2)$$

• в інших районах:

$$p_{smin} = 50 n K_2 \quad (7.3)$$

де: n – коефіцієнт, що залежить від навігаційного району, як зазначено в таблиці 1.1

$$K_2 = 0,455 - \left(0,35 \cdot \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right)$$

$K_2 \geq 0,50$ для пластин обшивання;

$K_2 \geq 0,45$ для балок набору, $u = 100 s / S_r$,

де S_r – питома площа, m^2 , рівна:

$$S_r = 0,7 \frac{\Delta}{T};$$

s – поверхня елементарної пластини або поверхні пластини, що підтримується балками набору, в m^2 ;

7.3. Тиск на палуби.

7.3.1. Тиск води в будь-якій точці відкритої палуби, в kH/m^2 , повинен бути не менше ніж більший з тисків, що наведений нижче й мінімального тиску наведеного в (7.3.2):

$$P_s = (p_0 - z_D 9,807) \phi_1 n \quad (7.4)$$

де: ϕ_1 – редукційний коефіцієнт, що залежить від місця розташування розглянутої палуби щодо вантажної ватерлінії: $\phi_1 = 1,00$ для палуби надводного борта;

n – навігаційний коефіцієнт;

p_0 – тиск води на днище в області, що розглядається, в kH/m^2 , обчислений згідно (7.1) при $z = 0$;

z_D – вертикальна відстань від точки палуби, що розглядається до вантажної ватерлінії.

7.3.2. Тиск наведений в (7.3.1) повинен бути не менше ніж наступний мінімальний тиск p_{dmin} , в kH/m^2 :

$p_{dmin} = 15 n \phi_1$ – в областях 1 і 2 (від носового перпендикуляра на $L_{WL}/3$ у корму);

$p_{dmin} = 10 n$ в областях 3 і 4 (в інших областях):

де: ϕ_1 і n – як визначено в (7.3.1).

7.4. Тиск на житлові палуби повинен бути не менше ніж:

$p_s = 5 \text{ кН/м}^2$, у великих приміщеннях (вітальні, кіно, ресторани, кухні, і т. Д.);

$p_s = 3 \text{ кН/м}^2$, у каютах;

$p_s = 10 \text{ кН/м}^2$, у технічних просторах і машинному відділенні.

7.5. Палуба надбудови.

Тиск на житлові відкриті й житлові палуби надбудови повинен бути не менше ніж величини, що наведені в (7.3) і (7.4).

Однак, коли відкриті палуби надбудови безпосередньо не піддані зовнішнім впливам, тиск на цю палубу повинен бути прийнятим не менше ніж:

$p_s = 5 \text{ кН/м}^2$ для палуб, доступних для пасажирів або екіпажа судна;

$p_s = 3 \text{ кН/м}^2$ для палуб, не доступних для пасажирів або екіпажа.

7.6. Тиск на вертикальні елементи надбудови

7.6.1. У будь-якій точці, розрахунковий тиск повинен бути прийнятий як тиск води відповідно до (7.6.2), але не менш ніж мінімальний тиск визначений в (7.7).

7.6.2. Розрахунковий тиск для набору зв'язків передніх стін, бічних стін і стін кормової частини надбудов і рубок, в кН/м^2 , повинен бути не менший ніж:

$$p_s = 7 \cdot a \cdot c \cdot n \cdot (b \cdot f - z_s) \quad (7.4)$$

де: a – коефіцієнт, визначений у табл. 7.3;

c – коефіцієнт, рівний:

для однокорпусних моторних яхт: $c = 0,3 + 0,7 b_i / B_i$

для однокорпусних вітрильних яхт: $c = 1,0$.

n – навігаційний коефіцієнт, визначений табл. 1;

Таблиця 7.3. Значення коефіцієнта a

Місце розташування		
Передня стінки	Перший ряд	$2,0 + L_{WL}/120$
	2-ий ряд і вище	$1,0 + L_{WL}/120$
Кормові стінки		$0,5 + L_{WL}/1000$
Бічні стінки		$0,5 + L_{WL}/150$

- b – коефіцієнт, рівний:
- в областях 1 і 2 (з переднього кінця на $L_{WL}/3$ у корму від носового перпендикуляра): $b = 1,5$;
 - в областях 3 і 4 (та у будь-якому іншому місці): $b = 1,0$;
- B_i – ширина корпусу в точці, що розглядається;
- b_i – ширина надбудови в точці, що розглядається;
- f – коефіцієнт, рівний:

$$f = -2 L_W^2 / 8000 + 0,1 L_W - 1$$

L_W – довжина хвилі, у м., як визначено в (6.2);

z – вертикальна відстань, у м, між ватерлінією й точкою, що розглядається, розташованою:

для пластин: по середині висоти елементарної пластини;

для набору: по середині прольоту.

7.7. Мінімальні тиски.

7.7.1. Як правило, розрахункові тиски, які розглядаються для набору й пластин і підтримуючих елементів надбудов не повинні бути менше мінімальних тисків p_{dmin} , наведених у табл. 7.4.

Таблиця 7.4. Мінімальні тиски

Тип стіни	Місце розташування (1)	P_{dmin} (в кН/м ²)
Незахищена передня стінка	Нижній ярус, області 1 і 2	21
	Нижній ярус, області 3 і 4	15
	Верхні ряди	10
Захищена передня стіна й бічні стінки	Нижній ярус	10
	Верхні	7
Незахищені стінки в кормовій частині	Нижній ярус, область 4	10
	Нижній ярус, області 1, 2 і 3	7
	Верхні яруси	7
Захищені стінки в кормовій частині	Скрізь	5
(1) Области I визначені в табл. 1		

7.7.2. Коли передня стіна нахилється до кормової частини, значення тисків для передніх стінок (тиск води й мінімальний тиск) можуть бути помножені на $\cos \alpha$, де α – кут між віссю Z і

прямою лінією, тангенціальною до надбудови як показано на рис. 7.3.

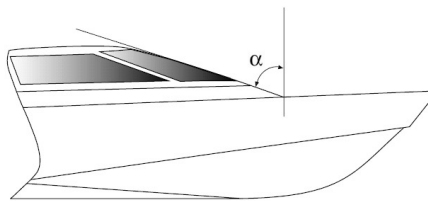


Рис. 7.3. Кутова конструкція надбудов

8. НАВАНТАЖЕННЯ НА ДНИЩЕ ВІД СЛЕМІНГА

8.1. Рух і прискорення.

Прискорення, що розглядаються – динамічне вертикальне прискорення, викликане рухом судна й приводить до явища слемінга в області днища.

8.2. Слемінг в області днища має місце на швидкісних моторних яхтах (прискорення вертикальної хитавиці) і на однокорпусних вітрильних яхтах (вертикальні коливання й прискорення кільової хитавиці).

8.3. Моторні яхти.

Ці вимоги ставляться до моторних яхт для яких $V \geq 7,16 \Delta^{1/6}$

8.3.1. Розрахункове вертикальне прискорення для моторної яхти визначається по формулі:

$$a_{CG} = f_{oc} \cdot S_{oc} \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}}, \quad (8.1)$$

де f_{oc} і S_{oc} позначені в табл. 8.1 і табл. 8.2.

Таблиця 8.1. f_{oc} для моторної яхти

Тип судна	Круїзна моторна яхта	Спортивна моторна яхта	Прибережна моторна яхта	Моторна яхта зі спеціальним устаткуванням (напр. прив'язні ремені)
f_{oc}	0,666	1,000	1,333	1,666

Таблиця 8.2. S_{oc} для моторної яхти

Умови моря / Категорія згідно Директиви ЕС	Відкрите море Категорія А	Обмежене відкрите Категорія В	Помірні умови Категорія С	Тиха вода Категорія D
S_{oc}	$0,2 + \frac{0,6}{V / \sqrt{L_W}} \geq 0,32$	0.3	0.23	0.14

8.3.2. Розрахункове вертикальне прискорення повинне бути прийняте не більше ніж величина, наведена в табл. 8.3.

Таблиця 8.3. Максимальні величини a_{CG}

Тип яхти	a_{CG}
Круїзна моторна Яхта	1,0
Спортивна Моторна яхта:	1,5
Прибережна Моторна яхта:	2,0
Моторна яхта зі спеціальним рятувальним оснащенням	2,5

8.4. Вітрильні однокорпусні яхти

8.4.1. Вертикальне прискорення, що викликане поведінкою судна в морі, зокрема вертикальною й кильовою хитами для вітрильних однокорпусних яхт a , в g , може бути обчислене в такий спосіб:

$$a_H = 2,7 f_{oc} \cdot S_{oc} \quad (8.2)$$

де f_{oc} й S_{oc} визначені в табл. 8.4 і табл. 8.5.

