

РЕГІСТР СУДНОПЛАВСТВА УКРАЇНИ

ПРАВИЛА КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ МОРСЬКИХ СУДЕН

Частина XVI

**Конструкція та міцність корпусів суден із
полімерних композиційних матеріалів**



Київ 2026

Регістр судноплавства України.**Правила класифікації та побудови морських суден.**

Це видання Правил класифікації та побудови морських суден 2026 року підготовлене на основі їх четвертого видання 2020р., з врахуванням змін і доповнень, включених у Бюлетені змін і доповнень №1 (2020р.), №3 (2022р.), №4 (2024р.), №5 (2025р.), № 6 (2025) та врахуванням змін до застосовних міжнародних конвенцій та кодексів, прийнятих відповідними резолюціями Морською міжнародною організацією (ІМО), уніфікованих вимог і рекомендацій Міжнародної асоціації класифікаційних товариств (МАКТ) і змін до застосовних резолюцій Європейської економічної комісії ООН і директив Європейського Парламенту та Ради, змін і доповнень, прийнятих за результатами аналізу Правил інших Класифікаційних товариств, а також з досвіду їх застосування.

Перелік частин, що увійшли до цих Правил:

Частина II Корпус

Частина III Пристрої, обладнання і забезпечення

Частина IV Остійність.

Частина V Поділ на відсіки

Частина VI Протипожежний захист

Частина VII Механічні установки

Частина VIII Системи і трубопроводи

Частина IX Механізми

Частина X Котли, теплообмінні апарати і посудини під тиском

Частина XI Електричне обладнання

Частина XII Холодильні установки

Частина XIII Матеріали

Частина XIV Зварювання

Частина XV Автоматизація

Частина XVI Конструкція та міцність корпусів суден із полімерних композиційних матеріалів

Правила класифікації та побудови морських суден Регістра судноплавства України затверджені згідно з діючим положенням і вступають в силу з 01.09.2026 року.

Правила публікуються в електронному виді у форматі PDF на офіційному сайті Регістру судноплавства України по частинам українською та англійською мовами. У разі розбіжностей між текстами українською та англійською мовами та сумнівів щодо тлумачення Правил текст українською мовою переважатиме.

Офіційне видання

Регістр судноплавства України

© Регістр судноплавства України, 2026

ЗМІСТ:

ЗМІНИ:	4
ЧАСТИНА XVI КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ КОРПУСІВ СУДЕН ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	
1.1 Сфера поширення	8
1.2 Визначення та пояснення	8
1.3 Загальні вимоги	10
1.4 Технічна документація	11
1.5 Обсяг технічного нагляду	11
2. МАТЕРІАЛИ	
2.1 Загальні положення	13
2.2 Обсяг технічного нагляду	13
2.3 Вимоги щодо характеристик полімерних композиційних матеріалів і їх вихідних компонентів	15
3 КОРПУС І НАДБУДОВИ СУДЕН	
3.1 Конструктивні типи корпусів і систем набору	22
3.2 Конструкція корпусу	24
3.3 Конструкція надбудов і рубок	65
4 КОРПУСИ ШЛЮПОК І КАТЕРІВ	
4.1 Загальні положення	71
4.2 Системи набору і зовнішня обшивка	71
4.3 Балки набору	72
4.4 Кріплення підйимального обладнання	72
5 МІЦНІСТЬ КОРПУСУ ТА НАДБУДОВИ СУДНА	
5.1 Загальні положення	74
5.2 Розрахункові навантаження	74
5.3 Норми небезпечних і допустимих напружень і деформацій	75
5.5 Місцева міцність корпусу	80
5.6 Міцність надбудови	83
ДОДАТОК 1	
Міцність і стійкість балок і пластин корпусних конструкцій	86
ДОДАТОК 2	
Типова програма випробувань зразків нових ПКМ і виконаніх з них типових конструкцій та вузлів	134

ЗМІНИ:

Ця частина Правил класифікації та побудови морських суден 2026 року, порівняно з їх виданням 2020 року з внесеними в них бюлетенями змінами та доповненнями, містять нижчезазначені зміни та доповнення:

