

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Л. І. Коростильов, О. В. Щедролосєв

**МІЦНІСТЬ СУДНОВОГО КОРПУСУ
І ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ПОБУДОВІ, СПУСКУ ТА ДОКУВАННІ**

Навчальний посібник

За редакцією д-ра техн. наук,
професора Л. І. Коростильова

Рекомендовано Вченою радою НУК

Миколаїв, НУК 2019

УДК 629.5: 624.046(075.8)
К-68

Автори:

Л. І. Коростильов, д-р техн. наук, професор;
О.В. Щедролоєв, д-р техн. наук, професор

Рецензенти:

О.С. Рашковський, д-р техн. наук, професор (Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова);
А. В. Букетов, д-р техн. наук, професор (Херсонська державна морська академія)

*Рекомендовано Вченою радою
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова (протокол № 6 від 31.05.2019 р.)
як навчальний посібник*

К-68 Коростильов Л. І., Щедролоєв О. В. Міцність суднового корпусу і його елементів при побудові, спуску та докуванні : навчальний посібник / за ред. д-ра техн. наук, проф. Л. І. Коростильова. – Миколаїв : НУК, 2019. – 63 с.

ISBN 978-966-321-380-4

У посібнику наводиться необхідний теоретичний матеріал та розглядаються типові випадки міцнісних розрахунків корпусу і його елементів в короткотермінових періодах існування судна у вигляді виконання розрахунково-графічних робіт.

Посібник призначено для підготовки магістрів за спеціальністю 135 «Суднобудування», а його окремі частини можуть використовуватись при навчанні бакалаврів і докторів філософії за тією ж спеціальністю.

УДК 629.5: 624.046(075.8)

© Л. І. Коростильов, О. В. Щедролоєв, 2019
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2019

ISBN 978-966-321-380-4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА № 1 «Розрахунок коефіцієнта жорсткості кільблока і параметрів кільової доріжки»	8
1.1 Короткі відомості з теорії	8
1.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 1	10
1.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 1	11
1.3.1 Визначення коефіцієнта жорсткості кільблока K	11
1.3.2 Визначення необхідної кількості кільблоків n і відстані між ними λ	13
1.4 Контрольні питання та завдання	14
2 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №2 «Розрахунок міцності й жорсткості зовнішньої обшивки днища під кліттю».....	15
2.1 Короткі відомості з теорії	15
2.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 2	19
2.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 2	19
2.3.1 Побудова розрахункової схеми для заданого поля обшивки «2»	20
2.3.2 Визначення $M_{\max}$ і $w_{\max}$ при дії рівномірності тиску p	20
2.3.3 Перевірка умови міцності і порівняння максимального прогину $w_{\max}$ з товщиною s	21
2.4 Контрольні питання та завдання	22
3 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА № 3 «Визначення реакції кільової доріжки перед спуском судна на воду»	23
3.1 Короткі відомості з теорії	23
3.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 3	26
3.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 3	27
3.3.1 Побудова розрахункової схеми для визначення прогину корпусу судна на кільовій доріжці	27

3.3.2	Визначення прогину корпусу та інтенсивності погонної реакції пружної основи	29
3.3.3	Побудова епюр розрахункових величин w_n і w_k та r_n і r_k	30
3.4	Контрольні питання та завдання	32
4	РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №4 «Розрахунок стійкості послабленої вирізом стінки флора суховантажного судна»	33
4.1	Короткі відомості з теорії	33
4.2	Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 4	39
4.3	Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 4	40
4.3.1	Побудова розрахункової схеми елемента стінки для оцінки її стійкості	40
4.3.2	Визначення напружень τ і σ , які діють вздовж кромek елемента	41
4.3.3	Визначення критичних напружень при одночасній дії на елемент стінки τ і σ	41
4.3.4	Перевірка умови стійкості стінки флора	42
4.4	Контрольні питання та завдання	43
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	44
	ДОДАТОК А	45
	ДОДАТОК Б	49
	ДОДАТОК В	55

ВСТУП

Життєвий шлях судна від побудови до утилізації складається з низки періодів, серед яких найбільш тривалим є експлуатаційний період. У зв'язку з цим при проектуванні корпусу судна і конструюванні його елементів враховують, в першу чергу, дію на корпус судна експлуатаційних навантажень. Такі навантаження умовно розділяють на статичні та динамічні. Рівень їх визначається низкою нормативних документів з урахуванням типу судна, його головних розмірів та районів плавання.

Від формування корпусу на будівельному місці і до утилізації судна завжди мають місце короткотермінові періоди його існування. Період побудови корпусу нині не є довготривалим, як і добудовні роботи. Однак перед спуском повністю сформованого корпусу на стапельному місці днищеві конструкції сприймають значні локальні навантаження. Це має місце як перед пересадкою судна на спусковий пристрій, так і при його знаходженні на цьому пристрої.

Спуск судна на воду є найбільш короткотерміновим. Проте специфічні локальні навантаження в третьому періоді при повздовжньому спуску можуть призвести до значних пошкоджень днищевих конструкцій. Ремонтні відновлювальні роботи в цьому випадку будуть досить затратними і їх не потрібно допускати.

При постановці повністю обладнаного судна в сухий чи плавучий доки теж виникають значні локальні навантаження на днище корпусу. Тому розташування опорних пристроїв повинно бути таким, щоб забезпечувався найбільш рівномірний вздовж корпусу розподіл локальних навантажень.

У всіх періодах знаходження судна без контакту з водою його вага сприймається опорними нерухомими або спусковими пристроями. Кільблоки, кліті і підпори, тобто нерухомі опорні пристрої, мають малу площу контакту з корпусом. Це і призводить до значних локальних статичних навантажень на корпус.

Спускові пристрої, у порівнянні з нерухомими опорними, мають дещо більшу площу контакту з корпусом. Проте при спуску з похилих стапелів навантаження на корпус не зберігають статичний характер. Тому при такому виді спуску оцінку міцності і стійкості елементів днищевих конструкцій треба виконувати при максимальних рівнях навантажень.

При виконанні розрахунків коефіцієнти запасу міцності й стійкості для корпусних конструкцій та їх елементів в короткотермінових періодах приймаються меншими за величиною у порівнянні з довготерміновим експлуатаційним періодом. Це положення відображається у відповідних нормативних документах. Наприклад, коефіцієнт запасу стійкості стінки з вирізом балок днищевих перекриттів на експлуатаційні навантаження приймається рівним 1,5, а при спуску з похилого стапелю – тільки 1,1.

Що стосується рівня допустимих напружень, то при оцінці міцності їх величину приймають не менше границі плинності матеріалу σ_T . Це пов'язано з короткотерміновими періодами дії локальних навантажень.

Оцінку міцності корпусу і його елементів виконують з використанням відомих розрахункових схем, які вивчаються в будівельній механіці корабля. Так, наприклад, корпус судна на кільовій доріжці представляється балкою на пружній основі вінклеревого типу. Пластинчасті елементи днищевих конструкцій розглядаються обпертими на жорсткий опорний контур.

Визначення величини інтенсивності локальних навантажень на пластини днищевої обшивки від нерухомих опорних і спускових представляє собою окрему специфічну задачу. При цьому, у випадку контакту корпусу з рухомими спусковими пристроями, необхідно встановлювати максимальне значення цієї інтенсивності. Така задача є досить складною і вимагає використання спеціальних методів. Наприклад, при визначенні інтенсивності реакції спускового пристрою на днищеве перекриття при повздовжньому спуску з похилого стапелю в третьому періоді галузевим нормативним документом рекомендовано

використовувати «метод зникаючих реакцій», розроблений професором Сусловим В.П.

Навіть у випадку статичного навантаження корпусу на кільблок, коли контакт відбувається не по всій площі дерев'яної подушки, має місце особливість передачі тиску по висоті цієї подушки. При визначенні коефіцієнта жорсткості в такому випадку рекомендовано використовувати схему передачі тиску, запропоновану академіком Шиманським Ю.О.

В посібнику не розглядаються питання визначення локальних навантажень на корпус судна чи кільблок. Такі навантаження приймаються заданими, при цьому характер цих навантажень по площі контакту є рівномірним.

Кожна виконана розрахунково-графічна робота представляється у відповідності до вимог оформлення технічної документації і повинна включати титульний лист, заповнений бланк завдання на виконання роботи, заголовки і зміст виконаних пунктів та перелік використаних джерел.

1 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА № 1 «Розрахунок коефіцієнта жорсткості кильблока і параметрів кильової доріжки»

1.1 Короткі відомості з теорії

Кільблоки різних типів є найбільш поширеним опорним пристроєм, який використовується при формуванні корпусу на будівельному місці та при постановці судна в сухий або плавучий доки. Їх встановлюють вздовж вертикального кіля більшим розміром упоперек судна.

Конструктивно найбільш поширений тип кильблока представляє собою нижню металеву частину та верхню дерев'яну подушку, яка не завжди всією площею контактує з корпусом судна [1]. Ця подушка, у більшості, складається з двох шарів: дерева твердих порід (дуба, граба, клена) і м'яких (сосни, липи, тополя). Схема такого кильблока умовна представлена на рис. 1.1.

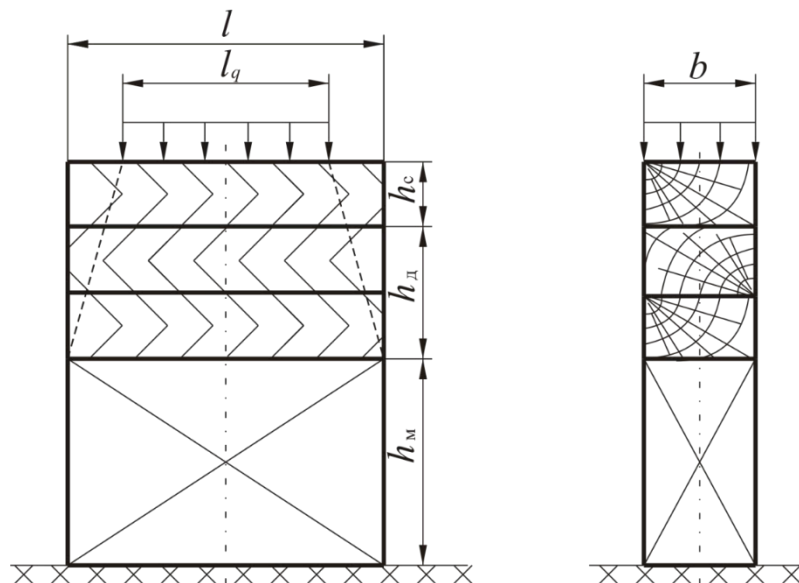


Рисунок 1.1 — Схема кильблока

Геометричними параметрами кильблока є:

h_m , h_d , h_c — відповідно висоти металевої, дубової і соснової частин;

l , b — довжина і ширина дерев'яної подушки;

l_q — довжина зони контакту подушки із корпусом судна.

Кільблоки сприймають дію стискуючої сили (ваги) судна практично рівномірно розподіленої по всій площі контакту з корпусом (див. рис. 1.1). Коефіцієнт жорсткості кільблока K , як обернена величина коефіцієнту його податливості A , чисельно дорівнює силі, яка призводить до обтискання кільблока на одиницю довжини. Тож, відповідно до конструктивної схеми кільблока (див. рис. 1.1), коефіцієнт його жорсткості визначатиметься як

$$K = \frac{1}{A} = \frac{1}{(h_m/E_m F_m) + (h_d/E_d F_d) + (h_c/E_c F_c)}, \quad (1.1)$$

де E_m , E_d , E_c і F_m , F_d , F_c – відповідно модулі пружності матеріалу і площі, що сприймають стискуючі зусилля, металевої частини, дуба і сосни. Кожна складова в знаменнику формули (1.1) представляє собою коефіцієнт податливості окремої частини кільблока.

Враховуючи, що контакт корпусу із дерев'яною частиною кільблока може бути не по всій її довжині l , то за рекомендацією академіка Ю.О. Шиманського [2] передачу стискуючого зусилля по висоті можна прийняти такою, як вказано пунктирною лінією на рис. 1.1. Тож, відповідно площі F_c і F_d можна наближено розраховувати при довжині дії стискуючих зусиль для кожної дерев'яної частини по середині її висоти, тобто

$$F_c = b \cdot l_{\text{сер.с}}; \quad F_d = b \cdot l_{\text{сер.д}},$$

де $l_{\text{сер.с}}$ і $l_{\text{сер.д}}$ – довжина середніх ліній відповідних трапецій дерев'яних частин.

Мінімально допустима кількість кільблоків $n_{\min}$ для суцільної кільової доріжки довжиною $L_{\text{кд}}$ визначається за формулою

$$n_{\min} = \frac{k_n \cdot Q}{[R]},$$

де Q – вага судна;

k_n – коефіцієнт нерівномірності, значення якого приймається за нормативними документами;

$[R]$ – допустиме навантаження на кільблоки.

Величини Q і $[R]$ визначаються як

$$Q = g \cdot M_c;$$

$$[R] = R_{\pi} \cdot F_k,$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

M_c – маса судна;

R_{π} – розрахунковий опір деревини у складі подушки із сосни і дуба;

$F_k = b \cdot l_q$ – площа контакту подушки з корпусом судна.

Остаточне значення кількості кільблоків n приймається більшим за значення $n_{\min}$ цілим числом. Тоді відстань між кільблоками λ (рис. 1.2) визначиться як

$$\lambda = \frac{L_{\text{кд}} - n \cdot b}{n - 1},$$

де $L_{\text{кд}}$ – довжина кільової доріжки.

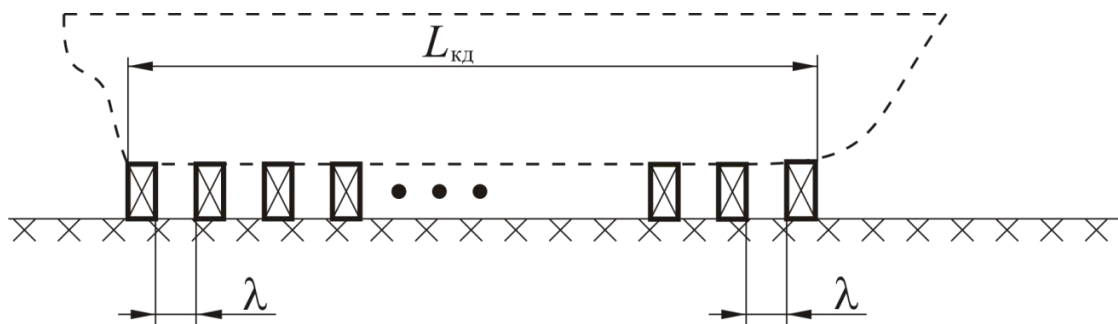


Рисунок 1.2 — Кільова доріжка

1.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 1

Для кільблока заданої конструктивної схеми (див. рис.1.1) з відомими геометричними параметрами і пружними характеристиками матеріалу дерев'яної подушки (дуб, сосна) і металевої частини визначити:

- 1) коефіцієнт жорсткості кільблока K ;
- 2) необхідну кількість кільблоків n суцільної кільової доріжки довжиною $L_{\text{кд}}$ та відстань між кільблоками λ для судна з передпусковою масою M_c при заданих коефіцієнті нерівномірності k_n і розрахунковому опорі дерев'яної подушки R_{π} .

Вихідні дані:

- геометричні параметри кильблока:

l, b – довжина і ширина дерев'яної подушки, м;

l_q – довжина поля контакту дерев'яної подушки з корпусом, м;

h_m, h_d, h_c – висоти металевої, дубової і соснової частин кильблока, м;

- пружні і опірні характеристики матеріалу частин кильблока:

E_m, E_d, E_c – модулі пружності при стисканні металевої, дубової і соснової частин кильблока, МПа;

R_n – розрахунковий опір дерев'яної подушки із дуба і сосни, МПа;

- характеристики корпусу судна і кильової доріжки:

M_c – спускова маса судна, т;

k_n – коефіцієнт нерівномірності;

L_{kd} – довжина кильової доріжки, м.