Таблиця 8.4. F_{oc} для вітрильної яхти

Тип яхти	Круїзна вітрильна Яхта	Спортивна вітрильна яхта:	Гоночна вітрильна яхта:
F_{oc}	0,66	1,00	1,333

Таблиця 8.5. S_{oc} для вітрильної яхти

Умови плавання	Відкрите море (1) Категорія А	Обмежене відкрите море (2) Категорія В	Помірні умови (3) Категорія С	Тиха вода (3) Категорія D
S_{oc}	0,30	0,27	0,23	0,20

8.4.2. Розрахункове вертикальне прискорення кильової хитами a , в g , у будь-якій точці по довжині судна x , може бути визначене в такий спосіб, як показано на рис. 8.1.

$$a_P = a_{PFP} \frac{X - X_K}{L_{WL} - X_K}, \text{ але не менш ніж } 0,$$

де: X_K – координата x центра ваги кіля, обмірювана від кормового перпендикуляра. Прийняти, що він розташований на відстані 4 % довжини по КВЛ в корму від міделя.



Рис. 8.1. Поздовжній розподіл прискорення кільової хитавиці

X – координата x точки обчислення, обмірювана від кормового перпендикуляра;

a_{PFP} – вертикальне прискорення кільової хитавиці на носовому перпендикулярі, рівне:

- $3 a_H$ для гоночних вітрильних яхт;
- $2,1 a_H$ для вітрильних яхт кіля з бульбою;
- $1,5 a_H$ для вітрильних яхт із плавниковим кілем;
- a_H для яхт із підйомним кілем.

8.4.3. Повне розрахункове вертикальне прискорення a_v , для визначення тиску, викликаного слемінгом повинне бути прийняте рівним:

$$a_v = a_H + a_p \quad (8.3)$$

8.5. Як правило, навантаження від слемінга повинні бути обчислені в наступних районах корпусу:

- високошвидкісні моторні яхти однокорпусного типу: область днища, від основної площини до границі днища, або скули, від транця до носового краю;
- вітрильні яхти однокорпусного типу: область днища, від основної лінії до ватерлінії по борту, і від центра ваги кіля або бульби кіля до носового краю (рис. 8.2.)

8.6. Тиск від слемінга для високошвидкісних моторних яхт однокорпусного або багатокорпусного типу в кН/м^2 , що діє на днище корпусу повинний бути не менше ніж:

$$p_{sl} = 70 \frac{\Delta}{S_r} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot a_{SG} \quad (8.4)$$

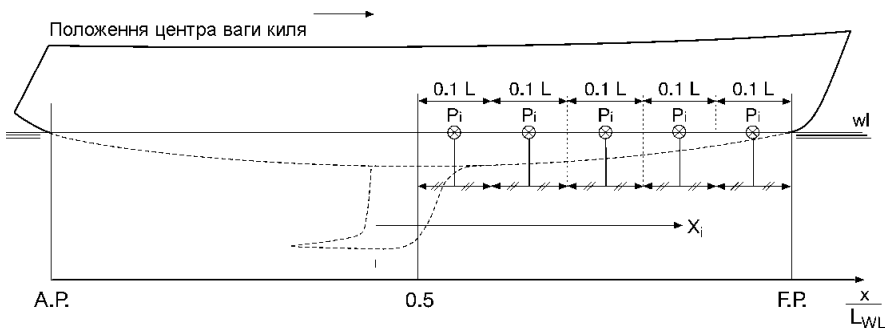


Рис. 8.2. Точки, що підлягають обчисленню навантажень від слемінга

де: Δ – водотоннажність, у тоннах;

S_r – відносна площа, в m^2 , дорівнює:

$$S_r = 0,7 \frac{\Delta}{T};$$

K_1 – коефіцієнт розподілу тиску від слемінга по довжині судна (див. рис. 8.3)

для $x/L < 0,5$: $K_1 = 0,5 + x/L$

для $0,5 \leq x/L \leq 0,8$: $K_1 = 1,0$

для $x/L > 0,8$: $K_1 = 3,0 - 2,5 x/L$

де x – відстань, у м, від у кормового перпендикуляра до навантажуючої точки;

K_2 – коефіцієнт, що враховує площу слемінга, рівний:

$$K_2 = 0,445 - 0,35 \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7}$$

$K_2 \geq 0,50$ для обшивання

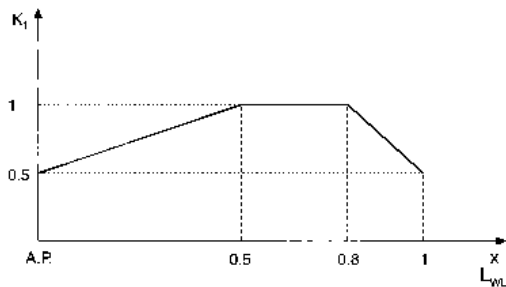


Рис. 8.3. Розподіл коефіцієнта K_1

$K_2 \geq 0,45$ для звичайних балок набору

$K_2 \geq 0,35$ для первинних балок набору

$u = 100 s / S_r$

де s – площа, в m^2 , підтримувана елементом (пластини або балки набору). Для обшивання, підтримувана площа – відстань

між балками набору помножена на довжину прольоту, не приймаючи для останнього більше чим трикратну відстань між балками набору;

K_3 – коефіцієнт, що враховує форму й кілюватість корпусу, рівний:

$$K_3 = (50 - \alpha_d) / (50 - \alpha_{dCG}) \leq 1,$$

де α_{dCG} – кут кілюватості, у градусах, обмірюваний у центрі ваги (LCG), і α_d – кут кілюватості, у градусах, у перетині, що розглядається

Значення, прийняті для α_d й α_{dCG} повинні бути в інтервалі між 10° і 30° .

α_{CG} – розрахункове вертикальне прискорення в центрі ваги (LCG), визначене в (8.3.).

8.7. Тиск від слемінга для вітрильних яхт однокорпусного типу на днище корпусу в кН/м^2 повинен бути не менше ніж:

$$p_{sl} = 70 \frac{\Delta}{S_r} K_2 \cdot K_3 \cdot a_V \quad (8.5)$$

де: Δ – водотоннажність, у тоннах;

S_r – відносна площа, в m^2 , дорівнює:

$$S_r = 0,7 \frac{\Delta}{T}$$

де K_2 – коефіцієнт, що враховує площу слемінга, рівний:

$$K_2 = 0,445 - 0,35 \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7},$$

$K_2 \geq 0,50$ для обшивання

$K_2 \geq 0,45$ для звичайних балок набору

$K_2 \geq 0,35$ для первинних балок набору

$u = 100 s / S_r$;

де s – площа, в m^2 , підтримувана елементом (пластини або балки набору). Для обшивання, підтримувана площа – відстань між балками набору помножена на довжину прольоту, не приймаючи для останнього більше ніж трикратну відстань між балками набору;

K_3 – Коефіцієнт, що враховує форму й кілюватість корпусу, рівний:

$$K_3 = (50 - \alpha_d) / (50 - \alpha_{dCG}) \leq 1$$

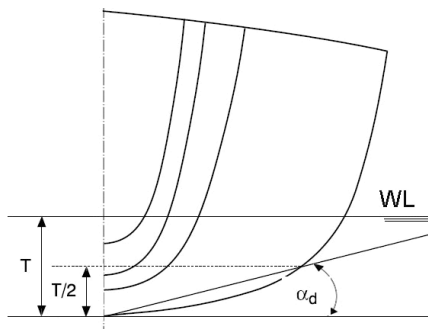


Рис. 8.4. До визначення кута кілюватості

де α_{dCG} – кут кілюватості, у градусах, що вимірюється у центрі ваги (LCG), і α_d – кут кілюватості, у градусах, між горизонтальною лінією й відносною прямою лінією, як показано на рис. 8.4, у розглянутому поперечному перерізі; значення, прийняте для α_d не повинне приймати-ся більше ніж 50° ;

a_V – розрахункове вертикальне прискорення визначене, як сума прискорення кільової й вертикальної хитавиці (8.4.3).

9. РОЗРАХУНКИ НАВАНТАЖЕНЬ В ПЛАСТИНАХ ЗОВНІШНЬОГО ОБШИВАННЯ

9.1. Загальні положення.