Розділи\підрозділи\пункти, що змінюються	Інформація про зміни	Підстава для внесення змін	Примітки
1	2	3	4
Розділ 1			
1.2.2	Текст доповнений новими визначеннями		
Розділ 2			
2.2	Текст доповнений вимогами щодо схвалення ПКМ		
2.2.7	Текст доповнений новим пунктом із вимогами до пожежонебезпечности матеріалів	Резолюція ІМО MSC.307(88)	
2.2.8	Уточнено вимоги до проведення протипожежних випробувань ПКМ		
2.3.1.2	Уточнені складові ПКМ		
2.3.3.8	Змінено вимоги до заповнювачів тришарових конструкцій		
Таблиці 2.3.1.3 , 2.3.2.2 , 2.3.3.8 , 2.3.5.11	В таблиці внесені уточнення щодо властивостей матеріалів		
2.3.5.1	Усунено дублювання щодо пожежонебезпечних властивостей матеріалів		
2.3.5.12	Текст пункту замінюється на новий з уточненнями щодо властивостей матеріалів після тривалого впливу експлуатаційних факторів.		
Розділ 3			
3.2.1	Рис. 3.2.1-5 Позначення S_{01} і S_{02} замінюються на S_0 і S_1 відповідно		
3.2.1.2.3	Змінено вимоги до заповнювачів тришарової обшивки		
3.2.2	Рис. 3.2.2-2 Позначення S_s замінюється на S_s^2		
3.2.2.4 , 3.2.2.5	Уточнено вимоги до наповнювачів тришарового настилу		
3.2.3.2.4	Уточнено вимоги до заповнювачів полотнища перегородок		
3.2.4.4	Уточнено вимоги до заповнювачів балок набору		
3.2.4.7	Змінено вимоги до вибору профілю балок набору з заповнювачем		

Розділи\підрозділи\пункти, що змінюються	Інформація про зміни	Підстава для внесення змін	Примітки
1	2	3	4
3.2.4.12	Змінено вимоги до розмірів елементів Т-подібного та Г-подібного профілів балок набору		
3.2.5.3	Змінено вимоги до заповнювачів в районі підкріплення вирізів тришарових конструкцій		
3.2.6	Рис. 3.2.6-1 Позначення b_c^1, t_c^1 замінюються на $b_c^n, b_c^i, b_c^1, t_c^1$		
	Рис. 3.2.6-2 Перенесено позначення t_{over} . Змінена схема в районі b_m , (введено позначення b_r і b_n)		
	Рис. 3.2.6-3 Уточнені позначення		
	Рис. 3.2.6-4 Перенесено позначення R_{angl}		
	Рис. 3.2.8-7 Позначення t_{angl}^{out} замінюється на b_{angl}^{out} , позначення IS замінюється на 15, позначення t_{angl}^{in} замінюється на t_{angl}^{out}		
	Рис. 3.2.6-8 Позначення IS замінюється на 15, позначення t_{angl}^{in} замінюється на t_{angl}^{out}		
3.2.6.2	Уточнюються параметри стикового з'єднання без обробки стикованих країв		
3.2.6.2.4	Уточнено параметри стикового з'єднання тришарових з'єднань		
3.2.6.2.5	Позначення b_c замінюється на b_s		
3.2.6.3.2	Параметру s додається розмірність «мм»		
3.2.6.3.4	Уточнено вимоги до пінопласту в середньому шарі перегородки в районі з'єднання з одношаровою обшивкою. Уточнено параметри для визначення розміру потовщення		
3.2.6.3.5, 3.2.6.3.7, 3.2.6.3.8, 3.2.6.3.9	Уточнено вимоги до заповнювачів в районі з'єднань в тришарових конструкціях		
3.2.6.3.9	Уточнено основні параметри вузлів з'єднань внутрішньої палуби (платформи) одношарової конструкції з обшивкою борту одношарової та тришарової конструкції		
3.3.2.3	Змінено вимоги до заповнювача для надбудов категорії 1		
3.3.2.6	Зміни редакційного характеру		
3.3.2.12	Змінено вимоги до заповнювача для П-подібного профілю надбудов		

Розділи\підрозділи\ пункти, що змінюються	Інформація про зміни	Підстава для внесення змін	Примітки
1	2	3	4
3.3.3.4	Змінено вимоги до заповнювача для місць з'єднань тришарових панелей надбудов з металевим корпусом		
Розділ 4			
4.2.4	Змінено вимоги до заповнювача для тришарової обшивки шлюпок і катерів		
4.3.1	Змінено вимоги до заповнювача балок набору шлюпок і катерів		
Додаток 1			
1.1	Введена формула для визначення жорсткості поперечного перерізу балки на зсув		
	Рис. 1.1 Додано вертикальну вісь Z(3)		
2.1	Виключена формула для визначення жорсткості на зсув		
2.2	В експлікацію до формули введено визначення прогину балки l		
3	Уточнено визначення в експлікації до формул для визначення напружено-деформованого стану одношарових пластин при згині		
4.1	Введено новий пункт з вимогами до оцінки стійкості вільно опертих одношарових пластин при стисненні		
4.2, 4.3	Уточнено вимоги до ПКМ з паралельною та паралельно-діагональною схемами армування		
	Рис. 4.1 – 4.3 Позначення G_{12}^{bl} замінюється на G_{12} , позначення E_p^{bl} замінюється на E_1		
	Таблиця 4.2 Позначення G_{12}^{bl} замінюється на G_{12} , позначення E_p^{bl} замінюється на E_1		
5.1	Введено новий пункт з вимогами до оцінки стійкості вільно опертих одношарових пластин при зсуві		
	Рис. 5.1-1 , 5.1-2 Позначення G_{12}^{bl} замінюється на G_{12} , позначення E_p^{bl} замінюється на E_1		
5.2, 5.3	Уточнено вимоги до визначення дотичного критичного напруження		