Числові значення величин вихідних даних представлені в таблиці А1.

1.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 1

Відповідно до завдання (див. п.1.2) виконати розрахунково-графічну роботу № 1 при наступних вихідних даних:

$l = 0,8$ м; $b = 0,2$ м; $l_q = 0,78$ м; $h_m = 0,75$ м; $h_d = 0,45$ м; $h_c = 0,78$ м; $F_m = 0,02$ м²; $E_m = 2 \cdot 10^5$ МПа; $E_d = 280$ МПа; $E_c = 60$ МПа; $R_n = 3,2$ МПа; $M_c = 2000$ т; $k_n = 1,5$; $L_{kd} = 80$ м.

1.3.1 Визначення коефіцієнта жорсткості кильблока К

Розрахунок коефіцієнта жорсткості кильблока виконуємо за формулою

$$K = \frac{1}{(h_m/E_m F_m) + (h_d/E_d F_d) + (h_c/E_c F_c)},$$

де h_m, h_d, h_c і E_m, E_d, E_c – висоти і модулі пружності складових частин кильблока (металевої, дуба, сосни), значення яких задані;

F_m, F_d, F_c – площі складових частин кильблока, що сприймають стискуючі зусилля, з яких тільки площа металевої частини F_m задана, а площі F_d і F_c необхідно визначити як

$$F_c = b \cdot l_{\text{сер.с}}; \quad F_d = b \cdot l_{\text{сер.д}}.$$

Величини довжини середніх ліній трапецій сосни $l_{\text{сер.с}}$ і дуба $l_{\text{сер.д}}$ визначимо із геометричних міркувань за схемою, представлено на рис. 1.3.

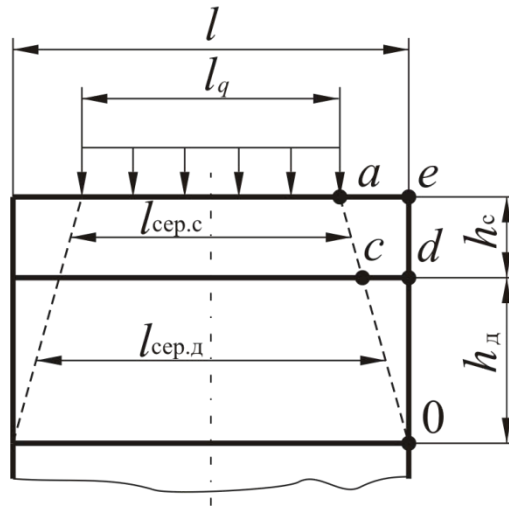


Рисунок 1.3 — До визначення величин $l_{\text{сер.с}}$ і $l_{\text{сер.д}}$

Із подібності прямокутних трикутників $\triangle oae$ і $\triangle ocd$ маємо

$$\frac{cd}{ae} = \frac{od}{oe},$$

звідки

$$cd = ae \frac{cd}{ae} = \frac{l - l_q}{2} \cdot \frac{h_d}{h_c + h_d}.$$

Тоді маємо:

$$l_{\text{сер.с}} = \frac{(l - 2cd) + l_q}{2} = \frac{1}{2} [l(1 - \bar{h}) + l_q(1 + \bar{h})];$$

$$l_{\text{сер.д}} = \frac{l + (l - 2cd)}{2} = \frac{1}{2} [l(2 - \bar{h}) + l_q \cdot \bar{h}],$$

де

$$\bar{h} = \frac{h_d}{h_c + h_d}.$$

Тепер можемо розраховувати F_c і F_d :

$$\bar{h} = \frac{h_d}{h_c + h_d} = \frac{0,45}{0,2 + 0,45} = 0,692;$$

$$F_c = \frac{b}{2} [l(1 - \bar{h}) + l_q(1 + \bar{h})] = \frac{0,2}{2} [0,8(1 - 0,692) + 0,78(1 + 0,692)] = 0,157 \text{ м}^2;$$

$$F_d = \frac{1}{2} [l(2 - \bar{h}) + l_q \cdot \bar{h}] = \frac{0,2}{2} [0,8(2 - 0,692) + 0,78 \cdot 0,692] = 0,159 \text{ м}^2.$$

Тоді коефіцієнт жорсткості кільблока К визначиться як

$$K = \frac{1}{(h_m/E_m F_m) + (h_d/E_d F_d) + (h_c/E_c F_c)} =$$

$$= \frac{1}{(0,75/2 \cdot 10^5 \cdot 0,02) + (0,45/280 \cdot 0,159) + (0,2/60 \cdot 0,157)} = 31,7 \frac{\text{МН}}{\text{м}}.$$

1.3.2 Визначення необхідної кількості кільблоків n і відстані між ними λ

Мінімально допустима кількість кільблоків $n_{\min}$ при суцільній кільовій доріжці $L_{\text{кд}}$ визначається як

$$n_{\min} = \frac{k_n \cdot Q}{[R]},$$

де $Q = g \cdot M_c$ – спускова вага судна;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$[R] = R_n \cdot F_k$ – допустиме навантаження на кільблок;

$F_k = b \cdot l_q$ – площа контакту подушки з корпусом судна;

R_n – розрахунковий опір деревини у складі подушки із сосни і дуба;

k_n – коефіцієнт нерівномірності.

Тоді маємо

$$n_{\min} = \frac{k_n \cdot g \cdot M_c}{R_n \cdot b \cdot l_q} = \frac{1,5 \cdot 9,81 \cdot 2000 \cdot 10^3}{3,2 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,78} = 58,9.$$

Приймаємо $n = 59$.

Відстань між кільблоками λ (див. рис. 1.2) визначається за формулою

$$\lambda = \frac{L_{\text{кд}} - n \cdot b}{n - 1} = \frac{80 - 59 \cdot 0,2}{59 - 1} = 1,18 \text{ м}.$$

1.4 Контрольні питання та завдання

1. Яке призначення кильблока при формуванні корпусу судна на будівельному місці? Як він розташовується по відношенню до корпусу судна?
2. Які основні конструктивні частини має типовий кильблок?
3. Що називають коефіцієнтом жорсткості кильблока?
4. За якою формулою визначають коефіцієнт жорсткості типового кильблока? Назвіть всі величини в формулі і вкажіть їх розмірність.
5. За якою формулою визначається мінімальна кількість кильблоків? Назвіть всі величини в формулі і вкажіть їх розмірність.
6. Що називають розрахунковим опором деревини кильблока і як його визначають?
7. Чим відрізняється між собою спускова маса судна і його вага?
8. За якою формулою визначають відстань між кильблоками? Назвіть всі величини в формулі і вкажіть їх розмірність.

2 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №2 «Розрахунок міцності й жорсткості зовнішньої обшивки днища під кліттю»

2.1 Короткі відомості з теорії

Зовнішня обшивка днища є елементом днищевих перекриттів. Вона підкріплюється, як правило, набором двох взаємно перпендикулярних напрямків: повздовжніми ребрами жорсткості, флорами, днищевими стрінгерами, вертикальним кілем, – які створюють для прямокутних полів обшивки жорсткий опорний контур.

При формуванні корпусу на будівельному місці і при постанівці в док для підтримання корпусу, окрім кільблоків, використовуються кліті, які в плані близькі до квадратної або прямокутної форм. Конструктивно кліті складаються із нижньої металевої частини і верхньої дерев'яної подушки, яка за площею контакту з корпусом значно більше за аналогічну площу кільблока.

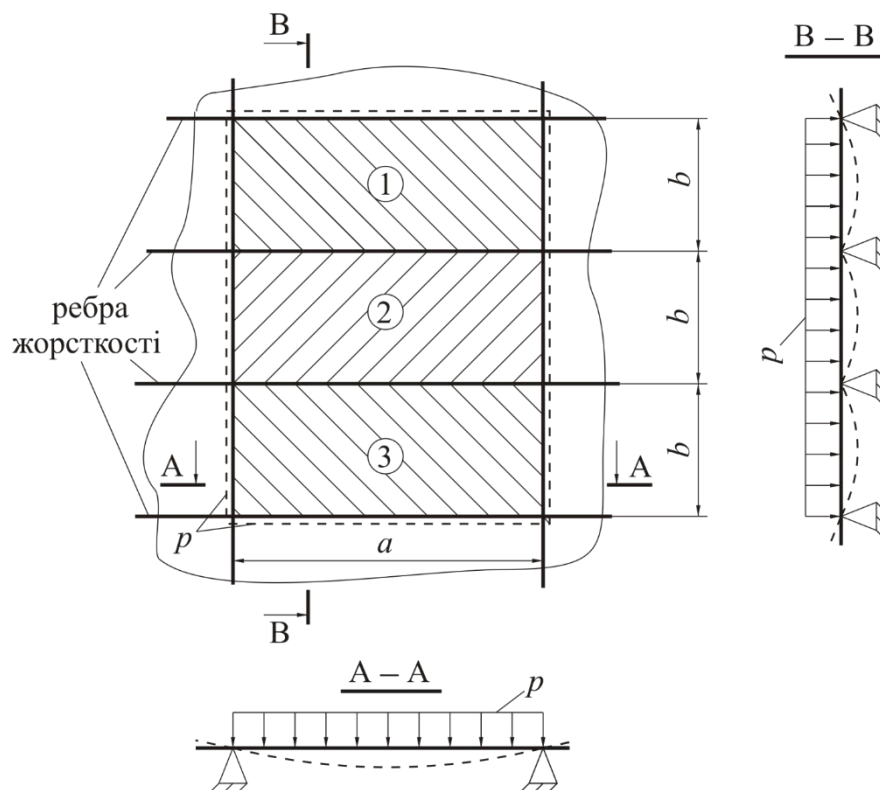


Рисунок 2.1 — Схема трьох прямокутних полів обшивки на жорсткому опорному контурі

Як

приклад,

на рис. 2.1 представлена схема трьох прямокутних полів обшивки під кліттю з різними напрямками шриховки, які підкріплені флорами і повздожніми ребрами жорсткості. При розрахунках на міцність і жорсткість таких прямокутних полів (пластин) тиск з боку дерев'яної подушки кліті на обшивку приймається рівномірно розподіленим по площі поля [3].

Для морських суден і більшості суден змішаного плавання та річкових зовнішній тиск p на обшивку є таким, що максимальний прогин w в точках прямокутного поля обшивки не перевищує її товщини s . Дослідження професора Бубнова І.Г. показали, що в цьому випадку зусилля в серединному шарі (поверхні) практично не впливають на кінематичні та силові параметри згину пластини і за його ж пропозицією такі пластини треба віднести до класу абсолютно жорстких [4,5].

Згинання абсолютно жорсткої пластини під дією рівномірного тиску p , розташованої в координатній площині xy , описується диференціальним рівнянням

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = p, \quad (2.1)$$

в якому $D = Es^3 / [12(1 - \mu^2)]$ – жорсткість пластини при згинанні, а E і μ – відповідно модуль пружності матеріалу пластини при розтягуванні та коефіцієнт Пуассона.

Рішення диференціального рівняння (2.1) для прямокутних пластин на жорсткому опорному контурі при різних умовах затиснення кромки дозволило отримати значення максимального прогину $w_{\max}$ в центральній точці прямокутного поля і максимальних погонних значень згинальних моментів $M_{\max}$ в його характерних точках. Результати такого розв'язку наведені у довідковій літературі і посібниках [6,7,8], а також додатку Б.

Очевидно, якщо для розрахункового поля пластини сусіднє вздовж кромки поле ненавантажене тиском, то на спільній кромці такі поля можна

вважати шарнірно обпертими. Якщо ж сусіднє поле навантажено тиском – то жорстко затисненим.

Розрахункові формули для обчислення прогину $w_{\max}$ і згинального моменту $M_{\max}$ для найбільш типових випадків обпирання вздовж крамок поля пластини (рис. 2.2) в узагальненому випадку можуть бути представленими як

$$w_{\max} = k_1 \frac{pb^4}{Es^3}, \quad M_{\max} = k_4 pb^2, \quad (2.2)$$

де k_1 і k_4 – коефіцієнти, значення яких залежить від співвідношення сторін пластини, характеру навантаження і визначаються за довідковими таблицями.

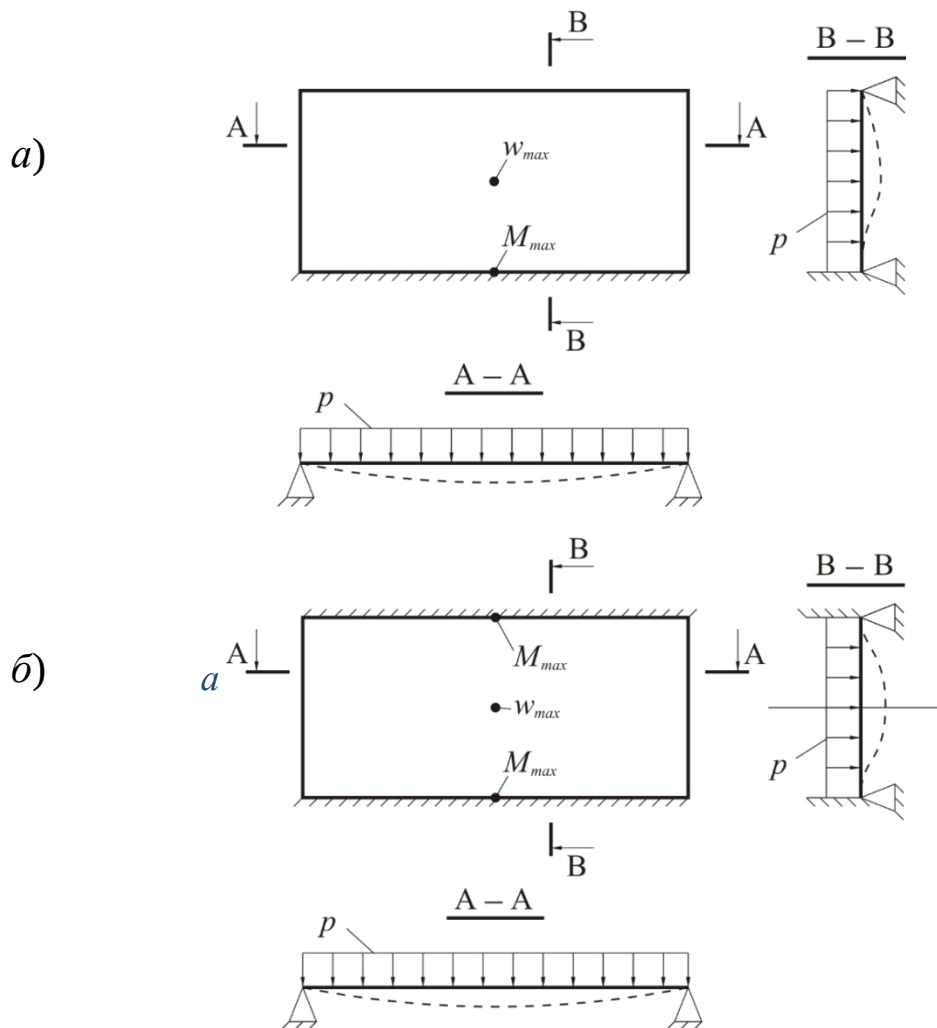


Рисунок 2.2 — Типові випадки обпирання крамках поля пластини обшивки

Нормальні напруження при згинанні пластини лінійно розподіляються по її товщині з нульовим значенням в точках серединної поверхні, а їх максимальні значення $\sigma_{\max}$ визначаються за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{s^2}. \quad (2.3)$$

Умова міцності пластини має вигляд

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (2.4)$$

в якій допустимі нормальні напруження $[\sigma]$ встановлюються за нормативними документами в залежності від границі плинності матеріалу σ_T . Так, за галузевим керівним документом [3] ці напруження визначаються за формулою

$$[\sigma] = \sigma_T \left(1 + \frac{b}{40s} \right),$$

де b – довжина короткої кромки пластини.