9.1.1 Шаруваті пластики повинні бути досліджені, беручи до уваги тип поперечного тиску:

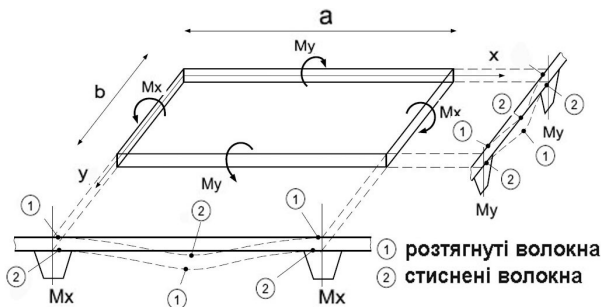
- у випадку гідростатичних навантажень визначених в 7.1 (для днища, борта, палуб): як визначено в (9.2);
- у випадку навантажень від слемінга як визначено в параграфі 8 (для шаруватих пластиків днища): плюс як визначено в попередньому випадку, з урахуванням п. (9.3).
- у випадку ударного тиску на борти, як визначено в 7.2 (для борта): як визначено в першому випадку, з урахуванням п. (9.4).

Бічний тиск розраховується посередині пластини, якщо не зазначено особливо.

9.1.2. Товщини пластин зовнішнього обшивання повинні бути розраховані розглядом елементарної пластини, укладеної між балками вторинного набору й рамними зв'язками.

9.2. Шаруваті пластики під гідростатичними навантаженнями.

Рис. 9.1. Схема навантаження пластини



9.2.1. Кожну сторону панелі шаруватого пластику розглядають, як жорстко затиснену.

9.2.2. Абсолютна величина моментів M_x і M_y , які показані на рис. 3, та викликані бічним тиском, є відповідно моментом у середині сторони "b" і моменту в середині сторони "a". Вони повинні бути визначені, в кН.м в розрахунку на 1 метр ширини, по наступним формулам:

$$\left| M_x = D_{11} \cdot A \cdot p_s \cdot \frac{10^{-6}}{8a^2} k_{s,x} \right| \quad (9.1)$$

$$\left| M_y = D_{22} \cdot A \cdot p_s \cdot \frac{10^{-6}}{8b^2} k_{s,y} \right|$$

Примітка 1: знаки моментів повинні бути визначені в порядку, що визначає зони тиску й розтягання панелі під бічним тиском, як показано на рис. 9.1

де: A – параметр, у м, отриманий за наступною формулою:

$$A = \frac{\beta \cdot a^4 10^6}{7D_{11} + 4(D_{12} + 2D_{33})\alpha^2 + 7D_{22}\alpha^4}$$

a – сторона панелі в напрямку X , у м.;

b – сторона панелі в напрямку Y , у м.;

α – відношення сторін, $\alpha = a/b$;

D_{11} , D_{12} , D_{22} , D_{33} – загальні згинальні коефіцієнти матриці жорсткості, як визначено в (4.6), в Н.мм²/мм.

Примітка 2: Ці коефіцієнти повинні бути розраховані для шаруватих пластиків відносно головних осей X і Y .

p – місцевий тиск, в кН/м², визначений в параграфі 7, для днища, борта, палуб, надбудови, резервуарів і перебірок;
 β – коефіцієнт, рівний:

$$\text{якщо } a \leq b \quad \beta = 6,15 \left(\frac{a}{b} \right)^{0,07}$$

$$\text{якщо } a > b \quad \beta = 6,15 \left(\frac{b}{a} \right)^{0,07}$$

β – не повинне прийматися меншим ніж 5,5;
 $k_{,X}, k_{,Y}$ – редуційний коефіцієнт, що враховує ширину набору:

$$k_{S,X} = 1 - 3 \left(\frac{W_{S,X}}{a} \right) \left(1 - \frac{W_{S,X}}{a} \right)$$

$$k_{S,Y} = 1 - 3 \left(\frac{W_{S,Y}}{b} \right) \left(1 - \frac{W_{S,Y}}{b} \right)$$

де $a, b, W_{S,X}$ і $W_{S,Y}$ у м, визначені на рис. 9.2
 $k_{,X}, k_{,Y}$ – повинні прийматися не менше ніж 0,4

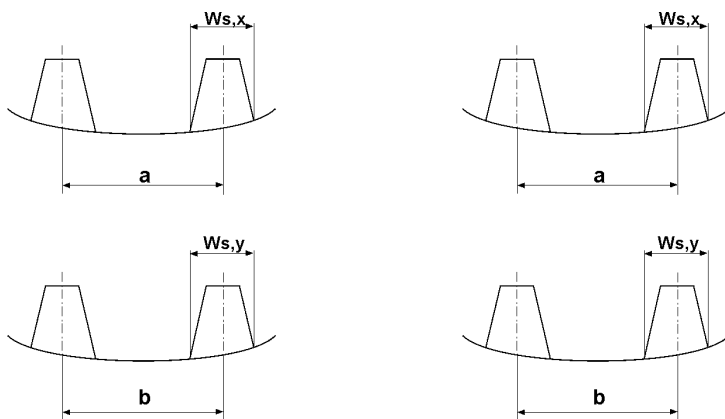


Рис. 9.2. Визначення геометричних параметрів пластин

9.2.3. Поперечна сила зсуву на границях панелей.

Кожна сторона панелі розглядається жорстко затисненою. Сили зсуву T_{XZ} та T_{YZ} , що спричинені поперечним тиском як показу-

но на малюнку 9.3, це відповідно сили зсуву на сторонах "а" та "b". Вони можуть бути визначені в кН на метр ширини, за наступною формулою:

$$T_{YZ} = \frac{ap_s}{2 \left(1 + \alpha^4 \frac{D_{22}}{D_{11}} \right)} \quad (9.2)$$

$$T_{XZ} = \alpha^3 \frac{D_{22}}{D_{11}} T_{YZ}$$

де

$\alpha = a/b$ – відношення сторін

a та b : Розміри панелей, в м

$D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$: визначені в (4.6), в Н.мм²/мм

p_s : визначено в параграфі 7, в кН/м².

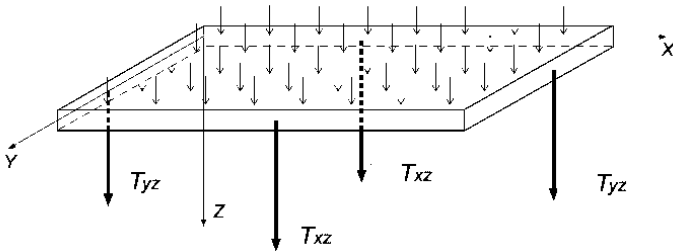


Рис. 9.3. Поперечні сили зсуву на границях панелей

9.2.4. Визначення напружень в панелях.

Напруження в шарах панелі розраховуються згідно з п.11, приймаючи до уваги моменти M_X та M_Y та сили зсуву T_{XZ} і T_{YZ} , що визначені вище.

Коефіцієнти безпеки між діючими та теоретичними руйнуючими напруженнями, повинні бути у відповідності до мінімально допустимих коефіцієнтів, що визначені в (3.5–3.6).

9.3. Панелі днища із шаруватого пластику під дією ударних навантажень

9.3.1. Має місце явище динамічного збільшення навантажень при слемінгу. Це явище стосуються тільки тришарових панелей, підданих поперечним навантаженням від слемінга. Як правило,

це явище не розглядається для монолітного пластику й не повинне бути прийняте до уваги.

9.3.2. Оцінка коефіцієнта динамічності.

Коефіцієнт динамічності – це коефіцієнт, що збільшує навантаження від слемінга (визначені в п. 8) і повинен бути прийнятий до уваги для тришарових панелей.

Цей коефіцієнт K_{DA} визначається у такий спосіб:

- для монолітного шаруватого пластику: $K_{DA} = 1$
- для тришарових панелей:

$$\begin{aligned} \text{для } t_0 / T < 0,9 \quad K_{DA} &= 0,98 \left(1 + \frac{\sin(\pi t_0 / T)}{\pi t_0 / T} \right) \\ \text{для } 0,9 \leq t_0 / T \leq 2 \quad K_{DA} &= 1,1 \\ \text{для } 0 t_0 / T > 2 \quad K_{DA} &= 1 \end{aligned} \quad (9.3)$$

де

t_0 : час наростання імпульсу, в с, отриманий за наступною формулою:

$$t_0 = 0,03 \sqrt{\frac{L}{43}} \quad (9.4)$$

L : нормативна довжина, у м., приймається рівною L_{WL}

T : період власних коливань тришарових панелей, в с, розрахований у такий спосіб:

$$T = \frac{1}{f \sqrt{\frac{K}{K + \frac{\rho_W}{\pi W}}}} \quad (9.5)$$

K : коефіцієнт, в м^{-1} , дорівнює:

$$K = \sqrt{\frac{1}{a_s^2} + \frac{1}{b_L^2}}$$

a_s : менша сторона тришарових панелей, у м.

b_L : більш довга сторона тришарових панелей, у м.

f : власна частота коливань тришарових панелей, у Гц, отримана по наступній формулі:

$$f = 150 a_s^{-1,8}$$

ρ_w : щільність води, рівна 1025 кг/м³

W : загальна вага шаруватого пластику на квадратний метр, у кг/м², як визначено в п. 4.7.