Розділи\підрозділи\пункти, що змінюються	Інформація про зміни	Підстава для внесення змін	Примітки
1	2	3	4
5.2	Табл. 5.1.1, 5.1.2 Позначення G_{12}^{bl} замінюється на G_{12} , позначення E_p^{bl} замінюється на E_1		
5.5.17	Текст пункту анульований. Виключено вимогу про виконання перевірочних розрахунків параметрів вібрації конструкцій корпусу судна з точки зору забезпечення їх міцності.		
6	Введений новий рис. 6 «Циліндричний вигін тришарових пластин»		
	Таблиця 6 Уточнені вимоги для всіх видів навантаження		
	Уточнено формули для розрахунку максимальних прогинів, максимальних нормальних напружень у несучих шарах і максимальних дотичних напружень у заповнювачі для тришарових пластин з ізотропним заповнювачем корпусних конструкцій суден з ПКМ.		
7	Таблиця 7 Уточнені вимоги для видів навантаження «Пластина навантажена моментом, рівномірно розподіленим по ширині пластини в будь-якому перерізі», «Поперечне навантаження рівномірно розподілене в обмеженій області пластини на будь-якій ділянці», «Поперечне навантаження, розподілене за законом трикутника, прикладене до обмеженої області пластини на будь-якій ділянці»		
8	Введено перелік позначень. Уточнено підрисункові написи. Вимоги для виду навантаження «Краї пластини жорстко закріплені на опорному контурі» перенесені до нового пункту 8.4.		
9	Текст преамбули розділу перенесено в новий пункт 9.1		
9.1	Уточнено умови, що виконуються для несучих шарів і заповнювача, а також для геометричних і пружних характеристик		
9.3	Уточнено вимоги до визначення критичного навантаження		

ЧАСТИНА XVI КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ КОРПУСІВ СУДЕН ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 СФЕРА ПОШИРЕННЯ

1.1.1 Вимоги цієї частини Правил поширюється на корпуси і надбудови із полімерних композиційних матеріалів наступних суден, на які поширюються ці Правила згідно з **1.3.1.1** частини I «Класифікація» Правил класифікації та побудови суден¹, а саме:

- .1** водотоннажних суден довжиною від 15м до 70м включно;
- .2** високошвидкісних водотоннажних суден з числом Фруда в межах $Fr_v \approx 1,0 \div 2,5$;
- .3** рятувальних та чергових шлюпок довжиною від 4,5м до 15м з числом Фруда $Fr_v < 2,5$.

Вимоги цієї частини Правил поширюються також на надбудови з полімерних композиційних матеріалів водотоннажних суден з металевими корпусами.

1.1.2 Корпуси і надбудови із полімерних композиційних матеріалів суден і шлюпок, що класифікуються Регістром, але не указаних в **1.1.1** і не регламентованих іншими Правилами Регістра, підлягають розгляду Регістром спільно з технічним обґрунтуванням у вигляді нормативних документів, результатів розрахунків і випробувань. Технічне обґрунтування повинно підтверджувати рівень безпеки конструкції або виробу не нижче, ніж це вимагається відповідними Правилами Регістра. В цьому випадку застосовні положення цього розділу та розд. **2**.

1.2 ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОЯСНЕННЯ

1.2.1 Визначення та пояснення, які стосуються загальної термінології Правил, наведені в Загальних положеннях про класифікаційну та іншу діяльність та в **1.1** частини I «Класифікація».

Визначення розмірів суден прийняті відповідно до частини II «Корпус».

1.2.2 У цій частині Правил прийнято такі визначення:

Адгезійна речовина - клей/компаунд (filler), що представляють собою органічні речовини, призначені для з'єднання елементів конструкцій з ПКМ і заповнення зазорів між ними, сумісні з полімерної матрицею ПКМ.