Для обшивки днища сформованого корпусу на будівельному місці або при постановці судна в док, очевидно, не потрібно допускати появу в ній пластичних деформацій. Тож в такому випадку треба приймати $[\sigma] = \sigma_T$.

Якщо умова міцності (2.4) не виконується, то для її забезпечення мінімально допустиму величину товщини пластини треба визначити із формули (2.3) при $\sigma_{\max} = [\sigma]$.

Максимальне значення прогину в центральній точці поля пластини $w_{\max}$, розраховане за формулою (2.2), не повинно перебільшувати значення товщини пластини s . У протилежному випадку таку пластину необхідно віднести до класу гнучких пластин, при згинанні яких треба враховувати вплив на параметри згинання зусиль в серединному шарі (поверхні) пластини.

2.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 2

Для сталевого суднового корпусу ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа) перевірити міцність і жорсткість вказаного на схемі (див. рис. 2.1) поля зовнішньої обшивки днища під кліттю при дії заданого рівномірного тиску p :

- 1) створити розрахункову схему при згинанні заданого поля обшивки і вказати на ньому положення точок, в яких виникатимуть максимальні нормальні напруження і прогин;
- 2) визначити в указаних точках пластини максимальні значення згинального моменту $M_{\max}$ і прогину $w_{\max}$ від дії рівномірного тиску p ;
- 3) перевірити умову міцності в небезпечних точках (точці) пластини при заданому рівні допустимих напружень $[\sigma]$ і порівняти величину максимального прогину $w_{\max}$ з її товщиною s .

Вихідні дані:

- геометричні параметри:
 a, b – довжина і ширина поля обшивки, мм;
 s – товщина обшивки, мм;
- силові і міцнісні характеристики:
 p – рівномірно розподілений тиск на поле пластини, кПа;
 σ_T – границя плинності матеріалу пластини обшивки, МПа.

Значення вихідних даних представлені в таблиці А2 додатку А.

2.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 2

Відповідно до завдання (див. п.2.2) виконати розрахунково-графічну роботу при наступних вихідних даних:

розрахункове поле зовнішньої обшивки днища “2” (див. рис. 2.1);

$p = 100$ кПа; $a = 1800$ мм; $b = 600$ мм; $s = 10$ мм; $\sigma_T = 235$ МПа.

2.3.1 Побудова розрахункової схеми для заданого поля обшивки “2”

Прямокутне поле зовнішньої обшивки “2” контактує вздовж довгої сторони з полями “1” і “3”, які теж навантажені зовнішнім тиском p . Сусідні поля вздовж короткої сторони поля “2” не знаходяться під дією зовнішнього тиску. Тому вздовж довгої кромки пластини можна прийняти жорстке затиснення, а вздовж короткої – шарнірне.

Враховуючи те, що поле “2” обшивки знаходиться на жорсткому опорному контурі, то розрахункова схема для такого поля буде така, як зображено на рис. 2.2,б. На цьому ж рисунку вказані точки, в яких виникатиме найбільший погонний момент $M_{\max}$ і максимальний прогин $w_{\max}$ при дії на прямокутну пластину рівномірного тиску p . В точках дії максимального моменту найбільші нормальні напруження при згинанні пластини досягають максимального значення на поверхні. Їх величини використовуємо для перевірки умови міцності.

2.3.2 Визначення $M_{\max}$ і $w_{\max}$ при дії рівномірності тиску p

Максимальне значення погонного згинального моменту визначається за формулою

$$M_{\max} = k_4 p b^2,$$

в якій коефіцієнт k_4 залежить від співвідношення сторін пластини $\gamma = a/b$.

Так як $\gamma = 1800/600 = 3$, то з довідкових таблиць [6,7,8] і додатку Б маємо $k_4 = 0,0833$. Тоді можемо розрахувати $M_{\max}$:

$$M_{\max} = 0,0833 \cdot 100 \cdot 0,6^2 = 2,99 \text{ кН}.$$

Максимальний прогин в центрі пластини при її згинанні визначається за формулою

$$w_{\max} = k_1 \frac{p \cdot b^4}{E \cdot s},$$

в якій коефіцієнт k_1 залежить від $\gamma = a/b$ і за довідковими таблицями [6,7,8] і додатку Б при $\gamma = 3$ приймає значення 0,0284.

Тоді маємо

$$w_{\max} = 0,0284 \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,6^4}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 0,01^3} = 0,00184 \text{ м} = 1,84 \text{ мм}.$$

2.3.3 Перевірка умови міцності і порівняння максимального прогину $w_{\max}$ з товщиною s

Умова міцності при згинанні жорсткої пластини має вигляд $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$, де $\sigma_{\max}$ – максимальні напруження в небезпечній точці пластини, в якій погонний згинальний момент досягає величини $M_{\max}$, а $[\sigma]$ – допустиме нормальне напруження, рівне границі плинності матеріалу σ_T .

Максимальне нормальне напруження $\sigma_{\max}$ розрахуємо за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{s^2} = \frac{6 \cdot 2,99 \cdot 10^3}{0,01^2} = 179,4 \text{ МПа}.$$

Так як $\sigma_{\max} = 179,4 \text{ МПа}$ менше $[\sigma] = 235 \text{ МПа}$, то умова міцності при згині пластини виконується.

Визначений в пп. 2.3.2 максимальний прогин пластини $w_{\max} = 1,84 \text{ мм}$ менше товщини пластини $s = 10 \text{ мм}$, тож пластину можна віднести до класу жорстких. У зв'язку з цим процедура визначення $\sigma_{\max}$ і перевірка умови міцності є справедливими.

2.4 Контрольні питання та завдання

1. Який елемент обшивки днища називають пластиною і яку форму вона має?
2. Які конструктивні елементи корпусу створюють для поля пластини зовнішньої обшивки днища опорний контур?
3. Яке навантаження сприймає пластина днища від опорного пристрою – кліті? Який характер його розподілу по полю пластини і в якій розмірності це навантаження представляють?
4. До якого класу відносять більшість пластин обшивки днища і з якої причини?
5. Поясніть, чому опорний контур поля днищевої обшивки вважають жорстким. Як його зображують на розрахункових схемах?
6. Поясніть, як встановлюють характер затиснення кромки поля обшивки на опорному контурі і зображують на розрахункових схемах.
7. Покажіть, в яких точках поля обшивки виникає максимальний згинальний момент і має місце максимальний прогин.
8. За якою типовою формулою розраховують максимальну величину погонного згинального моменту пластини? Назвіть все величини в формулі і вкажіть їх розмірність.
9. За якою типовою формулою розраховують величину максимального прогину пластини? Назвіть всі величини в формулі і вкажіть їх розмірність.
10. Від чого залежать значення розрахункових коефіцієнтів у формулах для розрахунку максимальних величин погонного моменту і прогину та як їх визначають?

3 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА № 3 «Визначення реакції кільової доріжки перед спуском судна на воду»

3.1 Короткі відомості з теорії

Перед спуском судна на воду із місця побудови, як правило, відбувається його пересадка на спусковий пристрій, який представляє собою систему полозів (балонів) при повздовжніх і поперечних спусках зі стапеля або косякових візків при спуску зі сліпу. Тож після усунення бокових клітей, якщо такі використовувались, судно певний час знаходиться тільки на кільблоках, які сприймають на себе всю спускову масу судна. В такому випадку при розрахунку на міцність і жорсткість корпус судна можна розглядати як балку на конструктивній пружній основі. При цьому крайні кільблоки сприйматимуть більші навантаження, особливо коли є значні звисаючі носова і кормова частини корпусу.

До розрахункової схеми «балка на суцільній пружній основі» можна звести корпус судна на спусковому пристрої (полозах, балонах) або на кільблоках в сухому чи плавучому доках.

Як відомо з курсу будівельної механіки корабля, основною характеристикою пружної основи виступає погонний коефіцієнт жорсткості k , який, в принципі, може бути змінним вздовж балки.

За гіпотезою Вінклера між погонною реакцією з боку пружної основи $r(x)$ і прогином балки $w(x)$ має місце лінійний зв'язок, в якому коефіцієнтом пропорційності є погонний коефіцієнт жорсткості пружної основи $k(x)$, тобто

$$r(x) = k(x) \cdot w(x). \quad (3.1)$$

Прогин балки $w(x)$ при незмінному поперечному перерізі й сталій величині погонного коефіцієнта жорсткості пружної основи, без урахування впливу деформації зсуву, визначається інтегруванням диференціального рівняння четвертого порядку [4,5]:

$$EIw^{IV}(x) + k(x) \cdot w(x) = q(x), \quad (3.2)$$

де E – модуль пружності матеріалу балки при розтягуванні;
 I – момент інерції поперечного перерізу відносно центральної осі,
 перпендикулярної до площини згинання;
 $q(x)$ – інтенсивність розподіленого поперечного навантаження вздовж
 координатної осі балки x .

Рішення рівняння (3.2) можна представити у вигляді суми:

$$w(x) = w_{з.р.}(x) + w_{ч.р.}(x), \quad (3.3)$$

в якій $w_{з.р.}(x)$ – загальний розв’язок однорідного диференціального
 рівняння (3.2), тобто при $q(x) = 0$, а $w_{ч.р.}(x)$ – частинний розв’язок
 рівняння (3.2), який залежить від його правої частини.

Легко переконатися, що коли поперечне навантаження $q(x)$ можна описати
 поліномом не вище третьої степені, тобто при

$$q(x) = q_0 \left(a_0 + a_1 \frac{x}{l} + a_2 \frac{x^2}{l^2} + a_3 \frac{x^3}{l^3} \right),$$

то

$$w_{ч.р.}(x) = \frac{q(x)}{k}. \quad (3.4)$$

Що стосується загального розв’язку диференціального рівняння (3.2), то
 його представляють у різних формах [4,5], а при виконанні практичних
 розрахунків корпусу судна як балки зі зв’язуючими частинами за кільовою
 доріжкою, доцільно їх дію на середню опорну частину звести до
 зосереджених сил і моментів. На рис. 3.1 відображена така дія зв’язуючих
 носової і кормової частин корпусу на його середню частину вагою Q
 відповідно зосередженими силами P_n і P_k та моментами $\mathfrak{M}_n$ і $\mathfrak{M}_k$. При
 цьому моменти визначаються за формулами

$$\mathfrak{M}_n = Q_n \cdot x_n; \quad \mathfrak{M}_k = Q_k \cdot x_k,$$

а сили, очевидно, повинні бути рівними вазі відповідних звисаючих частин, тобто

$$P_H = Q_H; \quad P_K = Q_K.$$

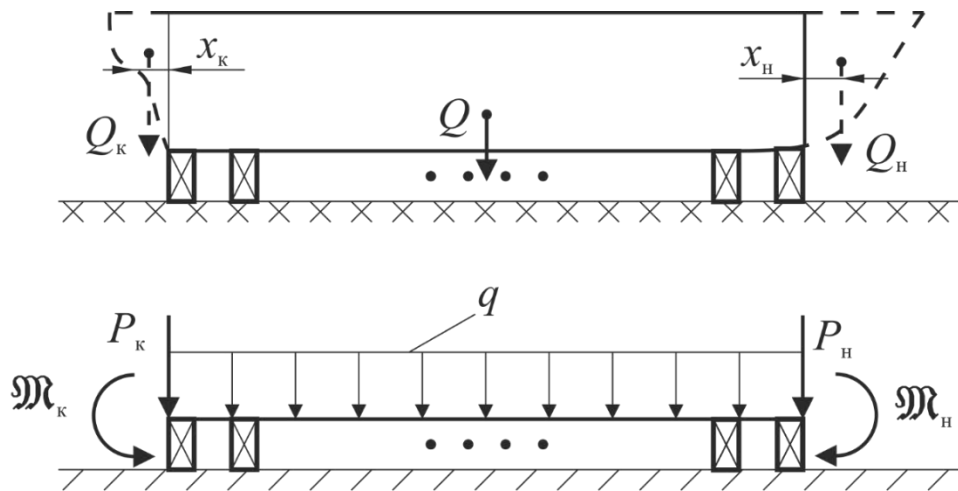


Рисунок 3.1 – Спрощена розрахункова схема для розрахунку корпусу судна на міцність і жорсткість

З курсу будівельної механіки корабля відомо, що у випадку дії зосереджених сил і моментів в кінцевих перерізах балки на пружній основі можна суттєво спростити розрахунки, коли загальний розв'язок диференціального рівняння (3.2) представити у вигляді

$$w(x) = e^{-\alpha x} (B_1 \cos \alpha x + B_2 \sin \alpha x) + e^{\alpha x} (B_3 \cos \alpha x + B_4 \sin \alpha x), \quad (3.5)$$

де

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}},$$

а сталі інтегрування B_i визначаються із граничних умов.

Очевидно, що при віддаленні від місця дії зосереджених сил і моментів кінематичні параметри згинання практично прямують до нуля, тобто при $x \rightarrow \infty$ маємо

$$w = w' = 0.$$

Ця умова буде виконана, коли у виразі (3.5) прийняти

$$B_3 = B_4 = 0.$$

Тоді з граничних умов необхідно визначати тільки дві сталі B_1 і B_2 .

Оцінка впливу на величину кінематичних параметрів згинання дії зосереджених сил і моментів на віддалені від місця їх прикладання виконується за допомогою безрозмірного параметра

$$u = \alpha \frac{l}{2} = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{k}{4EI}}. \quad (3.6)$$

При $u \geq 1,8$ величини $w(l/2)$ і $w'(l/2)$ близькі до нуля. Тож при таких величинах параметра u визначення прогину корпусу w від носового і кормового кінця можна звести до розрахунків двох напівнескінчених балок на пружній основі [4,5]. Тоді в загальному вигляді прогин $w(x)$ можна визначити як

$$w_{з.р.}(x) = e^{-\alpha x} \left[\frac{P}{2\alpha^3 EI} \cos \alpha x + \frac{M}{2\alpha^2 EI} (\cos \alpha x - \sin \alpha x) \right]. \quad (3.7)$$

Прогин балки на пружній основі від дії поперечного навантаження $q(x)$ визначається за формулою (3.4), а інтенсивність погонної реакції $r(x)$ – за формулою (3.1) з урахуванням (3.3).

Силкові параметри згинання – перерізуюча сила $N(x)$ і згинальний момент $M(x)$ – визначаються за відомими диференціальними залежностями:

$$M(x) = EI \cdot w''(x); \quad N(x) = EI \cdot w'''(x).$$

3.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 3

Для сталевих судна ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа, див. рис. 3.1) масою M_c визначити реакцію кільової доріжки на його корпус:

- 1) створити розрахункову схему для визначення прогину корпусу судна на кільовій доріжці;

- 2) визначити прогин й інтенсивність погонної реакції пружної основи вінклеревого типу на корпус, як призматичну балку, при заданому коефіцієнті жорсткості кильблока K і їх кількості n на опорній довжині корпусу $L_{\text{кд}}$;
- 3) побудувати епюри прогину й інтенсивності погонної реакції пружної основи для десяти характерних перерізів корпусу судна.

Вихідні дані:

- судно:

$M_{\text{с}}$ – маса судна, т;

$M_{\text{н}}, M_{\text{к}}$ – маси звисаючих носової і кормової частин корпусу, т;

$x_{\text{н}}, x_{\text{к}}$ – координати центра ваги носової і кормової частин від краю кильової доріжки, м;

I – момент інерції перерізу корпусу судна, м^4 ;

- кильова доріжка:

K – коефіцієнт жорсткості кильблока, МН/м ;

n – кількість кильблоків;

$L_{\text{кд}}$ – довжина кильової доріжки, м.

Значення вихідних даних представлені в таблиці А3 додатку А.