9.3.3. Згинальні моменти й зусилля зсуву при навантаженнях від слеммінга повинні бути обчислені як визначено вище в пп.9.2.2 і 9.2.3, з місцевим навантаженням p_{Sl} рівним тиску від слеммінга, визначеному в параграфі 8, помноженому на K_{DA} , розрахований в [9.3. 2].

9.3.4. Визначення напруг здійснюється аналогічним чином, згідно з параграфом 11.

9.4.Панелі борта із шаруватого пластику під дією ударних навантажень.

9.4.1. Динамічність явища розглянута в п. 9.3.1 застосовується у випадку тиску ударних навантажень на борти які визначено в п.7.2.

Коефіцієнт динамічності повинен бути розрахований, як визначено в п. 9.3.2.

9.4.2. Аналіз тришарових панелей.

У випадку тришарових панелей, що піддані ударному тиску на борти, тільки напруги зсуву в заповнювачі повинні бути прийняті до уваги.

Як правило, напруги зсуву в заповнювачі, в Н/мм², повинні бути отримані по наступній формулі:

$$\tau = \frac{0,6 \cdot p_{Smin}}{4t} K_{DA} \quad (9.6)$$

де

p_{Smin} : ударний тиск на борти, в кН/м², як визначено п.7.2

з $K_2 = 1$

t : товщина тришарових панелей (заповнювача з оболонками), у мм

K_{DA} : коефіцієнт динамічності, як визначено в п. 9.3. 2.

Запас міцності заповнювача на зсув між діючими напругами зсуву, як розраховано в п. 9.4.2, і теоретичними руйнівними напруженнями заповнювача, що визначені в табл. 9.1, повинен бути у відповідності із запасом міцності, визначеним у п. 3.6.

Таблиця 9.1. Властивості пінопластів

Тип пінопласту	Щільність кг/м ³	Модуль			Руйнівні напруження			Коефіцієнт Пуассона
		Розтягування, МПа	Стискання, МПа	Зсув, МПа	Розтягування, МПа	Стискання, МПа	Зсув, МПа	
ПВХ лінійний	50	21	18	8	0,7	0,3	0,3	0,36
	60	29	28	11	0,9	0,4	0,5	0,31
	70	37	38	14	1,1	0,6	0,7	0,27
	80	44	49	18	1,3	0,7	0,8	0,25
	90	52	59	21	1,4	0,9	1,0	0,24
	100	59	69	24	1,6	1,0	1,2	0,23
	110	67	79	27	1,8	1,2	1,3	0,22
	130	82	99	34	2,2	1,5	1,7	0,21
	140	89	109	37	2,4	1,6	1,9	0,21
ПВХ сітчатий	50	37	40	18	1,0	0,6	0,6	0,02
	60	47	51	22	1,4	0,8	0,8	0,05
	70	57	63	27	1,8	1,1	1,0	0,07
	80	67	75	31	2,2	1,4	1,1	0,08
	90	78	88	36	2,5	1,7	1,3	0,09
	100	88	102	40	2,9	1,9	1,5	0,10
	110	98	116	44	3,3	2,2	1,6	0,11
	130	118	145	53	3,9	2,8	2,0	0,12
	140	129	161	57	4,3	3,0	2,2	0,12
	170	159	209	71	5,2	3,8	2,7	0,13
	190	180	243	79	5,8	4,4	3,0	0,13
	200	190	260	84	6,1	4,7	3,2	0,13
	250	241	352	105	7,4	6,0	4,1	0,14

9.4.3 Аналіз монолітного шаруватого пластику.

Абсолютна величина моментів M_X і M_Y , викликаних впливом тиску води на борти, є відповідно моментом посередині сторони "b" і моменту посередині сторони "a". Вони повинні бути визначені, в кН.м на метр ширини, за наступними формулами:

$$\left| M_X = D_{11} \cdot A \cdot p_{S \min} \cdot \frac{10^{-6}}{8a^2} \text{coef}_X \cdot k_{S,X} \right| \quad (9.7)$$

$$\left| M_y = D_{22} \cdot A \cdot p_{S \min} \cdot \frac{10^{-6}}{8b^2} \text{coef}_Y \cdot k_{S,Y} \right|$$

Примітка 1: Знаки моментів визначаються таким чином, щоб узгоджувались області стискання та розтягування під поперечним тиском, як показано на рис. 9.1.

де:

A: параметр, у м., отриманий по наступній формулі:

$$A = \frac{\beta \cdot a^4 10^6}{7D_{11} + 4(D_{12} + 2D_{33})\alpha^2 + 7D_{22}\alpha^4} K_{DA}$$

де

a: сторона пластини в напрямку x, у м.

b: сторона пластини в напрямку y, у м.

α : відношення сторін, $\alpha = a/b$

$D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$: загальні коефіцієнти згинання матриці жорсткості, як визначено в (4.6), в Н.мм²/мм (Ці коефіцієнти повинні бути розраховані для шаруватих пластиків відносно осей X і Y).

$p_{S \min}$: ударний тиск на борт, в кН/м², як визначено в п.7.2

K_{DA} : коефіцієнт динамічності, $K_{DA} = 1$

β : коефіцієнт, рівний:

$$\text{якщо } a \leq b \quad \text{то} \quad \beta = 6.15 \left(\frac{a}{b} \right)^{0.07}$$

$$\text{якщо } a > b \quad \text{то} \quad \beta = 6.15 \left(\frac{b}{a} \right)^{0.07}$$

β не повинне прийматися менше ніж 5,5

$\text{coef}_X, \text{coef}_Y$: Редукційні коефіцієнти (безрозмірні), що враховують неоднорідність розподілу бічного тиску на панель, дорівнюють:

$$\text{coef}_X = \frac{1}{(1+a)^2} \quad \text{якщо} \quad 0.6(1+a) \leq b$$

$$\text{coef}_X = 1 \quad \text{якщо} \quad 0.6(1+a) > b$$

$$\text{coef}_Y = \frac{1}{(1+b)^2} \quad \text{якщо} \quad 0.6(1+b) \leq a$$

$$coef_Y = 1 \quad \text{якщо} \quad 0.6(1+b) > a$$

$k_{S,x}, k_{S,y}$: Редукційні коефіцієнти, визначені в п. (9.2.2).

Сили зсуву T_{XZ} і T_{YZ} : викликані бічним тиском – відповідно сила зсуву на стороні "a" і сила зсуву на стороні "b". Вони повинні бути обчислені, в кН на метр ширини, по наступних формулах:

$$T_{YZ} = 0,3 \frac{p_{Smin}}{\left(1 + \alpha^3 \frac{D_{22}}{D_{11}}\right)} K_{DA} \quad T_{XZ} = \alpha^3 \frac{D_{22}}{D_{11}} T_{YZ} \quad (9.8)$$

$\alpha = a/b$: Відношення сторін

a, b : сторони панелі, у м.

$D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$: Як визначено в (4.6), в N.mm²/mm

p_{Smin} : Як визначено в п. 7.2, в кН/м².

K_{DA} : Як визначено в п. 9.3.2.

Результати розрахунків занести до таблиці 10.1.

Таблиця 10.1. Розрахунки навантажень в пластинах зовнішнього обшивання

		D_{11}	D_{12}	D_{22}	D_{33}	a	b	α	A	M_X	M_Y	T_{XZ}	T_{YZ}
Днище	Слемінг												
	Гідростатичні навантаження												
Борт	Ударні навантаження												
	Гідростатичні навантаження												
Палуба													

9.4.4. Визначення напружень в панелях.

Напруження в шарах панелі розраховуються згідно з параграфом 11, коефіцієнти безпеки між діючими та теоретичними руйнуючими напруженнями, повинні бути у відповідності до мінімально допустимих коефіцієнтів, що визначені в (3.5–3.6).