Аппрет — речовина (склад речовин), що наноситься на армуючі елементи, для надання їм необхідних властивостей і забезпечення адгезійної міцності.

Волокно — скляний, вуглецевий або арамідний армуючий елемент, що застосовується у вигляді наступного:

- ровниці (джгутів);
- стрічок;
- плетених тканин
- мультиаксіальних тканин.- мультиаксіальних тканин.

Гібридний ПКМ - матеріал, що складається з шарів на основі армуючих елементів різної хімічної природи, або з окремих шарів, кожен з яких виконаний з армуючих елементів однієї хімічної природи.

Замаслювач — засіб, що наноситься на волокно для захисту його від стирання та для поліпшення адгезії поверхні волокон із сполучною речовиною.

Мат - ПКМ, що має в своєму складі короткі волокна (chops) довжиною від 3мм до 20мм, які довільно (хаотично) розташовані на площині, на основі полімерної матриці, в яку можуть бути введені мікросфери.

Метод контактного формування - метод, що складається з пошарового укладання армуючого матеріалу (тканини, мату), просоченого зв'язуючим, в матрицю або на пуансон з подальшим його

¹ Надалі - частина I «Класифікація».

ущільненням і видаленням повітряних бульбашок.

Метод напильовання - метод, який є різновидом методу контактного формування і полягає в тому, що формування здійснюється шляхом нанесення рубаного волокна (chops) зі зв'язуючим на поверхню матриці або пуансона з подальшим прикатуванням матеріалу і його ущільненням.

Методи закритого формування - загальна назва методів, які полягають в просоченні сухого армуючого матеріалу в замкненій порожнині шляхом руху рідкого зв'язуючого через цей матеріал.

Метод інфузії - метод, який є одним з методів закритого формування, що полягає в тому, що просочування армуючого матеріалу зв'язуючим проводиться за рахунок створення вакууму в герметичній порожнині, утвореній матрицею, в яку вкладається сухий армуючий матеріал, і герметичною плівкою, що щільно прилягає до матриці.

Методи RTM (Resin Transfer Molding) - методи закритого формування, що відрізняються від методу інфузії тим, що герметична порожнина утворюється між жорсткою матрицею, в яку укладений сухий армуючий матеріал, і щільно прилеглим до неї жорстким пуансоном. Рух зв'язуючого в армуючий матеріал створюється за рахунок створення в ньому тиску або шляхом одночасного створення в порожнині вакууму і тиску в зв'язуючому.

Неоднорідний ПКМ - матеріал, що складається з шарів армуючих елементів різного типу, але однієї хімічної природи.

Однорідний ПКМ - матеріал, що складається з шарів армуючих елементів одного типу, які мають однакові хімічні властивості і мають однакову схему армування.

Пінопласт - матеріал густиною нижче густини води, що має пористу структуру, переважно закритопористу, сумісний з полімерною матрицею несучих шарів.

Полімерний композиційний матеріал (ПКМ) - матеріал, що має гетерогенну природу і складається з армуючих елементів і полімерної матриці.

Як армуючі елементи застосовуються частинки і волокна. Застосування ПКМ з армуючими елементами, не зазначеними у цій частині Правил, допускається при відповідному технічному обґрунтуванні, що включає випробування і розрахунки міцності конструкцій корпусу з ПКМ.

Полімерна матриця - сполучний матеріал в затверділому стані на основі термореактивної органічної смоли (поліефірної, вінілефірної, епоксидної тощо) з отвердіваючою системою і різними добавками (каталізатором, прискорювачом, тиксотропними добавками, фарбуючим пігментом).

Препрег - армуючі елементи у вигляді стрічок, плетених тканин або мультіаксіальних тканин, просочені попередньо термореактивним зв'язуючим, яке затвердіває при певних умовах (температури і/або тиску).

Ровінг — волокнистий матеріал, що представляє собою нитки, джгути, зібрані в паралельний пучок за допомогою невеликого скручування або без нього.

Ровниця (джгут) — велика кількість з'єднаних між собою волокон.

Стрічка - велика кількість джгутів, з'єднаних між собою поперечною зшивкою;

Сферопластик - ПКМ, який складається з мікросфер і полімерної матриці.

Тканина мультіаксіальна - матеріал, утворений шарами стрічок з односпрямованим армуванням, накладених один на одного під заданими кутами і з'єднаних між собою зшивкою.

Мультіаксіальні тканини залежно від кількості напрямків армування поділяються на наступні типи:

біаксіальні, мають два напрямки армування, як правило, 0° і 90° або $+45^\circ$ і -45° ;

триаксіальні, що мають три напрямки армування, як правило, 0° , $+45^\circ$ і -45° ;

квадроаксіальні, що мають чотири напрямки армування, як правило, 0° , $+45^\circ$, -45° і 90° .