3.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 3

Відповідно до завдання (див. п. 3.2) виконати розрахунково-графічну роботу при наступних вихідних даних:

$$M_{\text{с}} = 2000\text{т}; \quad M_{\text{н}} = 40\text{т}; \quad M_{\text{к}} = 50\text{т}; \quad x_{\text{н}} = 5,0 \text{ м}; \quad x_{\text{к}} = 4,2 \text{ м};$$

$$I = 4\text{м}^4; \quad K = 40 \text{ МН/м}; \quad n = 59; \quad L_{\text{кд}} = 80\text{м}.$$

3.3.1 Побудова розрахункової схеми для визначення прогину корпусу судна на кильовій доріжці

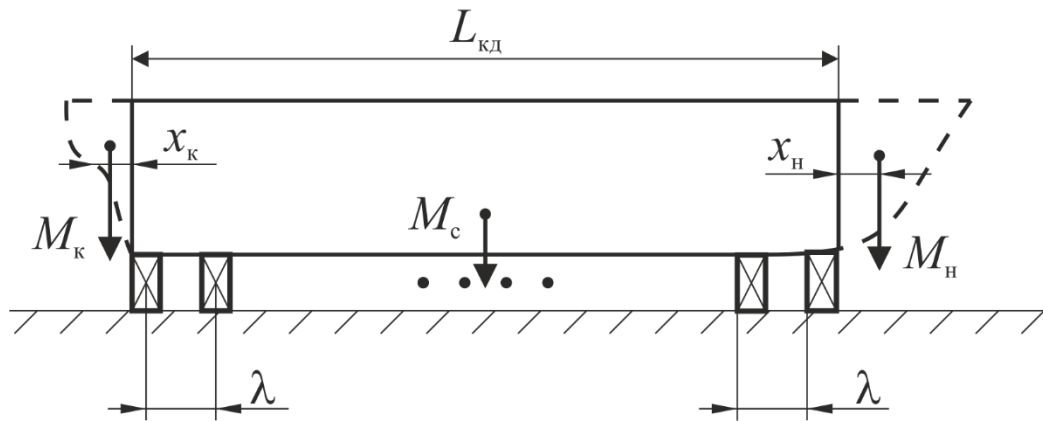
Корпус судна незмінного перерізу, який представлено на рис. 3.2,а, знаходиться на кильовій доріжці довжиною $L_{\text{кд}}$. Кожен кильблок з

коефіцієнтом жорсткості K можна розглядати як пружну опору, кількість яких достатньо велика ($n=59$). За таких умов коефіцієнт жорсткості кильблока K розподіляємо на середню відстань між кильблоками

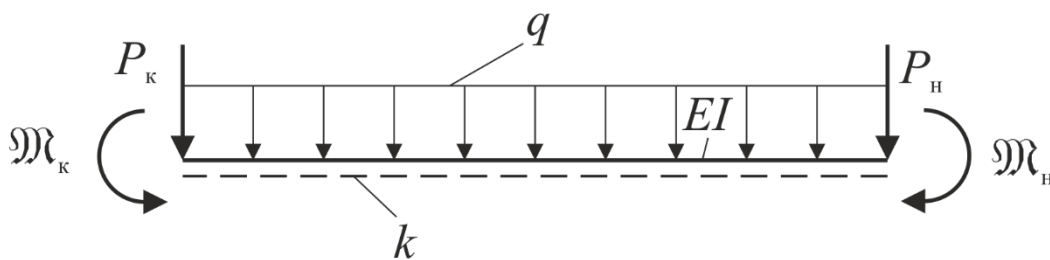
$$\lambda = \frac{l}{n-1} = \frac{80}{59-1} = 1,38\text{м}$$

і умовно замінюємо кильову доріжку суцільною пружною основою з погонним коефіцієнтом жорсткості

$$k = \frac{K}{\lambda} = \frac{40}{1,38} = 29 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}.$$



а



б

Рисунок 3.2 – Побудова розрахункової схеми корпусу судна

Дію звисаючих частин корпусу носової масою M_n і кормової масою M_k на корпус-балку замінюємо відповідно зосередженими силами P_n, P_k і моментами M_n, M_k (див. рис. 3.2,б), які визначаються як

$$P_{\text{н}} = M_{\text{н}} \cdot g = 40 \cdot 9,81 = 392 \text{ кН}; \quad P_{\text{к}} = M_{\text{к}} \cdot g = 50 \cdot 9,81 = 491 \text{ кН};$$

$$\mathfrak{M}_{\text{н}} = M_{\text{н}} \cdot g \cdot x_{\text{н}} = 40 \cdot 9,81 \cdot 5 = 1962 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\mathfrak{M}_{\text{к}} = M_{\text{к}} \cdot g \cdot x_{\text{к}} = 50 \cdot 9,81 \cdot 4,2 = 2060 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Вагу опорної частини корпусу, яку визначаємо за формулою

$$Q = (M_{\text{с}} - M_{\text{н}} - M_{\text{к}}) \cdot g = (2000 - 40 - 50) \cdot 9,81 \cong 18740 \text{ кН},$$

рівномірно розподіляємо вздовж цієї частини (див. рис. 3.2,б) з інтенсивністю

$$q = \frac{Q}{L_{\text{кк}}} = \frac{18740}{80} = 234 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Жорсткість корпусу-балки при згинанні EI та жорсткісні параметри пружної основи α і u мають наступні значення:

$$EI = 2 \cdot 10^5 \cdot 4 = 8 \cdot 10^5 \text{ МН} \cdot \text{м}^2; \quad \alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{29}{4 \cdot 8 \cdot 10^5}} = 0,0539 \text{ м}^{-1};$$

$$u = \alpha \frac{L_{\text{кд}}}{2} = 0,0539 \cdot \frac{80}{2} = 2,14.$$

3.3.2 Визначення прогину корпусу та інтенсивності погонної реакції пружної основи

Так як значення параметра u більше 1,8, то розрахунок згину корпусу від дії зосереджених на кінцях сили і моменту можна розглядати окремо для двох напівнескінчених балок (рис. 3.3), прогин кожної з яких визначається за формулами:

$$w_{\text{н}}(x) = e^{-\alpha x} \left[\frac{P_{\text{н}}}{2\alpha^3 EI} \cos \alpha x + \frac{\mathfrak{M}_{\text{н}}}{2\alpha^2 EI} (\cos \alpha x - \sin \alpha x) \right] + \frac{q}{k};$$

$$w_{\text{к}}(x) = e^{-\alpha x} \left[\frac{P_{\text{к}}}{2\alpha^3 EI} \cos \alpha x + \frac{\mathfrak{M}_{\text{к}}}{2\alpha^2 EI} (\cos \alpha x - \sin \alpha x) \right] + \frac{q}{k}.$$

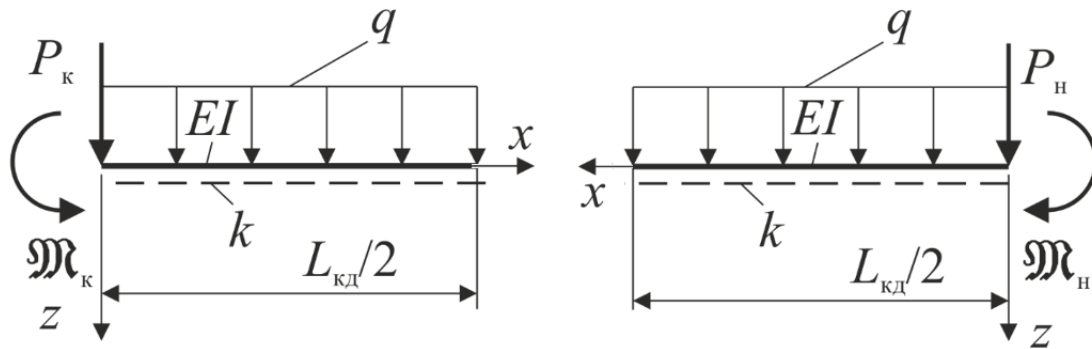


Рисунок 3.3 – Дві напівнескінченні балки на пружній основі

Тоді інтенсивність погонної реакції пружної основи для носової і кормової половин корпусу визначатиметься як

$$r_n(x) = k \cdot w_n(x); \quad r_k(x) = k \cdot w_k(x),$$

при цьому напрямок реакції протилежний напрямку прогину.

Розрахунки прогинів і реакцій пружної основи для окремих половин корпусу в п'яти характерних перерізах представлені в табличній формі (табл. 3.1).

3.3.3 Побудова епюр розрахункових величин w_n і w_k та r_n і r_k

На рис. 3.4 представлені епюри прогинів w_n і w_k та інтенсивностей погонної реакції r_n і r_k для окремих половин корпусу.

Отримані значення розрахункових величин показують, що найбільший прогин корпусу близький до 10 мм, а інтенсивність погонної реакції не перевищує 300 кН/м.

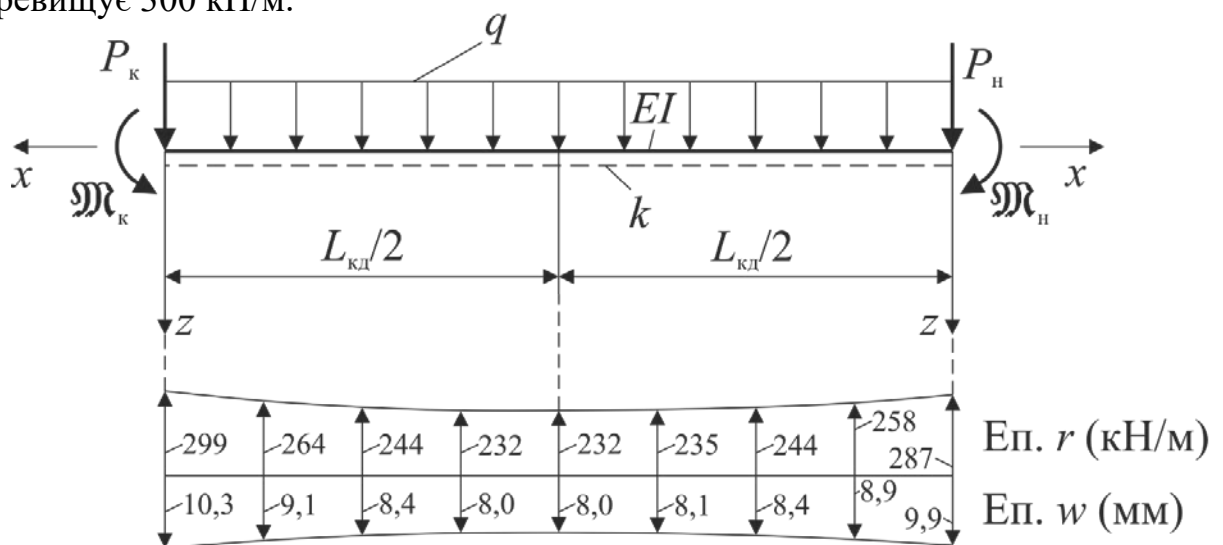


Рисунок 3.4 – Епюри прогину корпусу судна w та інтенсивності реакції кильової доріжки r

Таблиця 3.1 – Розрахунок прогину та інтенсивності погонної реакції кильової доріжки для носової і кормової половин корпусу

$EI = 8 \cdot 10^5 \text{ МН} \cdot \text{м}^2; \quad k = 29 \text{ МН/м}^2; \quad \alpha = 0,0539 \text{ м}^{-1};$ $q = 234 \text{ кН/м}; \quad P_{\text{н}} = 392 \text{ кН}; \quad \mathfrak{M}_{\text{н}} = 981 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad P_{\text{к}} = 491 \text{ кН}; \quad \mathfrak{M}_{\text{к}} = 1030 \text{ кН} \cdot \text{м}.$							
КОВИЙ №	Розрахункова величина	Розмір-ність	Координати перерізу $x, \text{м}$				
			0	$\frac{L_{\text{кд}}}{8} = 10$	$\frac{L_{\text{кд}}}{4} = 20$	$\frac{3}{8} L_{\text{кд}} = 30$	$\frac{L_{\text{кд}}}{2} = 40$
1	q/k	мм	8,1				
2	$2\alpha^2 \cdot EI$	МН	4648				
3	$2\alpha^3 \cdot EI$	МН/м	251				
4	$P_{\text{н}}/2\alpha^3 \cdot EI$	мм	1,6				
5	$\mathfrak{M}_{\text{н}}/2\alpha^2 \cdot EI$	мм	0,2				
6	$P_{\text{к}}/2\alpha^3 \cdot EI$	мм	2,0				
7	$\mathfrak{M}_{\text{к}}/2\alpha^2 \cdot EI$	мм	0,2				
8	$\alpha \cdot x$	-	0	0,539	1,078	1,617	2,156
9	$e^{-\alpha x}$	-	1	0,583	0,340	0,198	0,116
10	$\cos \alpha x$	-	1	0,858	0,472	- 0,461	- 0,552
11	$\sin \alpha x$	-	0	0,513	0,881	0,999	0,834
12	$\cos \alpha x - \sin \alpha x$	-	1	0,345	- 0,409	- 1,460	- 1,386
13	$[4] \times [9] \times [10]$	мм	1,6	0,8	0,3	- 0,1	- 0,1
14	$[5] \times [9] \times [12]$	мм	0,2	~0	~0	0,1	~0
15	$w_{\text{н}} = [1] + [13] + [14]$	м	9,9	8,9	8,4	8,1	8,0
16	$r_{\text{н}} = k \cdot w_{\text{н}}$	кН/м	287	258	244	235	232
17	$[6] \times [9] \times [10]$	мм	2,0	1,0	0,3	- 0,2	- 0,1
18	$[7] \times [9] \times [12]$	мм	0,2	~0	~0	0,1	~0
19	$w_{\text{к}} = [1] + [17] + [18]$	мм	10,3	9,1	8,4	8,0	8,0
20	$r_{\text{к}} = k \cdot w_{\text{к}}$	кН/м	299	264	244	232	232

3.4 Контрольні питання та завдання

1. Пояснити, в яких випадках можна розглядати згинання балки на пружній основі і як її зображають на розрахунковій схемі.
2. Яку величину називають погонним коефіцієнтом жорсткості пружної основи та вкажіть його розмірність?
3. Як визначають величину погонного коефіцієнта жорсткості пружної основи у випадку великої кількості кльблоків?
4. Якою залежністю пов'язані між собою прогин балки та інтенсивність погонної реакції пружної основи за гіпотезою Вінклера?
5. Запишіть диференціальне рівняння згинання балки незмінного перерізу на суцільній пружній основі сталої жорсткості, назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
6. Яку балку на пружній основі називають напівнескінченною?
7. За якою формулою визначають параметр пружної основи, що дозволяє віднести балку до класу напівнескінченної? Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
8. Запишіть формулу для визначення прогину балки на пружній основі від дії рівномірно розподіленого навантаження. Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
9. За якою формулою визнають прогин напівнескінченної балки незмінного перерізу на пружній основі сталої жорсткості від дії в початковому перерізі зосередженої сили? Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
10. Запишіть формулу, за якою визначають прогин напівнескінченної балки незмінного перерізу на пружній основі сталої жорсткості від дії в початковому перерізі зосередженого згинального моменту. Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.

4 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №4 «Розрахунок стійкості послабленої вирізом стінки флора суховантажного судна»

4.1 Короткі відомості з теорії

При спуску судна с похилого стапелю і постановці в док стінки балок днищового перекриття (вертикального кіля, стрингерів, флорів) зазнають значних місцевих (локальних) навантажень. Наявність в стінках великих вирізів різних призначень може призвести в цьому випадку до втрати ними стійкості.