10. НАВАНТАЖЕННЯ В БАЛКАХ НАБОРУ

10.1. Механічні характеристики балок набору, повинні бути визначені як зазначено в п. 5.3.

10.2. Згинальні моменти та сили, що перерізають для вторинного набору, навантаженого бічним тиском по краях балки, відповідно в кН.м, та в кН,:

$$M = coeff \frac{p_M s l^2}{m} \quad (10.1)$$

$$T = coeff \frac{p_T s l}{2} \quad (10.2)$$

де

l – проліт балок набору, у м.

s – відстань між балками набору

Для поздовжніх балок набору, бічний тиск повинен бути розрахований в середині прольоту вторинної балки набору. Для поперечних балок набору, бічний тиск повинен бути розрахований в нижній і у верхній точці вторинної балки набору, що розглядається.

p_M – бічний тиск, в кН/м², відповідно:

1) Для гідростатичних навантажень

a) для поздовжніх балок набору

$$p_M = p_S \quad \text{як зазначено в п.7.1,}$$

b) для поперечних балок набору

$$p_M = 3p_{lower} + 2p_{upper}$$

де p_{lower} і p_{upper} визначено в п.7.1,

2) Для днища, що навантажено слемінгом

$$p_M = p_{sl}, \text{ як зазначено в п.8.}$$

3) Для ударного тиску на борт

$$p_M = p_{Smin}, \text{ як зазначено в (7.2),}$$

p_T – бічний тиск, в кН/м², що визначається як:

1) Для гідростатичних навантажень:

a) для поздовжніх балок набору

$p_T = p_S$ як зазначено в п.7.1

b) для поперечних балок набору

$$p_T = 0,7p_{lower} + 0,3p_{upper}$$

де p_{lower} і p_{upper} визначено в п.7.1

2) Для навантажень від слемінга на днище,

$$p_T = p_{sl}, \text{ як зазначено в п.8.}$$

3) Для ударного тиску на борт

$$p_T = p_{Smin}, \text{ як зазначено в (7.2)}$$

m – коефіцієнт, що залежить від виду навантаження й умов закріплення:

- $m = 60$ для навантаження виду p_M як зазначено в 1) b)
- $m = 12, 10$ або 8 для навантаження видів p_M як зазначено в 1)

a), 2), 3), і залежно від умов закріплення,

Цей коефіцієнт приймається рівним:

- 12 у випадку жорсткого закладення;
- 8 у випадку вільного обпирання;
- 10 у випадку умов закріплення середніх між вільним

обпиранням і жорстким закладенням.

Як правило, m приймається рівним 12 коли:

- у випадку постійного навантаження з обох сторін від опор при якому неможливий поворот опорних перетинів.

- балка опирається на зв'язок, зі значно більшою жорсткістю.

Як правило, m приймається рівним 8 коли:

- балка обрізана на кінці.

$coeff$ – Редукційний коефіцієнт рівний:

- $(1 - s/2 l) > 0$ у загальному випадку;
- $(3 l^2 - 0,36) \cdot 0,36 / l^3$ для бортових балок вторинного набору

у випадку, коли p приймається рівним ударному тиску на борт p_{Smin} (7.2), з l не менше ніж 0,6 м;

- 1 – для підпалубних балок вторинного набору;

$coeff$ – Редукційний коефіцієнт рівний:

- $(1 - s/2 l) > 0$ у загальному випадку;
- $0,6 / l$, але не більше 1, для бортових балок вторинного набору

у випадку, де p прийнято рівним мінімальному тиску на борт як зазначено в (7.2).

- 1 для первинних підпалубних балок.

Особливу увагу потрібно звернути на знаки розрахованих деформацій. Для аналізу по краях балки: полка повинна бути стиснена (негативні напруги) а приєднаний пасок повинен бути розтягнутий (позитивні напруги).

10.3. Рамні балки набору проектується, як зазначено в (10.2) для вторинних балок набору, не беручи до уваги коефіцієнт *coeff* і *coef* і приймаючи бічний тиск залежно від виду балки первинного набору, що розглядається:

- днищові балки первинного набору: гідростатичні навантаження як визначено в (7.1);
- бортові балки первинного набору: гідростатичні навантаження як визначено в (7.1);
- палубні балки первинного набору: мінімальний напір, як визначено у (8.3).

Розрахунок провести в табличній формі (табл. 10.1).

**Таблиця 10.1. Розрахунок згинальних моментів та сил, що перерізу-
ють в балках набору**

Назва балки	s , м	l , м	p_T , кПа	P_M , кПа	<i>coeff</i>	<i>coef</i>	m	M , кН.м	T , кН
Днищовий стрингер									
Шпангоут днище									
Палубний стрингер									
Бімс									
Бортовий стрингер									
Шпангоут борт									

11. ДЕФОРМАЦІЇ ТА НАПРУГИ В ПАНЕЛЯХ ОБШИВКИ

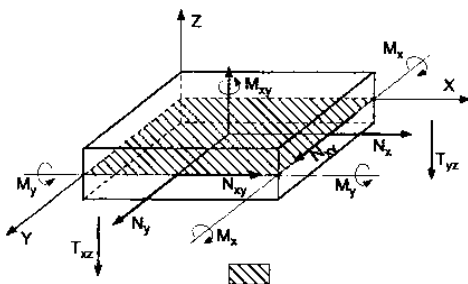


Рис 11.1. Зусилля й моменти, прикладені до панелі

11.1. Як правило, панелі навантажені зусиллями, як показано на рис. 11.1.

Ці зовнішні навантаження визначені як функції серединної площини ламінації на метр ширини:

Прийняти N_X, N_Y, N_{XY}, M_{XY} рівними нулю.

11.2. Деформації й кривизни можуть бути визначені по формулам:

$$K_X = (D'_{11}M_X + D'_{12}M_Y) \cdot 10^3$$

$$K_Y = (D'_{21}M_X + D'_{22}M_Y) \cdot 10^3 \quad (11.1)$$

$$K_{XY} = (D'_{21}M_X + D'_{22}M_Y) \cdot 10^3$$

де D'_{ij} елементи оберненої матриці D_{ij} (див. п. 4.6.)

K_X – кривизна серединної площини щодо осі Y ;

K_Y – кривизна серединної площини відносно осі X ;

K_{XY} – кривизна серединної площини відносно осі Z .

Значення згинальних моментів для пластин, що розраховуються визначені в п.9.

11.3. Деформації елементарного шару k в глобальній системі координат

$$\epsilon_{Xk} = K_X \cdot \frac{Z_k + Z_{k-1}}{2} \quad \epsilon_{Yk} = K_Y \cdot \frac{Z_k + Z_{k-1}}{2} \quad \gamma_{XYk} = K_{XY} \cdot \frac{Z_k + Z_{k-1}}{2} \quad (11.2)$$

11.4. Деформації елементарного шару k в місцевій системі координат

$$\epsilon_1 = \epsilon_X m^2 + \epsilon_Y n^2 + \gamma_{XY} mn$$

$$\epsilon_2 = \epsilon_X n^2 + \epsilon_Y m^2 - \gamma_{XY} mn \quad (11.3)$$

$$\gamma_{12} = -\varepsilon_X mn + \varepsilon_Y mn - \gamma_{XY} (m^2 - n^2)$$

де $m = \cos \theta$ $n = \sin \theta$

11.5. Місцеві напруження в елементарному шарі в серединній площині, визначаються як:

$$\sigma_1 = \varepsilon_1 \bar{R}_{11} + \varepsilon_2 \bar{R}_{12} + \gamma_{12} \bar{R}_{13};$$

$$\sigma_2 = \varepsilon_1 \bar{R}_{21} + \varepsilon_2 \bar{R}_{22} + \gamma_{12} \bar{R}_{23}; \quad (11.4)$$

$$\tau_{12} = \varepsilon_1 \bar{R}_{31} + \varepsilon_2 \bar{R}_{32} + \gamma_{12} \bar{R}_{33}$$

де елементи матриці жорсткості $[\bar{R}]$ визначені в (3.4.6) для кожного елементарного шару.

Результати розрахунку слід звести в таблицю 11.1.

Таблиця 11.1. Деформації та напруги в пластинах від згинання (для днища, борту, палуби)

№ шару	Тип армування	θ град	$\cos \theta$	$\sin \theta$	ε_{yi}	ε_{xi}	γ_{xy}	ε_l	ε_2	γ_{12}	σ_1 МПа	σ_2 МПа	τ_{12} МПа
1	Скломат М 450												
2	Рівницяова тка- нина RT -600												
3	Односпрямована - 45°												
4	Односпрямована - 45°												
...													
...													
n	Скломат М 450												

Результати розрахунку міцності за критеріями найбільших напружень та Цай-Ву звести в таблицю 11.2.