Тканина плетена - матеріал, утворений шляхом плетіння скручених волокон або джгутів по ткацькій технології і має різні види переплетення (сатинове, полотняне, саржеве тощо);

Тришарова конструкція - конструкція (sandwich), що складається з зовнішніх несучих шарів, виконаних з ПКМ, і середнього шару - заповнювача, в якості якого застосовуються пінопласти,

сферопластики, мати, а також конструктивні елементи у вигляді сот, ребер і гофрів різної конфігурації. Останні можуть застосовуватися окремо, або спільно з пінопластами і сферопластиками, що заповнюють вільний простір між цими елементами.

Частинка - армуючий елемент у вигляді скляної або поліефірної мікросфери, який застосовується в суднобудівних конструкціях в матеріалах типу сферопластика і мата.

1.3 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ

1.3.1 При розробці конструкцій з ПКМ необхідно враховувати особливості його фізико-механічних властивостей, до основних з яких відносяться:

анізотропія пружних і міцнісних характеристик матеріалу;

їх залежність від властивостей вихідних компонентів (армуючих елементів, заповнювачів середніх шарів і зв'язуючих), їх кількісного співвідношення, а також від напрямку укладання цих елементів (схеми армування);

порівняно низька міцність при міжшаровому зсуві і розтягуванні в поперечному напрямку;

більш низькі модулі нормальної пружності порівняно з конструкційними матеріалами, традиційними для суднобудування, такими як сталь, титанові і алюмінієві сплави;

практична відсутність пластичних деформацій.

1.3.2 Розробка корпусу судна з ПКМ і його основних в'язей повинна супроводжуватися розробкою технологій їх виготовлення, вимог до контролю якості та норм їх виконання з урахуванням виробничих можливостей суднобудівної верфі, наявності відпрацьованих технологічних процесів формування і збирання, і методів контролю якості виготовлення.

1.3.3 При розробці технології виготовлення конструкцій рекомендується переважно застосовувати для їх формування методи закритого формування, до яких відносяться метод інфузії і RTM-методи (див. [1.2.2](#)).

Використання методу контактного формування повинно бути обмежене і допускається в тих конструкціях, де його застосування технічно виправдане, а також тоді, коли інші методи формування не можуть бути використані.

У всіх випадках технологія виготовлення конструкцій з ПКМ повинна бути узгоджена з Регістром.

1.3.4 При виборі системи набору корпусу рекомендується максимально скорочувати кількість балок набору, що підкріплюють обшивку корпусу (настили палуб, полотнища перегородок), а також прагнути до зменшення кількості вузлів перетинів балок різного спрямування, що забезпечує підвищення надійності конструкцій.

1.3.5 Балки основного набору (стрингери, карлінгси або рамні шпангоути (шпангоути, що переходять у флори і бімси)) повинні виконуватися безперервними. Для виконання даної вимоги необхідно, щоб в'язі взаємно перпендикулярних напрямків мали різну висоту в місцях перетину.

Застосування інтеркостельних елементів набору допускається за умови надійного конструктивного закріплення їх кінців.

1.3.6 Вибір складу і структури обшивки корпусу і настилу верхньої палуби повинен виконуватися виходячи з умов досягнення найбільшої згинальної жорсткості в основних напрямках при забезпеченні необхідних міцнісних характеристик.

Для виконання цієї вимоги слід застосовувати гібридне армування з використанням різних за типом, жорсткістю і густиною армуючих матеріалів, а також заповнювачів середніх шарів.

1.3.7 Обшивку корпусу і настили палуб слід виконувати зі змінною товщиною в'язей відповідно до їх напружено-деформованим станом.

Зміна їх товщини повинна мати плавний характер шляхом введення (видалення) частини шарів армуючого матеріалу між його безперервними шарами.

1.3.8 Місцеві посилення в'язей допускається виконувати шляхом наформовки потовщень на основну товщину лише в разі застосування для їх виготовлення технологій вакуумної інжекції.

Наформовка потовщень на основну товщину методом контактного формування допускається тільки в місцях кріплення дільних речей, окремих елементів обладнання і систем, а також у випадках, особливо обумовлених у відповідних розділах цієї частини Правил.

1.3.9 Всі місцеві потовщення і з'єднувальні елементи (накладки, обформовки, приформувальні косинці і т.д.) повинні мати змінну товщину з плавним зменшенням до їх кінців. При цьому кожний наступний шар тканини повинен перекривати попередній відповідно до вимог [3.2.1](#) і [3.2.2](#).