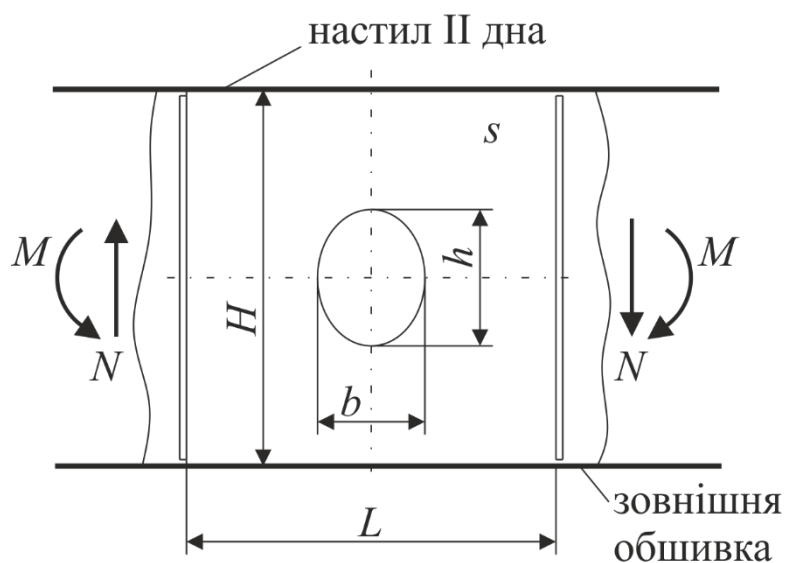
Така ситуація є, наприклад, дуже небезпечною особливо в третьому періоді поздовжнього спуску судна, бо провокує значні залишкові деформації днищового перекриття. Ліквідація таких наслідків пов'язана з певними складнощами і вимагатиме значних витрат при виконанні ремонтних відновлювальних робіт.

Оцінка стійкості стінок балок з великими вирізами розміром до половини висоти стінки, як правило, виконується ще на стадії конструювання днищевих перекриттів. Навантаження на перекриття в даному випадку встановлюють, виходячи з умов експлуатації.

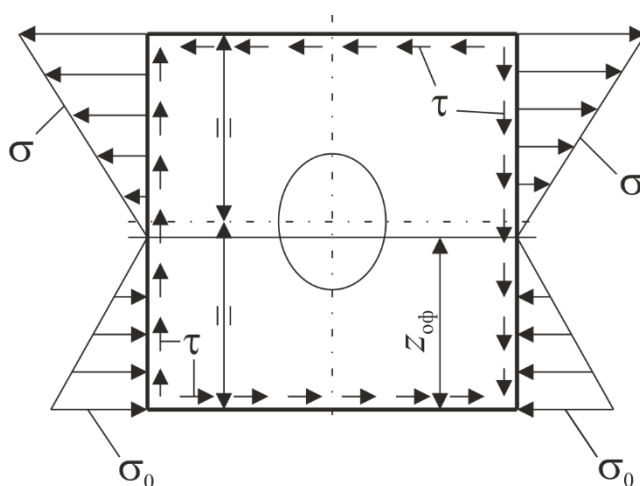
При спуску судна місцеві навантаження можуть виявитись значно більшими, хоча термін їх дії короткочасний. Тому оцінку стійкості стінок днищевих балок з вирізами треба виконувати обов'язково. При цьому допустиму величину коефіцієнта запасу стійкості можна приймати мінімальною, як це передбачено галузевим керівним документом [3], у порівнянні з оцінкою стійкості на експлуатаційні навантаження.

В поперечних перерізах балок днищового перекриття при його згинанні від дії місцевих навантажень виникає перерізуюча сила і згинальний момент (рис. 4.1,а). Напруження – нормальні σ і дотичні τ , – які діють на елемент стінки днищової балки вздовж його кромки, відповідно розподіляються по висоті за лінійним законом (σ) і практично рівномірно по всім кромкам (τ), як це показано на рис. 4.1,б.

Точний розв'язок задачі стійкості пластинчастого елемента з вирізом при одночасній дії декількох простих навантажень (напружень) є досить складним. При практичних розрахунках використовують наближену методику, яка викладена у галузевому керівному документі [3]. Ця методика дозволяє виконувати оцінку стійкості плоских елементів з вирізами при одночасній дії трьох простих видів навантажень: рівномірного одноосного стискання, згинання в площині елемента та чистому зсуві.



а



б

Рисунок 4.1 – Стінка балки днищового перекриття і її елемент

Суть згаданої методики полягає в тому, що критичне ейлерове навантаження, при якому може відбутися втрата стійкості (випучування плоского елемента стінки), визначається із припущення, що дійсна випукла гранична поверхня, яка розділяє силове поле на області стійкості й нестійкості, замінюється граничною площиною. Це дає змогу суттєво спростити розрахунок критичної величини силового параметра при одночасному зростанню всіх видів простих навантажень і виконати оцінку стійкості плоского елемента за отриманою величиною коефіцієнта запасу стійкості з деяким запасом.

Умова достатньої стійкості стінки балки днищового перекриття має вигляд

$$\eta \geq [\eta], \quad (4.1)$$

де η і $[\eta]$ – розрахована і допустима величини коефіцієнта запасу стійкості, який представляє собою відношення значення ейлерового критичного параметра до такого ж значення параметра, що характеризує напружений стан стінки.

При окремих простих напружених станах σ і τ (див. рис. 4.1,б) ейлереві критичні напруження в стінках сталевих балок з вирізами визначаються за формулами

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{oe}^0 &= 500 \left(\frac{100 \cdot s}{H} \right)^2 (1 - 0,8\lambda), \text{ МПа}; \\ \tau_e^0 &= 100 \left(\frac{100 \cdot s}{H} \right)^2 (1 - 0,8\lambda), \text{ МПа}, \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

де s і H – товщина і висота стінки, а $\lambda = h/H$ – відносна висота вирізу (див. рис. 4.1,а).

У випадку одночасного двокомпонентного навантаження елемента стінки напруженнями σ і τ при згинанні днищового перекриття характерним є їх пропорційне зростання до втрати стійкості, тобто маємо двокомпонентне навантаження з напруженнями $\sigma = \alpha\tau$ і τ . Тоді гранична

поверхня трикомпонентного навантаження трансформується в граничну лінію, яка описується рівнянням

$$\frac{\sigma_{oe}}{\sigma_{oe}^0} + \frac{\tau_e}{\tau_e^0} = 1. \quad (4.3)$$

У рівнянні (4.3) σ_{oe} і τ_e є ейлеревими критичними напруженнями при одночасному двокомпонентному навантаженні, а σ_{oe}^0 і τ_e^0 – при окремо діючих простих навантаженнях, які визначаються за формулами (4.2).

Якщо має місце пропорційне зростання компонентів напружень в стінці балки з параметром $\alpha = \sigma_0/\tau$, то з рівняння (4.3) отримаємо

$$\tau_e = \tau_e^0 \frac{1}{1 + 0,2\alpha} \quad (4.4)$$

або

$$\sigma_{oe} = \alpha \tau_e = \sigma_{oe}^0 \frac{1}{1 + 5/\alpha}. \quad (4.5)$$

Тоді фактичний коефіцієнт запасу стійкості η розраховується як

$$\eta = \frac{\tau_e}{\tau} = \frac{\tau_e^0}{\tau} \frac{1}{1 + 0,2\alpha} \quad (4.6)$$

або

$$\eta = \frac{\sigma_{oe}}{\sigma_o} = \frac{\sigma_{oe}^0}{\sigma_o} \frac{1}{1 + 5/\alpha}, \quad (4.7)$$

де τ і σ_o – фактичні значення напружень в елементі стінки, розраховані за формулами технічної теорії згинання балки, а ейлереві критичні напруження τ_e і σ_{oe} – за формулами (4.4) і (4.5).

За галузевим керівним документом [3] допустима величина коефіцієнта запасу стійкості $[\eta]$ приймається рівною 1,1, враховуючи короткочасний і випадковий характер максимальних локальних навантажень. Якщо умова (4.1) не виконується, то при наявності в стінці вирізу його треба підкріпити по всій кромці симетричним до стінки пояском-комінгсом площею $F_{пк} \cong 0,5sb$, де b – менший розмір овального вирізу або діаметр круглого

вирізу. При такому підкріпленні коефіцієнт запасу стійкості зростає приблизно на 20%.

Якщо розрахункова величина коефіцієнта запасу стійкості η виявилась меншою за 0,9, то по кромці вирізу треба встановити попарно повздовжні ребра жорсткості (полоси) товщиною не менше 0,8 товщини стінки S і висотою не менше 8 товщин ребра, що практично підвищить стійкість стінки з вирізом до рівня суцільної, а в деяких випадках перевищить цей рівень.

При розрахунках ейлеревих критичних напружень σ_{oe}^0 і τ_e^0 може виявитись, що їх величина перевищить 0,6 границі плинності матеріалу σ_T . Тоді, за існуючими в суднобудуванні рекомендаціями, істинні критичні напруження $\sigma_{окр}^0$ і $\tau_{кр}^0$ з урахуванням впливу на стійкість можливих відхилень від плоскої форми елемента стінки та властивостей матеріалу від лінійного закону між напруженнями і деформаціями повинні розраховуватися як

$$\sigma_{окр}^0 = \varphi_\sigma \cdot \sigma_{oe}^0; \quad \tau_{кр}^0 = \varphi_\tau \cdot \tau_e^0, \quad (4.8)$$

де φ_σ і φ_τ – коефіцієнти зниження ейлеревих критичних напружень до рівня істинних. Ці коефіцієнти можна розраховувати за наближеними формулами:

$$\varphi_\sigma = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + (\sigma_{oe}^0 / \sigma_T)^3}}; \quad \varphi_\tau = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + (\tau_e^0 / \tau_T)^3}}, \quad (4.9)$$

в останній з яких границя плинності при зсуві $\tau_T = 0,5\sigma_T$.

Тоді в рівнянні граничної лінії (4.3) відповідні ейлереві критичні напруження треба замінити істинними критичними. В цьому випадку, в принципі, можливі три варіанти опису граничної лінії:

$$\text{варіант I} - \quad \frac{\sigma_{окр}}{\sigma_{окр}^0} + \frac{\tau_{кр}}{\tau_{кр}^0} = 1; \quad (4.10)$$

$$\text{варіант II} - \frac{\sigma_{\text{окр}}}{\sigma_o^0} + \frac{\tau_e}{\tau_o^0} = 1; \quad (4.11)$$

$$\text{варіант III} - \frac{\sigma_{\text{oe}}}{\sigma_o^0} + \frac{\tau_{\text{кр}}}{\tau_o^0} = 1. \quad (4.12)$$

Враховуючи, що істинні критичні напруження пов'язані з ейлеревими критичними залежностями (4.8), в яких коефіцієнти φ_σ і φ_τ визначаються за виразами (4.9), отримаємо, відповідно до трьох варіантів граничні лінії (4.10) – (4.12), наступні формули для розрахунку фактичних коефіцієнтів запасу стійкості:

$$\text{варіант I} - \eta = \frac{\sigma_{\text{окр}}}{\sigma_o} = \frac{\sigma_{\text{oe}}^0}{\sigma_o^0} \frac{1}{(1/\varphi_\sigma) + (5/\alpha\varphi_\tau)} \quad (4.13)$$

або

$$\eta = \frac{\tau_{\text{кр}}}{\tau} = \frac{\tau_e^0}{\tau_o^0} \frac{1}{(1/\varphi_\tau) + (0,2\alpha/\varphi_\sigma)}; \quad (4.14)$$

$$\text{варіант II} - \eta = \frac{\sigma_{\text{окр}}}{\sigma_o} = \frac{\sigma_{\text{oe}}^0}{\sigma_o^0} \frac{1}{(1/\varphi_\sigma) + (5/\varphi_\sigma)} \quad (4.15)$$

або

$$\eta = \frac{\tau_e}{\tau} = \frac{\tau_e^0}{\tau_o^0} \frac{1}{1 + (0,2\alpha/\varphi_\sigma)}; \quad (4.16)$$

$$\text{варіант III} - \eta = \frac{\sigma_{\text{oe}}}{\sigma_o} = \frac{\sigma_{\text{oe}}^0}{\sigma_o^0} \frac{1}{1 + (5/\alpha\varphi_\tau)} \quad (4.17)$$

або

$$\eta = \frac{\tau_{\text{кр}}}{\tau} = \frac{\tau_e^0}{\tau_o^0} \frac{1}{(1/\varphi_\tau) + (5/\alpha)} . \quad (4.18)$$

Розраховані за формулами (4.13) – (4.18) фактичні коефіцієнти запасу стійкості використовуються для перевірки умови достатньої стійкості (4.1). При її невиконанні виріз підкріплюють, як про це описано раніше.

4.2 Зміст завдання і вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи № 4

Виконати перевірку стійкості послабленої центрально розташованим вирізом стінки флора суховантажного судна при згинанні днищового перекриття від місцевого навантаження:

1) побудувати розрахункову схему елемента стінки флора з урахуванням дії в її перерізах перерізуючої сили N_ϕ і згинального моменту M_ϕ ;

2) визначити напруження, які діють вздовж кромок пластинчастого елемента стінки;

3) визначити критичні напруження при складному навантажуванні елемента стінки з вирізом;

4) перевірити стійкість стінки флора при допустимому коефіцієнті запасу стійкості $[\eta]=1,1$ і в разі необхідності запропонувати конструктивні заходи щодо забезпечення умови стійкості.

Вихідні дані:

- геометричні параметри:

L, H, s – довжина, висота і товщина елемента стінки, мм;

h, b – висота і ширина вирізу, мм;

I_ϕ – момент інерції поперечного перерізу флора з приєднаними поясками відносно нейтральної осі, м^4 ;

$z_{o\phi}$ – відстань нейтральної осі від днищової обшивки, мм;

- силові параметри:

N_ϕ – перерізуюча сила в перерізах стінки, кН;

M_ϕ – згинальний момент в перерізах стінки, кН·м;

σ_T – границя плинності матеріалу стінки, МПа.

Числові значення величин вихідних даних представлені в таблиці А4 додатку А.

4.3 Приклад виконання розрахунково-графічної роботи № 4

Відповідно до завдання (див. п. 4.2) виконати розрахунково-графічну роботу № 4 при наступних вихідних даних:

$$L = 700 \text{ мм}; \quad H = 1400 \text{ мм}; \quad s = 12 \text{ мм}; \quad h = 500 \text{ мм}; \quad b = 350 \text{ мм};$$

$$I_{\phi} = 0,02 \text{ м}^4; \quad z_{o\phi} = 650 \text{ мм}; \quad N_{\phi} = 700 \text{ кН}; \quad M_{\phi} = 160 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad \sigma_T = 355 \text{ МПа}$$

4.3.1 Побудова розрахункової схеми елемента стінки для оцінки її стійкості

Елемент стінки флора з вирізом обмежений зовнішньою обшивкою, настилом другого дна та вертикальними ребрами жорсткості. За існуючими у суднобудуванні рекомендаціями пластинчастий елемент вважається шарнірно обпертим на жорсткий опорний контур.

Так як в поперечних перерізах стінки флора виникають перерізуюча сила N_{ϕ} і згинальний момент M_{ϕ} , то вздовж всіх кромek елемента діють практично рівномірно розподілені дотичні напруження τ , а на вертикальних – нормальні згинні напруження σ . Тоді розрахункова схема для оцінки стійкості елемента стінки флора є такою, як показано на рис. 4.2.