Слід приймати до уваги знак діючих і відповідних їм руйнуючих напружень.

Таблиця 11.2. Результати розрахунків міцності

Шар по типам	σ_{br1}/σ_f	SF	σ_{br2}/σ_2	SF	τ_{br12}/τ_{l2}	SF	Критерій Цай-Ву	SF_{CS}
Скломат								
Тканина рів- нищюва								
Односпрямо- вана стрічка								

12. АНАЛІЗ НАПРУЖЕНЬ МІЖШАРОВОГО ЗСУВУ

12.1. Напруги міжшарового зсуву τ_{yz} і τ_{xz} , що розташовані між кожним елементарним шаром, викликані навантаженнями T_{yz} і T_{xz} , прикладеними нормально до нейтральної площини ламінату.

12.2. Напруги міжшарового зсуву в глобальних напрямках X і Y ламінату між шарами K та $K-1$

$$\tau_{yz} = H_{44} \cdot T_{yz} + H_{45} \cdot T_{yz} \quad (12.1)$$

$$\tau_{xz} = H_{54} \cdot T_{yz} + H_{55} \cdot T_{yz}$$

T_{yz} і T_{xz} – навантаження зсуву, приложені нормально до нейтральної площини ламінату

$[H_{44}]_k$, $[H_{45}]_k$, $[H_{54}]_k$, $[H_{55}]_k$: константи зсуву шару K

$$[H_{44}]_k = [C_{yz}]_{k,5} - R_{21k} \cdot (Z_k \cdot B_{12}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{12}') + R_{22k} (Z_k \cdot B_{22}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{22}') + R_{23k} (Z_k \cdot B_{32}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{32}')$$

$$[H_{45}]_k = [C_{yz}]_{k,6} - R_{21k} \cdot (Z_k \cdot B_{13}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{13}') + R_{22k} (Z_k \cdot B_{23}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{23}') + R_{23k} (Z_k \cdot B_{33}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{33}')$$

$$[H_{54}]_k = [C_{xz}]_{k,6} - R_{11k} \cdot (Z_k \cdot B_{13}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{13}') + R_{12k} (Z_k \cdot B_{23}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{23}') + \\ + R_{23k} (Z_k \cdot B_{33}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{33}')$$

$$[H_{55}]_k = [C_{xz}]_{k,4} - R_{11k} \cdot (Z_k \cdot B_{11}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{11}') + R_{12k} (Z_k \cdot B_{21}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{21}') + \\ + R_{13k} (Z_k \cdot B_{31}' + \frac{Z_k^2}{2} \cdot D_{31}')$$

$[C_{YZ}]_k$, $[C_{XZ}]_k$ – місцеві коефіцієнти для кожного елементарного шару k

$$[C_{yz}]_k = [C_{yz}]_{k-1} + ([R_2]_k - [R_2]_{k-1}) \cdot [M]_k$$

$$[C_{xz}]_k = [C_{xz}]_{k-1} + ([R_1]_k - [R_1]_{k-1}) \cdot [M]_k$$

$$[M]_k = \left[Z_{k-1} \cdot A' + \frac{Z_{k-1}^2}{2} \cdot C' \cdot Z_{k-1} \cdot B' + \frac{Z_{k-1}^2}{2} \cdot D' \right]$$

$[C_{XZ}]_k$ и – коефіцієнти розподілення для шару k ;

$[C_{XZ}]_{k-1}$ и $[C_{YZ}]_{k-1}$ – коефіцієнти розподілення для шару $k-1$;

$[R_1]_k$ и $[R_1]_{k-1}$ – перший рядок матриці жорсткості $[R]$ для шарів k и $k-1$, як визначено в (3.2.4);

$[R_2]_k$ и $[R_2]_{k-1}$ – другий рядок матриці жорсткості $[R]$ для шарів k и $k-1$, як визначено в (3.2.4);

A' , B' , C' , D' – отримані із оберненої матриці як визначено в (4.1.1)

$$\begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{ij} & B_{ij} \\ B_{ij} & D_{ij} \end{bmatrix}^{-1}$$

Зауваження 1: для 1 шару ($k = 1$) коефіцієнти наступні:
 $[C_{xz}]_{k-1} = [C_{yz}]_{k-1} = 0$; $[R_2]_{k-1} = [R_1]_{k-1} = 0$

$$\begin{bmatrix} \tau_{23} \\ \tau_{13} \end{bmatrix}_k = T^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix}_k$$

τ_{23} и τ_{13} – між шарові напруги зсуву, розташовані між шарами k та $k-1$.

13. ДЕФОРМАЦІЇ ТА НАПРУГИ В БАЛКАХ НАБОРУ

13.1. Деформація кожної частини набору залежить від згинального моменту M , в поздовжньому напрямку набору:

$$\epsilon_{xi} = \frac{M \cdot d_i}{[EI]} \cdot 10^6 \quad (13.1)$$

де

EI та d_i – згідно п. 5 та таблиці 5.1.

M – згинальний момент, у кН.м, прикладений до набору, як показано в п.10

Зауваження 1: Слід враховувати знак згинального моменту, що враховує тип навантаження (розтягування або стискання) у приєднаному паску й фланці набору.

13.2. Напруги та деформації, що викликані моментами для кожного шару кожної частини набору в головних осях шару у МПа:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= (\cos \theta)^2 \epsilon_{xi} & \epsilon_2 &= (\sin \theta)^2 \epsilon_{xi} & \gamma_{12} &= 2 \sin \theta \cos \theta \epsilon_{xi} \\ \sigma_1 &= \bar{R}_{11} \cdot \epsilon_1 + \bar{R}_{12} \cdot \epsilon_2 & \sigma_2 &= \bar{R}_{21} \cdot \epsilon_1 + \bar{R}_{22} \cdot \epsilon_2 \end{aligned} \quad (13.2)$$

$$\tau_{12} = \bar{R}_{33} \cdot \gamma_{12}$$

$\bar{R}_{21}$, $\bar{R}_{22}$ визначені в (3.4.6).

13.3. Напруги й деформації, що викликані поперечними зусиллями

Деформація зсуву розраховується за наступною формулою, :

$$\gamma_{xy} = T / (\sum S_i \cdot G_{XYi}) \cdot 10^3 \quad (13.3)$$

де:

T – зусилля зсуву, прикладене до набору, як показано в (13) у кН.

$\sum S_i \cdot G_{XYi}$ – знаменник формули визначений в таблиці 5.1

як сума 14-го стовпчику.

Напруги й деформації кожного елементарного шару в кожній частині від дії зусилля зсуву набору:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -\sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \gamma_{xy} & \varepsilon_2 &= \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \gamma_{xy} \\ \gamma_{12} &= ((\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2) \cdot \gamma_{xy} \end{aligned} \quad (13.4)$$

та

$$\sigma_1 = (\bar{R}_{11} \cdot \varepsilon_1 + \bar{R}_{12} \cdot \varepsilon_2) \quad \sigma_2 = (\bar{R}_{21} \cdot \varepsilon_1 + \bar{R}_{22} \cdot \varepsilon_2) \quad (13.5)$$

$$\tau_{12} = \bar{R}_{33} \cdot \gamma_{12}$$

Розрахунки виконуються в табличній формі, у відповідності до таблиць 13.1, 13.2, 13.3.

Таблиця 13.1. Деформації та напруги від згинання (для полки, стінки, приєднаного пояска)

Шар по типам	θ	$\cos \theta$	$\sin \theta$	ε_{xi}	γ_{xy}	ε_1	ε_2	γ_{12}	σ_1 МПа	σ_2 МПа	τ_{12} МПа
Скломат											
Тканина рівницяова											
Односпрямована стрічка											

Таблиця 13.2. Деформації та напруги від зсуву (для полки, стінки, приєднаного пояска)

Шар по типам	θ	$\cos \theta$	$\sin \theta$	ε_{xi}	γ_{xy}	ε_1	ε_2	γ_{12}	σ_1 МПа	σ_2 МПа	τ_{12} МПа
Скломат											
Тканина рівницяова											
Односпрямована стрічка											

Таблиця 13.3. Сумарні напруги в елементах набору від згинання та зсуву (для полки, стінки, приєднаного пояса)

Шар по типам	σ_l МПа	σ_2 МПа	τ_{l2} МПа
Скломат			
Ткана рівниця			
Односпрямована стрічка			

13.4. Оцінка міцності шарів за критеріями руйнування виконується згідно з п. 3.5.