1.3.10 Конструкторсько-технологічні рішення, що відрізняються від наведених у цій частині Правил, повинні бути узгоджені з Регістром.

1.4 ТЕХНІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

1.4.1 До початку виготовлення корпусу і надбудов, в тому числі наступного:

- палуб, платформ і їх окремих секцій;
- перегородок;
- цистерн;
- фундаментів під головні двигуни, а також під інші механізми і пристрої, що підлягають нагляду Регістра, на розгляд і схвалення Регістру повинна бути подана проєктна документація по корпусу в обсязі, передбаченому в [4.2.3](#) частини I «Класифікація».

1.4.2 Проєктна документація по корпусу повинна бути доповнена технічними умовами (ТУ)/специфікаціями на ПКМ і керівним документом з технологією виготовлення (технологічною інструкцією). У зазначених документах повинно бути представлено наступне:

- повний перелік вихідних компонентів (армуючих матеріалів, смол, отверджувачів, клеїв тощо), які використовуються для виготовлення із ПКМ в'язей конструкцій, а також технологічних і допоміжних матеріалів;
- склад ПКМ, фізико-механічні характеристики, хімічна рецептура зв'язуючого;
- інформація про типове схвалення Регістром (Свідоцтва про типове схвалення (СТС)) вихідних матеріалів, заповнювача середнього шару (при наявності);
- вимоги до технологічної оснастки, що застосовується при формуванні корпусних конструкцій і конструкторська документація на її виготовлення;
- перелік заходів з підготовки виробництва до виготовлення корпусних конструкцій, включаючи перелік необхідного для виробництва технологічного обладнання;
- технологічні інструкції з формування корпусних конструкцій, їх окремих в'язей і елементів, а також з їх збирання;
- вимоги до режимів тверднення конструкцій;
- вимоги до контролю якості виготовлення, включаючи норми допустимих дефектів;
- технологічні вказівки по ремонту неприпустимих дефектів.

1.4.3 У конструкторській документації на конструкції з ПКМ необхідно, поряд з загальноприйнятими позначеннями розмірів і товщини, вказувати марку матеріалу, його склад (марки армуючого матеріалу і зв'язуючого), структуру армування за шарами, щільність укладання (поверхневу щільність), кількість шарів армуючого матеріалу.

1.5 ОБСЯГ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ

1.5.1 Після розгляду і схвалення проєктної документації судна, включаючи перелік проєктної документації, зазначеної в [1.4](#), нагляду Регістра щодо відповідності вимогам [1.4.2](#) підлягає наступне:

- вихідні компоненти ПКМ (армуючі матеріали, смоли, отверджувачі, заповнювачі тощо), які повинні бути схвалені Регістром (див. розд. [2](#)), мати ТУ або специфікації і поставлятися з паспортами (Сертифікатами якості виготовлювача) на партію, що підтверджують їх відповідність заявленим характеристикам;
- умови зберігання вихідних компонентів ПКМ і дані їх вхідного контролю;

- стан виробничих приміщень та обладнання для формування корпусних конструкцій відповідно до вимог обраної технології;
- мікроклімат у виробничих приміщеннях і засоби для його підтримки в заданих межах, передбачені технологічними інструкціями;
- технологічне оснащення, що застосовується при формуванні корпусних конструкцій, виробниче обладнання і засоби вимірювальної техніки;
- процеси формування корпусних конструкцій, їх в'язей і елементів, а також процеси складання відповідно до технологічних інструкцій;
- режими термообробки корпусних конструкцій, їх в'язей і елементів;
- контроль якості виготовлення готових корпусних конструкцій, їх в'язей і елементів.

1.5.2 Випробування готових корпусних конструкцій, а також їх окремих в'язей необхідно проводити при застосуванні нових технічних рішень та/або технологій виготовлення при побудові корпусів і надбудов з ПКМ, які не регламентовані цими Правилами. Випробування проводяться за програмою та методиками, розробленими підприємством-виготовлювачем і узгодженими з Регістром.

1.5.3 Випробування зразків, вирізаних з припусків і технологічних вирізів проводяться при контролі якості виготовлення корпусних конструкцій і їх окремих в'язей для корпусу головного судна серії і при зміні складу ПКМ. Випробування проводяться за програмою та методиками, розробленими підприємством-виготовлювачем і узгодженим з Регістром.

2. МАТЕРІАЛИ

2.1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1.1 Ці вимоги поширюються на конструкційні ПКМ на основі армуючих заповнювачів з скляних або/та вуглецевих, а також арамідних волокон, термореактивних полімерних зв'язуючих - поліефірних, вінілефірних і епоксидних, які застосовуються для виготовлення корпусів і надбудов суден різної водотоннажності.