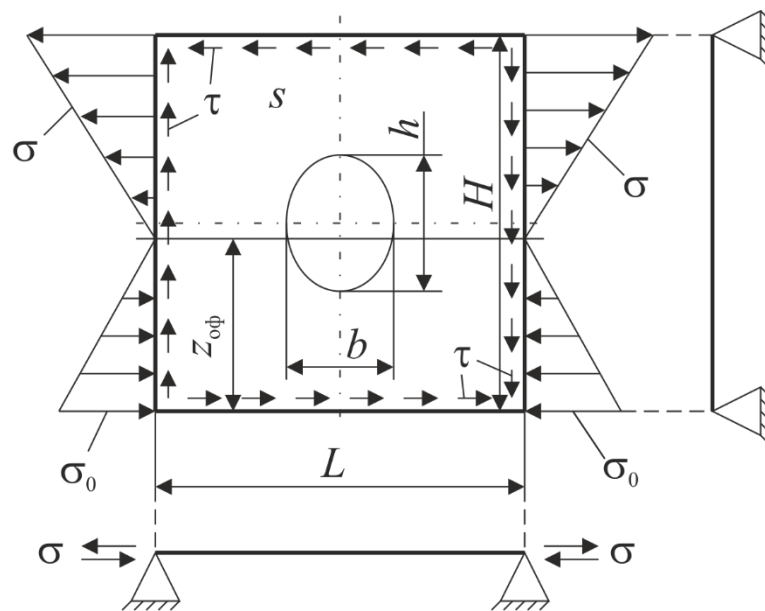


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема для оцінки стійкості елемента стінки балки з вирізом

4.3.2 Визначення напружень τ і σ , які діють вздовж кромки елемента

Будемо вважати, що перерізуюча сила N_ϕ сприймається тільки стінкою флора без урахування приєднаних поясків. Тоді середні значення напружень τ можна визначити як

$$\tau = \frac{N_\phi}{H \cdot s} = \frac{700 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 0,012} = 41,7 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 41,7 \text{ МПа}.$$

Максимальне нормальне напруження σ_0 при згинанні стінки в своїй площині (див. рис. 4.2) можемо розрахувати, користуючись формулою технічної теорії згинання балок:

$$\sigma_0 = \frac{M_\phi}{I_\phi} z_{o\phi} = \frac{160 \cdot 10^3}{0,02} \cdot 0,65 = 52 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 5,2 \text{ МПа}.$$

4.3.3 Визначення критичних напружень при одночасній дії на елемент стінки τ і σ

Ейлереві критичні напруження при окремо діючих τ і σ визначаємо за формулами:

$$\tau_e^0 = 100 \left(\frac{100 \cdot s}{H} \right)^2 \left(1 - 0,8 \frac{h}{H} \right) = 100 \left(\frac{100 \cdot 12}{1400} \right)^2 \left(1 - 0,8 \frac{500}{1400} \right) = 52,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{oe}^0 = 500 \left(\frac{100 \cdot s}{H} \right)^2 \left(1 - 0,8 \frac{h}{H} \right) = 500 \left(\frac{100 \cdot 12}{1400} \right)^2 \left(1 - 0,8 \frac{500}{1400} \right) = 262,5 \text{ МПа}.$$

Розраховані величини ейлеревих критичних напружень τ_e^0 і σ_{oe}^0 відносяться до відповідних границь плинності матеріалу τ_T і σ_T як

$$\frac{\tau_e^0}{\tau_T} = \frac{\tau_e^0}{0,5 \cdot \sigma_T} = \frac{52,5}{0,5 \cdot 355} = 0,296; \quad \frac{\sigma_{oe}^0}{\sigma_T} = \frac{261,5}{355} = 0,739.$$

Так як відношення σ_{oe}^0 / σ_T перевищує 0,6, то істинні критичні напруження $\sigma_{окр}^0$ визначимо за формулою

$$\sigma_{окр}^0 = \varphi_\sigma \cdot \sigma_{oe}^0,$$

де

$$\varphi_{\sigma} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + (\sigma_{oe}^0 / \sigma_{\tau})^3}} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + (0,739)^3}} = 0,893,$$

і тоді

$$\sigma_{окр}^0 = 0,893 \cdot 262,5 = 234 \text{ МПа}.$$

4.3.4 Перевірка умови стійкості стінки флора

При діючих вздовж кромки елемента тільки напруження τ критичні напруження дорівнюють ейлеревим критичним напруженням $\tau_e^0 = 52,5 \text{ МПа}$, а при дії тільки нормальних згинальних напружень σ – істинним критичним напруженням $\sigma_{окр}^0 = 234 \text{ МПа}$. Тоді при одночасному пропорційному зростанні напружень τ і σ до втрати елементом стінки стійкості з параметром

$$\alpha = \frac{\sigma_0}{\tau} = \frac{5,2}{41,7} = 0,125$$

значення фактичного коефіцієнта запасу стійкості η визначаємо за формулами:

$$\eta = \frac{\sigma_{oe}^0}{\sigma_0} \frac{1}{(1/\varphi_{\sigma}) + (5/\alpha)} = \frac{262,5}{5,2} \frac{1}{(1/0,893) + (5/0,125)} \cong 1,23$$

або

$$\eta = \frac{\tau_e^0}{\tau} \frac{1}{1 + (0,2\alpha/\varphi_{\sigma})} = \frac{52,5}{41,7} \frac{1}{1 + (0,2 \cdot 0,125/0,893)} \cong 1,23.$$

Умова достатньої стійкості має вигляд

$$\eta \geq [\eta],$$

де допустимий коефіцієнт запасу стійкості $[\eta] = 1,1$.

Так як розрахований фактичний коефіцієнт запасу стійкості $\eta = 1,23$ більше величини допустимого $[\eta]$, то умова стійкості виконується. Тож підкріплення стінки з вирізом не потрібні.

4.4 Контрольні питання та завдання

1. Які напруження називають ейлеревими критичними та істинними критичними? Як їх позначають і яку розмірність вони мають?
2. За якою формулою визначають нормальні напруження в стінках балок при згинанні суднових перекриттів? Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
3. За якою наближеною формулою визначають дотичні напруження в стінках при згинанні балок з великими приєднаними поясками? Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
4. Як впливає на стійкість пластинчастих елементів наявність в них великих вирізів?
5. Запишіть формулу, за якою визначають ейлереві критичні напруження σ_{oc}^0 і τ_c^0 в стінці сталевій балки при її згинанні з урахуванням наявності в ній вирізу. Назвіть всі величини і вкажіть їх розмірність.
6. Поясніть, як визначають істинні критичні напруження з урахуванням відхилення від лінійного зв'язку між напруженнями і деформаціями.
7. Що представляє собою силовий простір і на які області його поділяють при дослідженні стійкості пружних систем?
8. Що називають граничною поверхнею (лінією) і який вигляд вона має?
9. Поясніть, яке відношення називають коефіцієнтом запасу стійкості.
10. Який вигляд має умова стійкості плоского елемента стінки балки? Назвіть всі величини в цій умові та вкажіть, як їх встановлюють.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Козляков В.В., Финкель Г.Н., Хархурим И.Я. Проектирование доковых опорных устройств. Ленинград: Судостроение. 1973. 176 с.
2. Шиманский, Ю.А. Расчет прочности корпуса корабля при постановке в док и при спуске на воду. Ленинград: Оборонгиз. 1946. 92 с.
3. РД 5.1033-80. Спуск судов. Прочность корпусов и спусковых устройств. Москва: Изд-во стандартов. 165 с.
4. Суслов В.П., Кочанов Ю.П., Спихтаренко В.Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости: учебник. Ленинград: Судостроение. 1972. 720с.
5. Строительная механика корабля и теория упругости: учебник для вузов. В 2-х томах. Т.2: Постнов В.А., Ростовцев Д.М., Суслов В.П., Кочанов Ю.П. Изгиб и устойчивость стержней, стержневых систем, пластин и оболочек. Ленинград: Судостроение. 1987. 416 с.
6. Справочник по строительной механике корабля. В 3-х томах. / под общей ред. акад. Ю.А. Шиманского. Ленинград: Судпромгиз. 1958. Т.2. 528 с.
7. Справочник по строительной механике корабля. В 3-х томах. / науч. ред. О.М. Палий. Ленинград: Судостроение. 1982. Т.2.: Пластины. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы. 464 с.
8. Спихтаренко В.Н. Методическое руководство по расчету пластин / Николаев. корабл. ин-т. Николаев: НКИ. 1979. 21с.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Вихідні дані для розрахунково-графічної роботи № 1
«Розрахунок коефіцієнта жорсткості кільблока і параметрів кільової доріжки»

Варіант	l , м	l_q , м	h_m , м	h_d , м	h_c , м	b , м	F_m , м ²	E_m , МПа	E_d , МПа	E_c , МПа	R_n , МПа	M_c , т	k_H	$L_{кд}$, м
1	0,80	0,76	0,75	0,50	0,15	0,20	0,020	$2 \cdot 10^5$	280	60	3,1	1750	1,4	80
2	0,80	0,76	0,74	0,50	0,16	0,20	0,020		280	60	3,1	1800	1,4	82
3	0,80	0,76	0,73	0,50	0,17	0,20	0,020		280	60	3,1	1850	1,4	84
4	0,80	0,76	0,72	0,50	0,18	0,20	0,020		280	60	3,1	1900	1,4	86
5	0,85	0,80	0,70	0,60	0,19	0,25	0,025		300	65	3,1	1950	1,4	88
6	0,85	0,80	0,70	0,60	0,20	0,25	0,025		300	65	3,1	2000	1,4	90
7	0,85	0,80	0,68	0,60	0,21	0,25	0,025		300	65	3,2	2050	1,5	88
8	0,85	0,80	0,67	0,60	0,22	0,25	0,025		300	65	3,2	2100	1,5	86
9	0,90	0,82	0,66	0,50	0,21	0,30	0,030		320	70	3,2	2150	1,5	84
10	0,90	0,82	0,64	0,50	0,20	0,30	0,030		320	70	3,2	2200	1,5	82
11	0,90	0,82	0,70	0,50	0,19	0,30	0,030		320	70	3,2	2250	1,5	80
12	0,90	0,82	0,72	0,50	0,18	0,30	0,030		320	70	3,2	2300	1,5	78
13	0,85	0,81	0,71	0,50	0,20	0,20	0,021		280	60	3,1	2250	1,4	80
14	0,85	0,81	0,73	0,50	0,18	0,20	0,022		280	60	3,1	2200	1,4	82
15	0,85	0,81	0,74	0,55	0,15	0,20	0,023		280	60	3,1	2150	1,4	84
16	0,85	0,81	0,75	0,55	0,15	0,20	0,024		280	60	3,1	2100	1,4	86
17	0,80	0,78	0,74	0,55	0,15	0,25	0,025		300	65	3,2	2050	1,5	88
18	0,80	0,78	0,73	0,55	0,15	0,25	0,026		300	65	3,2	2000	1,5	90
19	0,80	0,78	0,72	0,55	0,16	0,25	0,027		300	65	3,2	1950	1,5	78
20	0,80	0,78	0,71	0,55	0,16	0,25	0,028		300	65	3,2	1900	1,5	80

Таблиця А2 – Вихідні дані для розрахунково-графічної роботи № 2 «Розрахунок міцності й жорсткості зовнішньої обшивки днища під кліттю»

Варіант	№ поля обшивки	p , кПа	a , мм	b , мм	s , мм	σ_T , МПа
1	1	100	1800	600	10	235
2	2	95	1860	620	10	235
3	3	90	1920	640	10	235
4	1	95	1980	660	10	235
5	2	100	2040	680	10	235
6	3	95	2100	700	12	315
7	1	90	2160	720	12	315
8	2	85	2220	740	12	315
9	3	80	2280	760	12	315
10	1	85	2340	780	12	315
11	2	100	1600	800	14	355
12	3	105	1640	820	14	355
13	1	110	1630	840	14	355
14	2	115	1720	860	14	355
15	3	120	1760	880	14	355
16	1	125	1720	860	16	390
17	2	130	1680	840	16	390
18	3	135	1640	820	16	390
19	1	140	1600	800	16	390
20	2	145	1560	780	16	390

Таблиця АЗ – Вихідні дані для розрахунково-графічної роботи № 3
«Визначення реакції кільової доріжки перед спуском судна на воду»

Варіант	M , т	M_H , т	M_K , т	x_H , м	x_K , м	I , м ⁴	K , МН/м	n	$L_{\text{кд}}$, м
1	2020	45	55	4,5	4,0	4,25	32,5	60	80
2	2040	46	56	5,0	4,1	4,20	33,0	60	81
3	2060	47	57	4,6	4,2	4,15	33,5	60	82
4	2080	48	58	5,1	4,3	4,10	34,0	60	83
5	2100	49	59	4,7	4,4	4,05	34,5	60	84
6	2120	50	60	5,2	4,5	4,00	35,0	61	85
7	2140	46	55	4,8	4,6	4,05	35,5	61	86
8	2160	47	60	5,3	4,7	4,10	36,0	61	87
9	2180	48	59	5,4	4,8	4,15	36,5	61	88
10	2200	49	58	5,5	4,9	4,20	37,0	61	89
11	2220	50	57	5,4	5,0	4,25	37,5	62	90
12	2240	49	56	5,3	4,9	4,30	38,0	62	91
13	2260	48	55	5,2	4,8	4,35	38,5	62	92
14	2280	47	56	5,1	4,7	4,40	39,0	62	93
15	2300	46	57	5,0	4,6	4,45	39,5	62	94
16	2320	45	58	4,9	4,5	4,50	40,0	63	95
17	2340	44	59	4,8	4,4	4,55	40,5	63	96
18	2360	43	60	4,7	4,3	4,60	41,0	63	97
19	2380	42	61	4,6	4,2	4,65	41,5	63	98
20	2400	41	62	4,5	4,1	4,70	42,0	63	99

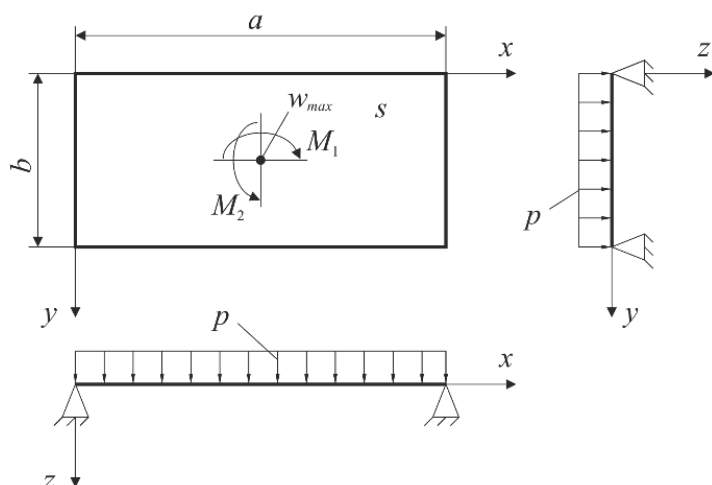
Таблиця А4 – Вихідні дані для розрахунково-графічної роботи № 4
«Розрахунок стійкості послабленої вирізом стінки флора суховантажного судна»

Варіант	L , мм	H , мм	s , мм	h , мм	b , мм	$I_{\phi} \cdot 10^4$, м ⁴	$z_{0\phi}$, мм	M_{ϕ} , кН·м	N_{ϕ} , кН	σ_T , МПа
1	700	1200	10	450	350	0,0150	550	151	610	315
2	710	1200	10	460	350	0,0155	550	152	620	315
3	720	1200	10	470	350	0,0160	550	153	630	315
4	730	1200	10	480	350	0,0165	550	154	640	355
5	740	1200	10	490	350	0,0170	550	155	650	355
6	750	1300	11	500	350	0,0175	600	156	660	355
7	760	1300	11	500	350	0,0180	600	157	670	390
8	770	1300	11	500	350	0,0185	600	158	680	390
9	780	1300	11	500	350	0,0190	600	159	690	390
10	790	1300	11	500	350	0,0195	600	160	600	315
11	800	1400	12	550	400	0,0200	650	161	610	315
12	810	1400	12	550	400	0,0205	650	162	620	315
13	820	1400	12	550	400	0,0210	650	163	630	355
14	830	1400	12	550	400	0,0215	650	164	640	355
15	840	1400	12	550	400	0,0220	650	165	650	355
16	720	1250	11	480	350	0,0150	580	152	640	390
17	720	1250	11	480	400	0,0155	580	153	630	390
18	730	1300	11	500	350	0,0160	580	154	620	390
19	730	1300	11	500	350	0,0165	580	155	710	315
20	740	1280	12	550	400	0,0170	570	156	690	315

ДОДАТОК Б

Розрахункові формули і таблиці для визначення максимального прогину та погонних згинальних моментів пластин

1. Прямокутна пластина на жорсткому опорному контурі, шарнірно обперта на всіх кромках