Результати розрахунку міцності за критеріями найбільших напружень та Цай-Ву звести в таблицю 13.4 (для приєднаного паска та полки).

Таблиця 13.4. Результати розрахунків міцності балок (для полки, стінки, приєднаного пояса)

Шар по типам	σ_{br1}/σ_l	SF	σ_{br2}/σ_2	SF	τ_{br12}/τ_{l2}	SF	Критерій Цай-Ву	SF_{CS}
Скломат								
Ткана рівниця								
Односпрямо- вана стрічка								

Слід приймати до уваги знак діючих і відповідних їм руйнуючих напружень.

14. РОЗРАХУНОК ЕКВІВАЛЕНТНОГО БРУСУ

14.1. Головні параметри поперечного переріза судна можуть бути розраховані за таким же методом, як показано в п. 5 для набору.

У цьому випадку, всі панелі, що становлять поперечний переріз, вважаються як незалежні, як показано на прикладі рис. 14.1.

14.2. Згинальний момент та вертикальна сила, прикладені до бруса визначено в п. 6 табл. 6.2 для перетину мідель-шпангоуту.

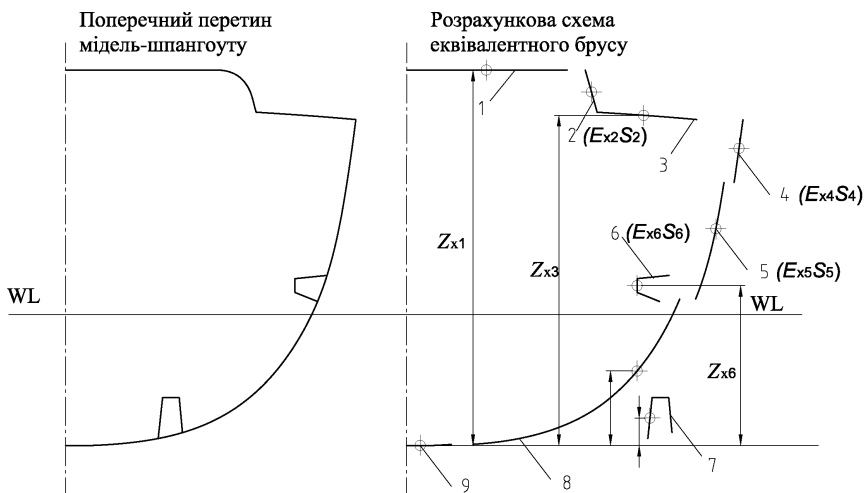


Рис. 14.1. Схема мідель-шпангоуту

Розрахунки виконуються в табличній формі, у відповідності до таблиці 14.1.

Таблиця 14.1. Результати розрахунків міцності балок (для полки, стінки, приєднаного пояса)

Елемент	b_i мм	e_i мм	G_{xy_i} мПа	E_{x_i} мПа	I_i мм ⁴	S_i мм ²	$E_{x_i} S_i$	Z_i мм	$S_i \cdot z_i$	E_i	d_i мм	$E_{x_i} S_i \cdot d_i^2$	$E_{x_i} I_i$	$G_{xy_i} S_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Днище киль														
Днище														
Борт														
Щирстрек														
Палуба														
Стінка рубки														
Рубка верх														
Стрингер							Σ_1		Σ_2		Σ_3		Σ_4	

$$\text{Де } d_i = Z_i - V$$

Ордината центру тяжіння V визначається як:

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

Загальна жорсткість на згинання визначається як:

$$G_{xy} = \Sigma_4 \cdot x^2$$

14.2. Розрахунок деформацій та напруг виконати у відповідності пункту 13 та табл. 13.1–13.2 для обшивки палуби та днища.

14.3. Для оцінки стійкості слід розрахувати середні напруження в складових еквівалентного бруса за формулами

$$\sigma_{xi} = \varepsilon_{xi} \cdot E_{xi} \quad (14.2)$$

$$\tau_{xi} = \gamma_{xi} \cdot G_{xyi}$$

де ε_{xi} та γ_{xyi} розраховані за формулою (13.1) та (13.3) відповідно, E_{xi} та G_{xyi} розраховані за формулою (4.10) та (4.11) (стовпчики 4 та 5 відповідно таблиці 14.1).

Звести результати розрахунків в таблицю 14.2.

Таблиця 14.2. Результати розрахунків деформацій та напруг в елементах еквівалентного бруса

Елемент	ε_{xi}	γ_{xyi}	E_{xi} мПа	G_{xyi} мПа	σ_{xi} , мПа	τ_{xyi} , мПа
Днище		X		X		X
Борт	X		X		X	
Палуба (Дах рубки)		X		X		X

15. СТІЙКІСТЬ ПАНЕЛЕЙ ДНИЩА ТА ПАЛУБИ

15.1. Загальні вимоги.

Вимоги застосовні для перевірки загальної стійкості шаруватих пластиків, що піддаються поздовжнім однобічним навантаженням стискання, поздовжнім напругам зсуву.

15.1.1. Перевірка деформації шаруватих пластиків, як буде визначено далі, базується на наступних граничних умовах:

- для монолітних шаруватих пластиків, грані вважаються вільно обпертими на опорах;
- для тришарових панелей, грані вважаються жорстко закріпленими на опорах.

15.1.2. Області корпусу, які повинні бути перевірені відповідно до вимог дійсної глави:

Для деформацій стискання:

- панелі днища й палуб при загальному згинанні;
- панелі борту, у їх верхній частині нижче міцної палуби.

Для деформацій зсуву:

- борти корпусу.

В рамках курсової роботи виконати перевірку на стійкість тільки для панелей, що розташовані в середній частині судна.

15.2. Принципи навантаження

Навантаження, які розглядаються для перевірки на стійкість – ті, які викликають напруги стискання й зсув як показано в рис. 15.1 і рис. 15.2.

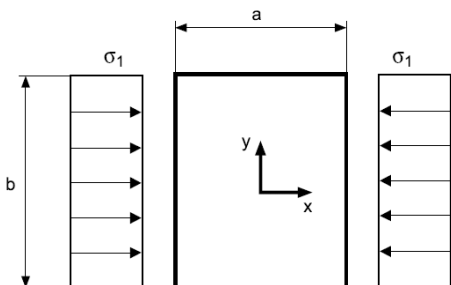


Рис.15.1. Стійкість прямокутних шаруватих пластиків, підданих стисканню

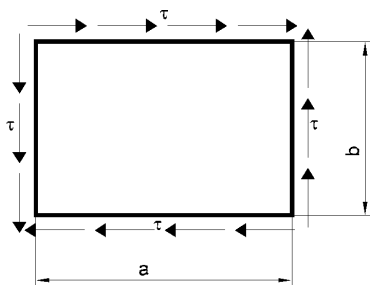


Рис.15.2. Стійкість прямокутних шаруватих пластиків, підданих зрушенню

15.3. Перевірка на стійкість монолітних шаруватих пластиків при стисканні.

15.3.1. Визначення критичних напружень при стисканні в напрямку X.

Критичні напруження при стисканні, в Н/мм², визначаються по наступній формулі:

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 10^{-6}}{m^2 a^2 t} [D_{11} m^4 + 2(D_{12} + D_{33}) m^2 \alpha^2 + D_{22} \alpha^4] \quad (15.1)$$

де

a – ненавантажена сторона панелі, паралельна напрямку X шаруватого пластику, у м;

b – навантажена сторона панелі, паралельна напрямку Y шаруватого пластику, у м;

α – відношення сторін панелі, $\alpha = a/b$;

t – товщина пластини, у мм.

$D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$ – загальні коефіцієнти матриці жорсткості на згинання, як визначено в (4.6), в Н.мм/мм;

m – число напівхвиль при навантаженні в напрямку X . Це число залежить від α , наступним чином:

$$\text{якщо } \alpha \leq \sqrt{2} \left(\frac{D_{11}}{D_{22}} \right)^{1/4} \quad m = 1$$

$$\text{якщо } \sqrt{2} \left(\frac{D_{11}}{D_{22}} \right)^{1/4} < \alpha \leq \sqrt{6} \left(\frac{D_{11}}{D_{22}} \right)^{1/4} \quad m = 2$$

$$\text{якщо } \alpha > \sqrt{6} \left(\frac{D_{11}}{D_{22}} \right)^{1/4} \quad m = 3$$

15.3.2. Отримані напруги слід порівняти з напругами стискання, що спричинені загальним згинанням корпусу (п.14): для палубного обшивання та борту при прогині, для днища при перегині.