2.1.2 Загальні вимоги:

технологія виготовлення конструкцій повинна забезпечувати стабільну якість, можливість застосування високоефективних методів формування і засобів механізації;

суднові конструкції повинні зберігати свої якості, перш за все працездатність і надійність при експлуатації в морських умовах в заданих діапазонах температур (від -40°C до +60°C) протягом тривалого часу не менше 20 років;

застосовувані матеріали, технології і конструктивні рішення повинні забезпечувати придатність корпусних конструкцій до ремонту як в заводських умовах, так і при експлуатації у морі.

2.1.3 Для конструкцій суден повинні використовуватися конструкційні ПКМ і заповнювачі середнього шару, схвалені Регістром (СТС), що поставляються відповідно до стандартів і мають ТУ/специфікацію на промислову поставку, а також паспортами (Сертифікатами якості виготовлювача) на партію (див. [2.2](#)).

2.1.4 ПКМ для конструкцій суден повинні задовольняти вимогам цієї частини, що містить повний перелік типових випробувань і перевірок, яким в обов'язковому порядку повинен бути підданий кожен матеріал.

2.1.5 Перелік випробувань, яким може бути піддано новий ПКМ, не передбачений цією частиною Правил, зазначений в типовій програмі випробувань, наведеній у додатку [2](#).

2.2 ОБСЯГ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ

2.2.1 ПКМ, призначені для виготовлення корпусів або суднових конструкцій, а також зв'язуючи для виготовлення ПКМ і наповнювачі середнього шару повинні бути схвалені Регістром (мати СТС і/або Свідоцтво Регістра на партію) відповідно до частини I «Організаційні положення щодо технічного нагляду» Керівництва з технічного нагляду за побудовою суден і виготовленням матеріалів та виробів. Застосування зв'язуючого ПКМ для шлюпок допускається на підставі звітних документів підприємств (виготовлювачів) виробів або лабораторій, визнаних Регістром.

Рекомендується схвалення Регістру на армуючі матеріали для виготовлення ПКМ (див. [2.3.1.6](#)).

2.2.2 СТС видаються підприємствам-виготовлювачам матеріалів на підставі схваленої документації, результатів випробувань з перевірки відповідності матеріалу вимогам цих Правил (див. [2.3.1](#) ÷ [2.3.3](#), [2.3.5](#)), огляду безпосередньо виробництва і проведення контрольних випробувань серійної продукції. Випробування проводяться лабораторією підприємства-виготовлювача або іншою лабораторією, визаною Регістром.

При передачі виробництва на інше підприємство-виготовлювач видача СТС проводиться на підставі результатів технічного нагляду і контрольних випробувань.

Програма контрольних випробувань розробляється підприємством-виготовлювачем з урахуванням вимог норм контролю якості виготовлення і схвалюється Регістром.

2.2.3 Технічний нагляд за виробництвом на підприємстві-виготовлювачу включає наступне:

- розгляд та аналіз документів, поданих підприємством-виготовлювачем (див. [2.2.4](#)), що підтверджують здатність підприємства-виготовлювача випускати продукцію стабільної якості в передбачуваних обсягах;
- огляд підприємства-виготовлювача, що включає оцінку системи якості виробництва продукції та проведення необхідних контрольних випробувань (див. [2.2.2](#));
- оформлення Свідоцтва про типове схвалення (СТС) на продукцію, що випускається (див. [2.2.5](#)).

2.2.4 Підприємством-виготовлювачем повинна бути представлена на розгляд Регістром наступна інформація:

- короткий опис підприємства-виготовлювача, що містить дані про його організаційну структуру, організацію виробництва і управління, відомчої приналежності або форми власності;
- перелік матеріалів, що випускаються, їхні характеристики, ТУ на поставку та іншу технічну документацію, що підтверджує заявлені характеристики матеріалів;
- технологічні інструкції на виробничі процеси виготовлення матеріалів/конструкцій з ПКМ (залежно від того, що є) і норми контролю якості їх виготовлення;
- інструкції з правил складування і зберігання вихідних компонентів для виробництва матеріалів, і їх вхідного контролю;
- довідку, яка містить інформацію про обладнання та прилади контролю якості, використовуваних в процесі виробництва матеріалів, і рівень кваліфікації персоналу лабораторії, що виконує контроль якості виготовлення продукції;

Сертифікати, які підтверджують наявність у підприємства-виготовлювача системи менеджменту якості;

- програму контрольних випробувань зразків продукції;
- результати випробувань матеріалу на відповідність цим Правилам і контрольних випробувань зразків матеріалів, що підтверджують заявлені характеристики і можливість використання матеріалів за призначенням.