Схема

Розрахункові формули:

$$w_{\max} = w_1 = k_1 \frac{pb^4}{Es^3};$$

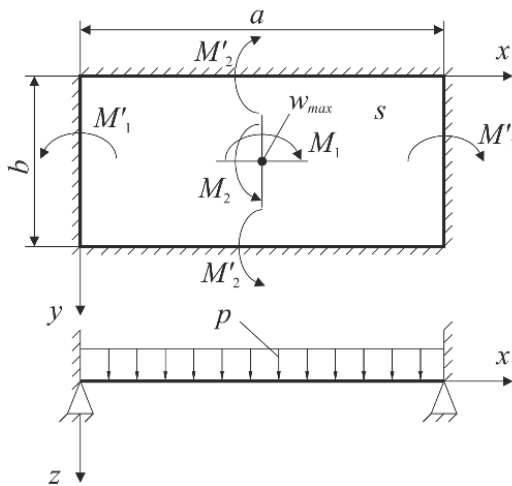
$$M_1 = -k_2 pb^2;$$

$$M_2 = -k_3 pb^2.$$

$\gamma = a/b$	k_1	k_2	k_3
1,0	0,0433	0,0479	0,0479
1,1	0,0530	0,0494	0,0553
1,2	0,0616	0,0501	0,0626
1,3	0,0697	0,0504	0,0693
1,4	0,0770	0,0506	0,0753
1,5	0,0843	0,0499	0,0812
1,6	0,0906	0,0493	0,0862
1,7	0,0964	0,0486	0,0908
1,8	0,1017	0,0479	0,0948
1,9	0,1064	0,0471	0,0985
2,0	0,1116	0,0464	0,1017
3,0	0,1336	0,0404	0,1189
4,0	0,1400	0,0384	0,1235
5,0	0,1416	0,0375	0,1246
∞	0,1422	0,0375	0,1250

2. Прямокутна пластина на жорсткому опорному контурі жорстко затиснена на всіх кромках

Схема



Розрахункові формули:

$$w_{\max} = w_1 = k_1 \frac{pb^4}{Es^3};$$

$$M_1 = -k_2 pb^2;$$

$$M_2 = -k_3 pb^2;$$

$$M'_1 = k_4 pb^2;$$

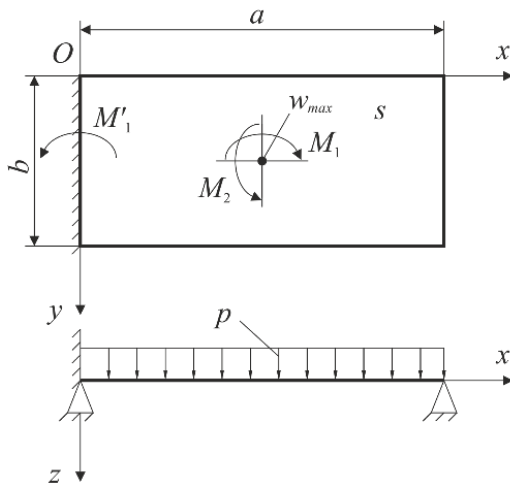
$$M'_2 = k_5 pb^2.$$

$\gamma = a/b$	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1,0	0,0138	0,0229	0,0229	0,0517	0,0517
1,1	0,0165	0,0234	0,0267	0,0491	0,0554
1,2	0,0191	0,0231	0,0302	0,0504	0,0612
1,3	0,0210	0,0224	0,0328	0,0508	0,0668
1,4	0,0227	0,0215	0,0350	0,0511	0,0714
1,5	0,0241	0,0204	0,0368	0,0515	0,0753
1,6	0,0251	0,0193	0,0373	0,0515	0,0784
1,7	0,0260	0,0182	0,0378	0,0515	0,0807
1,8	0,0267	0,0174	0,0389	0,0515	0,0821
1,9	0,0272	0,0165	0,0395	0,0515	0,0826
2,0	0,0276	—	0,0399	0,0515	0,0829
3,0	0,0279	—	0,0405	0,0515	0,0832
4,0	0,0282	—	0,0409	0,0515	0,0833
5,0	0,0284	—	0,0413	0,0515	0,0833
∞	0,0284	0,0125	0,0417	0,0515	0,0833

3. Прямокутна пластина на жорсткому опорному контурі з однією жорстко затисненою і трьома шарнірно обпертими кромками

$$a > b$$

Схема



Розрахункові формули:

$$w_{\max} = w_1 = k_1 \frac{pb^4}{Es^3};$$

$$M_1 = -k_2 pb^2;$$

$$M_2 = -k_3 pb^2;$$

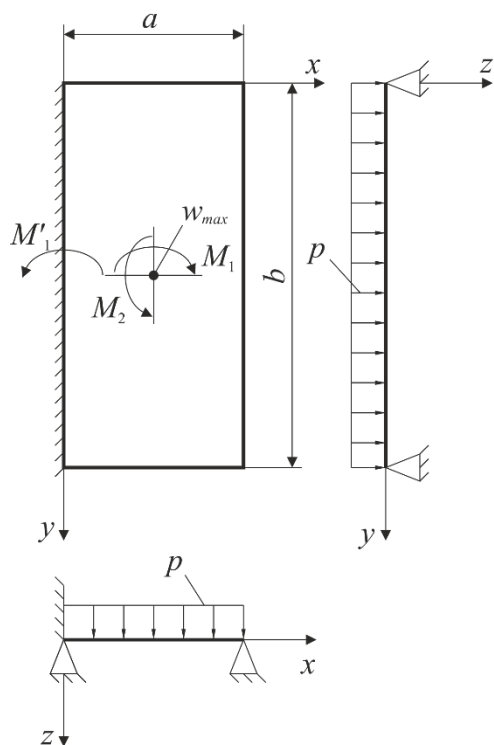
$$M_1' = k_4 pb^2.$$

$\gamma = a/b$	k_1	k_2	k_3	k_4
0	0,057	0,062	0,019	0,125
1:2	0,053	0,060	0,023	0,122
1:1,5	0,046	0,054	0,028	0,111
1:1,4	0,044	0,052	0,030	0,108
1:1,3	0,041	0,050	0,031	0,103
1:1,2	0,038	0,047	0,032	0,098
1:1,1	0,035	0,043	0,033	0,091
1,0	0,030	0,039	0,034	0,081
1,1	0,038	0,042	0,041	0,092
1,2	0,047	0,044	0,049	0,098
1,3	0,055	0,045	0,056	0,104
1,4	0,063	0,047	0,063	0,109
1,5	0,070	0,048	0,069	0,112
2,0	0,101	0,047	0,094	0,122
∞	0,142	0,037	0,125	0,125

$$a < b$$

Схема

Розрахункові формули:



$$w_{\max} = w_1 = k_1 \frac{pb^4}{Es^3};$$

$$M_1 = -k_2 pb^2;$$

$$M_2 = -k_3 pb^2;$$

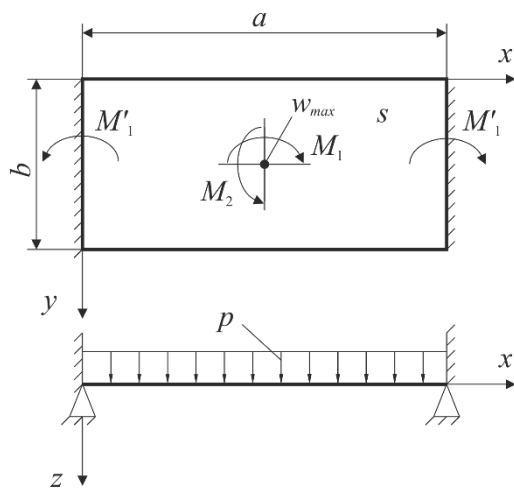
$$M'_1 = k_4 pb^2.$$

$\gamma = a/b$	k_1	k_2	k_3	k_4
0	0,057	0,062	0,019	0,125
1:2	0,053	0,060	0,023	0,122
1:1,5	0,046	0,054	0,028	0,111
1:1,4	0,044	0,052	0,030	0,108
1:1,3	0,041	0,050	0,031	0,103
1:1,2	0,038	0,047	0,032	0,098
1:1,1	0,035	0,043	0,033	0,091
1,0	0,030	0,039	0,034	0,081
1,1	0,038	0,042	0,041	0,092
1,2	0,047	0,044	0,049	0,098
1,3	0,055	0,045	0,056	0,104
1,4	0,063	0,047	0,063	0,109
1,5	0,070	0,048	0,069	0,112
2,0	0,101	0,047	0,094	0,122
∞	0,142	0,037	0,125	0,125

4. Прямокутна пластина на жорсткому опорному контурі з двома паралельними жорстко затисненими кромками і двома шарнірно опертими

$$a > b$$

Схема



Розрахункові формули:

$$w_{\max} = w_1 = k_1 \frac{pb^4}{Es^3};$$

$$M_1 = -k_2 pb^2;$$

$$M_2 = -k_3 pb^2;$$

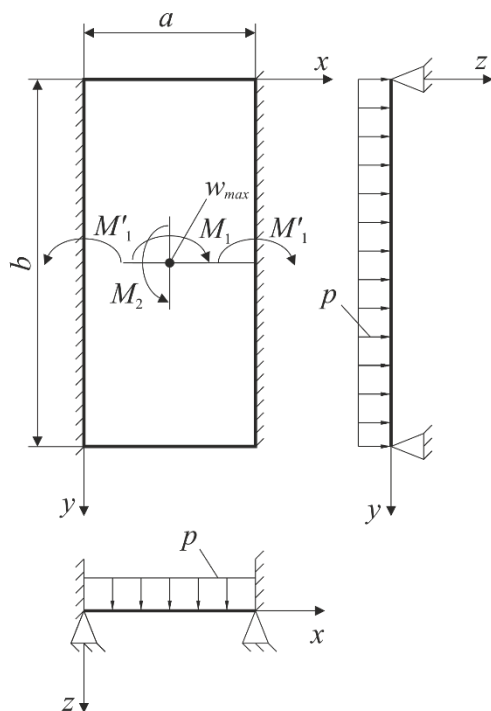
$$M'_1 = k_4 pb^2.$$

$\gamma = a/b$	k_1	k_2	k_3	k_4
1,0	0,0214	0,0332	0,0244	0,0698
1,1	0,0276	0,0370	0,0309	0,0788
1,2	0,0349	0,0401	0,0377	0,0868
1,3	0,0425	0,0426	0,0447	0,0938
1,4	0,0504	0,0446	0,0517	0,0998
1,5	0,0582	0,0460	0,0585	0,1049
1,6	0,0658	0,0469	0,0650	0,1090
1,7	0,0730	0,0474	0,0711	0,1124
1,8	0,0799	0,0476	0,0768	0,1152
1,9	0,0863	0,0476	0,0821	0,1173
2,0	0,0987	0,0474	0,0869	0,1191
3,0	0,1276	0,0421	0,1144	0,1246
4,0	0,1383	0,0390	0,1223	0,1250
5,0	0,1412	0,0379	0,1243	0,1250
∞	0,1422	0,0375	0,1250	0,1250

$$a < b$$

Схема

Розрахункові формули:



$$w_{\max} = w_1 = k_1 \frac{pb^4}{Es^3};$$

$$M_1 = -k_2 pb^2;$$

$$M_2 = -k_3 pb^2;$$

$$M'_1 = k_4 pb^2.$$

$\gamma = b/a$	k_1	k_2	k_3	k_4
1,0	0,0214	0,0332	0,0244	0,0698
1,1	0,0228	0,0356	0,0230	0,0739
1,2	0,0243	0,0374	0,0216	0,0770
1,3	0,0255	0,0388	0,0202	0,0793
1,4	0,0262	0,0399	0,0189	0,0808
1,5	0,0270	0,0406	0,0172	0,0829
1,6	—	—	—	—
1,7	—	—	—	—
1,8	—	—	—	—
1,9	—	—	—	—
2,0	0,0284	0,0421	0,0142	0,0842
3,0	—	—	—	—
4,0	—	—	—	—
5,0	—	—	—	—
∞	0,0284	0,0417	0,0125	0,0833

ДОДАТОК В

Значення тригонометричних і степеневих функцій

αx	$\sin \alpha x$	$\cos \alpha x$	$e^{-\alpha x}$	αx	$\sin \alpha x$	$\cos \alpha x$	$e^{-\alpha x}$
0,00	0,00000	1,00000	1,00000	0,30	0,29552	0,95534	0,74082
0,01	0,01000	0,99995	0,99005	0,31	0,30506	0,95233	0,73345
0,02	0,02000	0,99980	0,98020	0,32	0,31457	0,94924	0,72615
0,03	0,03000	0,99955	0,97045	0,33	0,32404	0,94604	0,71892
0,04	0,03999	0,99920	0,96079	0,34	0,33349	0,94275	0,71177
0,05	0,04998	0,99875	0,95123	0,35	0,34290	0,93937	0,70469
0,06	0,05996	0,99820	0,94176	0,36	0,35227	0,93590	0,69768
0,07	0,06994	0,99755	0,93239	0,37	0,36162	0,93233	0,69073
0,08	0,07991	0,99680	0,92312	0,38	0,37092	0,92866	0,68386
0,09	0,08988	0,99595	0,91393	0,39	0,38019	0,92491	0,67706
0,10	0,09983	0,99500	0,90484	0,40	0,38942	0,92106	0,67032
0,11	0,10978	0,99396	0,89583	0,41	0,39861	0,91712	0,66365
0,12	0,11971	0,99281	0,88692	0,42	0,40776	0,91309	0,65705
0,13	0,12963	0,99156	0,87810	0,43	0,41687	0,90897	0,65051
0,14	0,13954	0,99022	0,86936	0,44	0,42594	0,90475	0,64404
0,15	0,14944	0,98877	0,86071	0,45	0,43497	0,90045	0,63763
0,16	0,15932	0,98723	0,85214	0,46	0,44395	0,89605	0,63128
0,17	0,16918	0,98558	0,84366	0,47	0,45289	0,89157	0,62500
0,18	0,17903	0,98384	0,83527	0,48	0,46178	0,88699	0,61878
0,19	0,18886	0,98200	0,82696	0,49	0,47063	0,88233	0,61263
0,20	0,19867	0,98007	0,81873	0,50	0,47943	0,87758	0,60653
0,21	0,20846	0,97803	0,81058	0,51	0,48818	0,87274	0,60050
0,22	0,21823	0,97803	0,80252	0,52	0,49688	0,86782	0,59452
0,23	0,22798	0,97367	0,79453	0,53	0,50553	0,86281	0,58860
0,24	0,23770	0,97134	0,78663	0,54	0,51414	0,85771	0,58275
0,25	0,24740	0,96891	0,77880	0,55	0,52269	0,85252	0,57695
0,26	0,25708	0,96639	0,77105	0,56	0,53119	0,84726	0,57121
0,27	0,26673	0,96377	0,76338	0,57	0,53963	0,84190	0,56553
0,28	0,27636	0,96106	0,75578	0,58	0,54802	0,83646	0,55990
0,29	0,28595	0,95824	0,74826	0,59	0,55636	0,83094	0,55433