Запас міцності по критичним напруженням, між знайденими в (15.3.1.) і фактичними напругами стискання, що розраховані в п.14.6 повинен бути не меншим, ніж мінімальний припустимий коефіцієнт безпеки SF_B , визначений в п 3.6.

15.4. Перевірка на стійкість при зрушенні монолітних шаруватих пластиків.

15.4.1. Критичні напруження при зрушенні, в н/мм², визначаються наступною формулою:

$$\tau_\beta = C_\beta \left(\frac{D_{11} D_{22}^3}{t(b/2)} \right)^{1/4} 10^{-6} \quad (15.2)$$

C_β – коефіцієнт залежний від θ і β :

$$C_{\beta} = (7,1\theta + 3,9) \beta^2 + (7,3\theta^3 - 11,7\theta^2 + 3,2\theta - 0,8) \beta + 5,2\theta + 8,1$$

де:

$$\theta = \frac{D_{12} + 2D_{33}}{\sqrt{D_{11} \cdot D_{22}}} \quad \beta = \frac{b}{a} \left(\frac{D_{11}}{D_{22}} \right)^{1/4}$$

15.4.2. Отримані напруги слід порівняти з напругами зсуву для бортового обшивання при прогині або при перегині корпусу (п. 14.3), приймаючи до розрахунку більше значення.

15.5. Перевірка тришарових панелей на стійкість при стисканні.

15.5.1. Оболонки тришарових панелей розглядаються як ортотропні, а заповнювач як ізотропний матеріали.

Якщо панелі виконані тришаровими, то критичні напруження при стисканні, в N/mm^2 , визначаються наступною формулою:

$$\sigma_c = E_t \frac{\pi^2 [EI]}{b^2 H} K_1 10^{-6} \quad (15.3)$$

де: E_t – мінімальна загальна жорсткість тришарових панелей у напрямку навантаження, в N/mm^2 :

$$E_t = \min(E_{t,1}, E_{t,2})$$

$E_{t,1}, E_{t,2}$ – загальна жорсткість при розтяганні верхнього і нижнього шару тришарових панелей у напрямку навантаження, як визначено в (4.10.1);

$[EI]$ – загальна жорсткість на згинання тришарових панелей в $\text{H.мм}^2/\text{мм}$, що визначається по наступній формулі:

$$[EI] = \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}} \quad (15.4)$$

D_{11} і D_{22} – загальні коефіцієнти матриці жорсткості тришарових панелей, як визначено в (4.6);

H – загальна жорсткість при стисканні в H/мм , розрахована, у такий спосіб:

$$H = E_{t,1} t_{F1} + E_{t,2} t_{F2} + E_C t_C$$

де

t_1 – товщина зовнішнього шару, у мм;

t_2 – товщина внутрішнього шару, у мм;

t – товщина заповнювача, у мм;

EC – осьовий модуль пружності заповнювача, в Н/мм²;

B – навантажена сторона тришарових панелей, у м.

α – відношення сторін, $\alpha = a/b$;

K_1 – коефіцієнт стійкості, отриманий за наступною формулою:

• для умови жорсткого обпирання

$$K_1 = A\alpha^2 + B\alpha + C$$

де

$$A = 0,1 \left(\frac{1}{V^{1,2}} - 1 \right); \quad B = -0,2 \left(\frac{1}{V^{1,45}} - 1 \right); \quad C = \frac{1}{V} \quad \text{де}$$

A – не більше ніж 5,5;

B – не менше ніж 19,5;

C – не більше ніж 23,5;

де:

$$V = \frac{\pi^2 [EI]}{b^2 G_C t_C}$$

$[EI]$ – загальна жорсткість на згинання тришарових панелей, в Н.мм²/мм

G_C – жорсткість на зсув заповнювача (в площині ламінування x - y).

15.6. Перевірка на стійкість при зрушенні тришарових панелей.

15.6.1. Якщо панелі виконані тришаровими, то критичні напруги на зсув визначаються по наступній формулі:

$$\tau_C = \frac{\pi^2 G_{XY} [EI]}{b^2 N} K_2 10^{-6} \quad (15.5)$$

де G_{XY} – мінімальна загальна на жорсткість на зсув;

$G_{XY} = \min(G_{XY,1}, G_{XY,2})$,

$G_{XY,1}$ – загальна жорсткість на зсув лицьового шару тришарових панелей в площині x - y , як визначено в (4.10.2);

$G_{XY,2}$ – загальна жорсткість на зсув нижнього шару тришарових панелей в, площині x - y , як визначено в (4.10.2);

N – загальна на жорсткість зсув, в N/mm, розрахована, у такий спосіб:

$$N = G_{XY,1} t_{F1} + G_{XY,2} t_{F2} + G_{CIC}$$

b – менша сторона панелі, у м;

a – більш довга сторона панелі, у м;

K_2 – коефіцієнт стійкості, що розраховується за наступними формулами:

$$K_2 = \frac{1}{3} \frac{27 + 17 \frac{b^2}{a^2}}{1 + \frac{1}{3} \left[23 + 13 \frac{b^2}{a^2} \right] V} \quad \text{якщо} \quad 0 \leq V \leq \frac{3}{4 \left[1 + \frac{b^2}{a^2} \right]}$$

$$K_2 = \frac{1}{V} \quad \text{якщо} \quad V > \frac{3}{4 \left[1 + \frac{b^2}{a^2} \right]}$$

$$\text{де} \quad V = \frac{\pi^2 [EI]}{b^2 G_C t_C} \cdot 10^{-6}$$

Данні розрахунків звести до наступної таблиці (15.1).

Таблиця 15.1. Результати перевірки панелей на стійкість

Елемент	Діючі напру- ги, мПа		CF	Критичні на- пруження мПа		Запас стійкості	
	σ_{xi}	τ_{yxi}		стискання	зсув	стискання	зсув
Днище (пе- регин)		X			X		X
Борт (зсув)	X			X		X	
Дах рубки (прогин)		X			X		X

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Катков П.П., Кушелев В.В. Технология пластмассового судостроения: Учебное пособие. – Л.; Судостроение, 1986 – 216 с.
2. Кожушняк А.И., Рахман Л.С., Максимов Ю.В. Постройка пластмассового судна. Л.: Судостроение, 1966. – 171 с.
3. Плесси дю Х. Малотоннажные суда из стеклопластика. Пер. с англ., – Л.: Судостроение, 1979. – 343 с.
4. Проектирование корпусных конструкций из стеклопластика/ А.М. Ваганов, А.П. Калмычков, М.А. Фрид. – Л: Судостроение, 1972. – 272 с.
5. Производство судовых конструкций из пластмасс. / Харин А.А., Ганов Э.В. – Л.: Судостроение, 1975. – 80 с.
6. Bureau Veritas/ Rules for the Classification and the/ PART B – Hull and Stability.
7. The element of boat strength/ Dave Gerr/ISBN 0-07-023159-1.

ЗМІСТ

Вхідні данні	3
1. Загальні положення	4
2. Етапи проектування	5
3. Характеристики елементарних шарів	7
4. Параметри жорсткості пластин обшивки	19
5. Параметри жорсткості балок набору	26
6. Загальні навантаження	28
7. Місцеві навантаження	32
8. Навантаження на днище від слемінга	37
9. Розрахунки навантажень в пластинах зовнішнього обшивання	42
10. Навантаження в балках набору	51
11. Деформації та напруги в панелях обшивки	54
12. Аналіз напружень міжшарового зсуву	56
13. Деформації та напруги в балках набору	58
14. Розрахунок еквівалентного бруса	60
15. Стійкість панелей днища та палуби	62
Рекомендована література	68

Навчальне видання

**БУРДУН Євген Тимофійович
ГЕЙКО Сергій Петрович**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсового проектування з дисципліни
"Загальне проектування та виробництво суден із
композиційних матеріалів"
(українською мовою)

Комп'ютерна правка та верстка А.Й. Лихіна
Коректор М.О. Паненко

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
вигоtівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 05.02.09. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 4,0. Обл.-вид. арк. 4,3.
Тираж 100 прим. Вид. № 21. Зам. № 127. Ціна договірна

Видавець і вигоtівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

This image shows a full page of blank handwriting practice paper. It features multiple sets of horizontal lines across the entire page. Each set consists of three lines: a solid top line, a dashed middle line, and a solid bottom line. These sets are repeated vertically down the page, providing a guide for letter height and placement. The background is white, and the lines are black. There is no text or other markings on the page.

[illegible]