αx	$\sin \alpha x$	$\cos \alpha x$	$e^{-\alpha x}$	αx	$\sin \alpha x$	$\cos \alpha x$	$e^{-\alpha x}$
0,60	0,56464	0,82534	0,54881	1,00	0,84147	0,54030	0,36788
0,61	0,57287	0,81965	0,54335	1,01	0,84683	0,53186	0,36422
0,62	0,58104	0,81388	0,53794	1,02	0,85211	0,52337	0,36059
0,63	0,58914	0,80803	0,53259	1,03	0,85730	0,51482	0,35701
0,64	0,59720	0,80210	0,52729	1,04	0,86240	0,50622	0,35345
0,65	0,60519	0,79608	0,52205	1,05	0,86742	0,49757	0,34994
0,66	0,61312	0,78999	0,51685	1,06	0,87236	0,48887	0,34646
0,67	0,62099	0,78382	0,51171	1,07	0,87720	0,48012	0,34301
0,68	0,62879	0,77757	0,50662	1,08	0,88196	0,47133	0,33960
0,69	0,63654	0,77125	0,50158	1,09	0,88663	0,46249	0,33622
0,70	0,64422	0,76484	0,49659	1,10	0,89121	0,45360	0,33287
0,71	0,65183	0,75836	0,49164	1,11	0,89570	0,44466	0,32956
0,72	0,65938	0,75181	0,48675	1,12	0,90010	0,43568	0,32628
0,73	0,66687	0,74517	0,48191	1,13	0,90441	0,42666	0,32303
0,74	0,67429	0,73847	0,47711	1,14	0,90863	0,41759	0,31982
0,75	0,68164	0,73169	0,47237	1,15	0,91276	0,40849	0,31664
0,76	0,68892	0,72484	0,46767	1,16	0,91680	0,39934	0,31349
0,77	0,69614	0,71791	0,46301	1,17	0,92075	0,39015	0,31037
0,78	0,70328	0,71091	0,45841	1,18	0,92461	0,38092	0,30728
0,79	0,71035	0,70385	0,45384	1,19	0,92837	0,37166	0,30422
0,80	0,71736	0,69671	0,44933	1,20	0,93204	0,36236	0,30119
0,81	0,72429	0,68950	0,44486	1,21	0,93562	0,35302	0,29820
0,82	0,73115	0,68222	0,44043	1,22	0,93910	0,34365	0,29523
0,83	0,73793	0,67488	0,43605	1,23	0,94249	0,33424	0,29229
0,84	0,74464	0,66746	0,43171	1,24	0,94578	0,32480	0,28938
0,85	0,75128	0,65998	0,42741	1,25	0,94898	0,31532	0,28650
0,86	0,75784	0,65244	0,42316	1,26	0,95209	0,30582	0,28365
0,87	0,76433	0,64483	0,41895	1,27	0,95510	0,29628	0,28083
0,88	0,77074	0,63715	0,41478	1,28	0,95802	0,28672	0,27804
0,89	0,77707	0,62941	0,41066	1,29	0,96084	0,27712	0,27527
0,90	0,78333	0,62161	0,40657	1,30	0,96356	0,26750	0,27253
0,91	0,78950	0,61375	0,40252	1,31	0,96618	0,25785	0,26982
0,92	0,79560	0,60582	0,39852	1,32	0,96872	0,24818	0,26714
0,93	0,80162	0,59783	0,39455	1,33	0,97115	0,23848	0,26448
0,94	0,80756	0,58979	0,39063	1,34	0,97348	0,22875	0,26185
0,95	0,81342	0,58168	0,38674	1,35	0,97572	0,21901	0,25924
0,96	0,81919	0,57352	0,38289	1,36	0,97786	0,20924	0,25666
0,97	0,82489	0,56530	0,37908	1,37	0,97991	0,19945	0,25411
0,98	0,83050	0,55702	0,37531	1,38	0,98185	0,18964	0,25158
0,99	0,83603	0,54869	0,37158	1,39	0,98370	0,17981	0,24908

αx	$\sin \alpha x$	$\cos \alpha x$	$e^{-\alpha x}$	αx	$\sin \alpha x$	$\cos \alpha x$	$e^{-\alpha x}$
1,40	0,98545	0,16997	0,24660	3,00	0,14112	-0,98999	0,04979
1,41	0,98710	0,16010	0,24414	3,01	+0,04158	-0,99914	0,04505
1,42	0,98865	0,15023	0,24171	3,02	-0,05837	-0,99829	0,04076
1,43	0,99010	0,14033	0,23931	3,03	-0,15775	-0,98748	0,03688
1,44	0,99146	0,13042	0,23693	3,04	-0,25554	-0,96680	0,03337
1,45	0,99271	0,12050	0,23457	3,05	-0,35078	-0,93646	0,03020
1,46	0,99387	0,11057	0,23224	3,06	-0,44252	-0,89676	0,02732
1,47	0,99492	0,10063	0,22993	3,07	-0,52984	-0,84810	0,02472
1,48	0,99588	0,09067	0,22764	3,08	-0,61186	-0,79097	0,02237
1,49	0,99674	0,08071	0,22537	3,09	-0,68777	-0,72593	0,02024
1,50	0,99749	0,07074	0,22313	4,00	-0,75680	-0,65364	0,01832
1,51	0,99815	0,06076	0,22091	4,10	-0,81828	-0,57482	0,01657
1,52	0,99871	0,05077	0,21871	4,20	-0,87158	-0,49026	0,01500
1,53	0,99917	0,04079	0,21654	4,30	-0,91617	-0,40080	0,01357
1,54	0,99953	0,03079	0,21438	4,40	-0,95160	-0,30733	0,01228
1,55	0,99978	0,02079	0,21225	4,50	-0,97753	-0,21080	0,01111
1,56	0,99994	0,01080	0,21014	4,60	-0,99369	-0,11215	0,01005
1,57	1,00000	+0,00080	0,20805	4,70	-0,99992	-0,01239	0,00910
				4,80	-0,99616	+0,08750	0,00823
1,60	0,99957	-0,02920	0,20190	4,90	-0,98245	0,18651	0,00745
1,70	0,99166	-0,12884	0,18268				
1,80	0,97385	-0,22720	0,16530	5,00	-0,95892	0,28366	0,00674
1,90	0,94630	-0,32329	0,14957	5,10	-0,92581	0,37798	0,00610
				5,20	-0,88345	0,46852	0,00552
2,00	0,90930	-0,41615	0,13534	5,30	-0,83227	0,55437	0,00499
2,10	0,86321	-0,50485	0,12246	5,40	-0,77276	0,63469	0,00452
2,20	0,80850	-0,58850	0,11080	5,50	-0,70554	0,70867	0,00409
2,30	0,74571	-0,66628	0,10026	5,60	-0,63127	0,77557	0,00370
2,40	0,67546	-0,73739	0,09072	5,70	-0,55069	0,83471	0,00335
2,50	0,59847	-0,80114	0,08208	5,80	-0,46460	0,88552	0,00303
2,60	0,51550	-0,85689	0,07427	5,90	-0,37388	0,92748	0,00274
2,70	0,42738	-0,90407	0,06721				
2,80	0,33499	-0,94222	0,06081	6,00	-0,27942	0,96017	0,00248
2,90	0,23925	-0,97096	0,05502	6,30	+0,01681	0,99986	0,00184

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування

імені адмірала Макарова

Кафедра

будівельної механіки корабля

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №1

«Розрахунок коефіцієнта жорсткості кільблока і параметрів кільової доріжки»

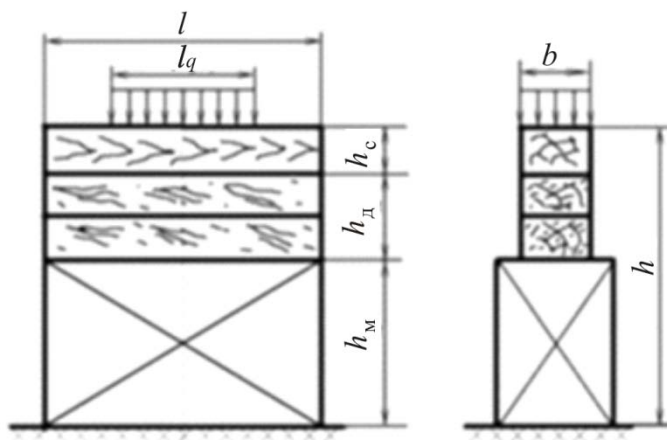
з дисципліни «Міцність суден при побудові та докуванні»

Студент _____ гр. _____
Варіант _____

Для кільблока заданої конструкції з відомими геометричними параметрами і пружними характеристиками матеріалу його дерев'яної подушки (дуб, сосна) і металевої частини визначити:

- 1) коефіцієнт жорсткості кільблока K ;
- 2) необхідну кількість кільблоків n кільової доріжки довжиною $L_{\text{кд}}$ та відстань між кільблоками λ для судна з передпусковою масою M_c при заданих коефіцієнті нерівномірності k_n і розрахунковому опорі дерев'яної подушки $R_{\text{п}}$.

Схема кільблока



Вихідні дані:

$l =$	м;	$M_c =$	т;
$l_q =$	м;	$L_{\text{кд}} =$	м;
$b =$	м;	$k_n =$	;
$h_c =$	м;	$E_c =$	МПа;
$h_d =$	м;	$E_d =$	МПа;
$h_m =$	м;	$E_m =$	$2 \cdot 10^5$ МПа;
$F_m =$	м ² ;	$R_{\text{п}} =$	МПа.

Завдання видано _____

Викладач _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування

імені адмірала Макарова

Кафедра

будівельної механіки корабля

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №2

«Розрахунок міцності й жорсткості зовнішньої обшивки днища під кліттю»

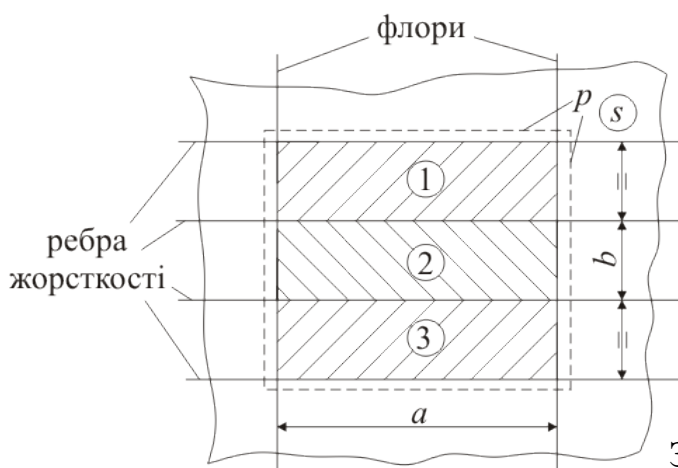
з дисципліни «Міцність суден при побудові та докуванні»

Студент _____ гр. _____
Варіант _____

Для сталевих суднових корпусів ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа) перевірити міцність і жорсткість вказаного на схемі поля зовнішньої обшивки днища, при дії заданого рівномірного тиску p :

- 1) створити розрахункову схему при згинанні заданого поля обшивки і вказати на ній положення точок, в яких виникатимуть максимальні нормальні напруження і прогин;
- 2) визначити у вказаних точках пластини максимальні значення згинального моменту $M_{\max}$ і прогину $w_{\max}$ від дії рівномірного тиску p ;
- 3) перевірити умову міцності в небезпечних точках (точці) пластини при заданому рівні допустимих напружень $[\sigma]$ і порівняти величину максимального прогину $w_{\max}$ з її товщиною s .

Положення полів зовнішньої обшивки



Вихідні дані:

$p =$ кПа;
 $a =$ мм;
 $b =$ мм;
 $s =$ мм;
 $\sigma_T =$ МПа;
 $[\sigma] = \sigma_T$.

Завдання видано _____
Викладач _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кафедра

будівельної механіки корабля

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №3

«Визначення реакції кильової доріжки перед спуском судна на воду»

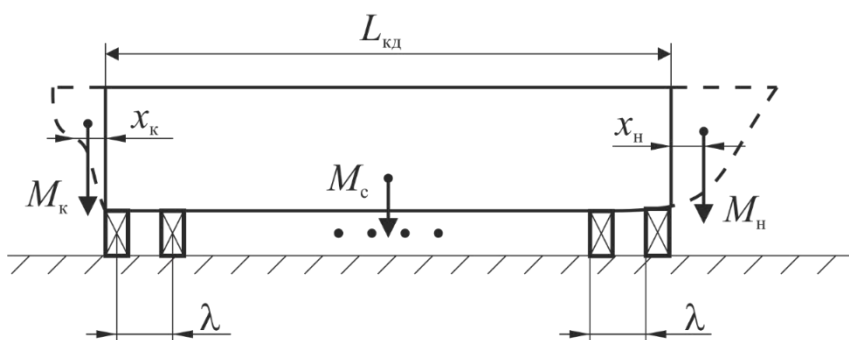
з дисципліни «Міцність суден при побудові та докуванні»

Студент _____ гр. _____
Варіант _____

Для сталевго судна ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа) з передпусковою масою M_c визначити реакції кильової доріжки на його корпус:

- 4) створити розрахункову схему для визначення прогину корпусу судна на кильовій доріжці;
- 5) визначити прогин й інтенсивність погонної реакції пружної основи вінклерового типу на корпус, як призматичну балку, при заданому коефіцієнті жорсткості кильблока K і їх кількості n на опорній довжині корпусу l ;
- 6) побудувати епюри прогину й інтенсивності погонної реакції пружної основи для десяти характерних перерізів корпусу судна.

Схема судна перед спуском на воду



Вихідні дані:

судно: $M_c =$ т;
 $M_n =$ т;
 $M_k =$ т;
 $x_n =$ м;
 $x_k =$ м;
 $I =$ м⁴.

кильова доріжка:

$K =$ МН/м;
 $n =$;
 $L_{кд} =$ м.

Завдання видано _____

Викладач _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування

імені адмірала Макарова

Кафедра

будівельної механіки корабля

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №3

«Розрахунок стійкості послабленої вирізом стінки флора суховантажного судна»

з дисципліни «Міцність суден при побудові та докуванні»

Студент _____ гр. _____
Варіант _____

Виконати перевірку стійкості послабленої центрально розташованим вирізом стінки флора суховантажного судна при згинанні днищового перекриття від місцевого навантаження:

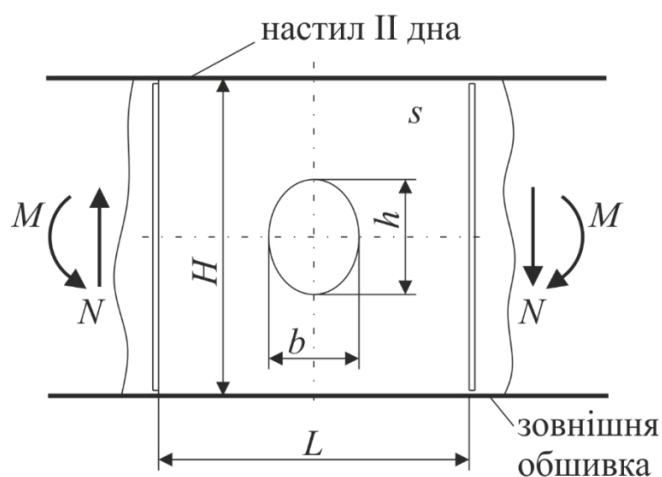
побудувати розрахункову схему елемента стінки флора з урахуванням дії перерізуючої сили N_ϕ і згинального моменту M_ϕ ;

визначити напруження, що діють вздовж крамок пластинчастого елемента стінки;

визначити критичні напруження при складному навантажуванні елемента стінки з вирізом;

перевірити стійкість стінки флора при допустимому коефіцієнті запасу стійкості $[\eta]=1,1$ і в разі необхідності запропонувати конструктивні заходи щодо забезпечення умови стійкості.

Схема елемента стінки флора



Вихідні дані:

$L =$ мм;
 $H =$ мм;
 $s =$ мм;
 $h =$ мм;
 $b =$ мм;
 $I_\phi =$ м⁴;
 $z_{0\phi} =$ мм;
 $N_\phi =$ кН;
 $M_\phi =$ кН·м;
 $\sigma_T =$ МПа.

Завдання видано _____

Викладач _____

Навчальне видання

КОРОСТИЛЬОВ Леонтій Іванович
ЩЕДРОЛОСЄВ Олександр Вікторович

**МІЦНІСТЬ СУДНОВОГО КОРПУСУ
І ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ПОБУДОВІ, СПУСКУ ТА ДОКУВАННІ**

Навчальний посібник

За редакцією д-ра техн. наук, професора Л. І. Коростильова

Редагування: *Л. І. Коростильов, О. В. Щедролосєв*