2.2.5 При позитивних результатах розгляду документації, перерахованої в [2.2.4](#), проводиться огляд підприємства-виготовлювача на предмет стану організації та управління системою контролю якості продукції і наявності умов її випуску в передбачуваних обсягах відповідно до вимог розд. 7 частини I «Загальні положення з технічного нагляду» Правил технічного нагляду за побудовою суден і виготовленням матеріалів і виробів.

2.2.6 При позитивних результатах огляду підприємства-виготовлювача з урахуванням вимог розд. 6 частини I «Загальні положення з технічного нагляду» Правил технічного нагляду за побудовою суден і виготовленням матеріалів і виробів Регістр оформляє СТС на матеріали, що випускаються.

2.2.7 У СТС повинні бути вказані пожежонебезпечні властивості матеріалу з посиланням на Міжнародний кодекс щодо застосування процедур випробувань на вогнестійкість, 2010, прийнятий резолюцією ІМО MSC.307 (88) (FTP Code), та відповідні протоколи за результатами випробувань ПКМ, виконаних у визнаних Регістром лабораторіях. У разі відсутності таких випробувань у СТС повинен вноситися текст: «пожежонебезпечні властивості матеріалу не визначалися».

Крім того, в СТС повинен вноситися наступний текст: «У разі застосування матеріалу в складі протипожежних конструкцій дані конструкції повинні бути випробувані відповідно до Міжнародного кодексу щодо застосування процедур випробувань на вогнестійкість, 2010, прийнятого резолюцією ІМО MSC.307(88) (FTP Code)».

2.2.8 Технічний нагляд за виготовленням корпусу/конструкцій з ПКМ.

2.2.8.1 До початку виготовлення підприємством (виготовлювачем) (верф'ю) має бути представлено наступне:

- затверджена технічна документація в обсязі, зазначеному в [1.4.2](#) (технічні умови/специфікація на ПКМ, технологічна інструкція з виготовлення);
- звіти за результатами протипожежних випробувань ПКМ, виконаних у визнаних Регістром лабораторіях, з висновком про відповідність протипожежного захисту вимогам цих Правил, відповідно до яких схвалено проєкт судна;
- у випадку застосування ПКМ, не описаних у цій частині Правил, звіти за результатами випробувань ПКМ відповідно до узгодженої програми випробувань (див. [додаток 2](#)).

2.2.8.2 Технічний нагляд передбачає наступне:

- розгляд документів, поданих підприємством (виготовлювачем) в обсязі, зазначеному в [2.2.4](#), що підтверджують здатність підприємства виробляти вироби з ПКМ стабільної якості в необхідних обсягах;
- огляд підприємства (виготовлювача) з метою оцінки можливостей підприємства з виготовлення корпусів/конструкцій з ПКМ та системи контролю якості;
- технічне нагляд за виготовленням в обсязі, зазначеному в [1.5.1](#);
- технічний нагляд за випробуванням зразків ПКМ, вирізаних з технологічних припусків або зразків-свідків (залежно від того, що застосовно), відповідних технічній документації на випуск продукції;
- технічний нагляд за дефектацією корпусу і ремонтом.

За результатами технічного нагляду за формуванням корпусу або конструкції з ПКМ звітні документи верфі підписуються інспектором Регістра згідно з положеннями розд. 12 «Технічій нагляд за побудовою суден на верфі» частини I Керівництва з технічного нагляду за побудовою суден та виготовленням матеріалів і виробів разом із Свідоцтвами Регістру на матеріали.

2.2.9 У разі серійного виробництва корпусів/конструкцій з ПКМ (два і більше) замість Акта огляду (див. [2.2.7](#)) може бути оформлено СТС на корпус/конструкцію з ПКМ з урахуванням виконання вимог розд. 6 і 7 частини I «Загальні положення з технічного нагляду» Правил технічного нагляду за побудовою суден і виготовленням матеріалів і виробів. При цьому необхідно надати звітний документ виготовлювача на корпус/конструкцію з ПКМ (паспорт виробу, сертифікат якості виготовлювача тощо).

2.3 ВИМОГИ ЩОДО ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І ЇХ ВИХІДНИХ КОМПОНЕНТІВ

2.3.1 Армуючі матеріали.

2.3.1.1 Армуючі матеріали, що входять до складу ПКМ, повинні забезпечувати досягнення заданих характеристик жорсткості та міцності, в тому числі при впливі на матеріал різних за характером експлуатаційних факторів (вплив навантажень, температурних, вологості тощо).

2.3.1.2 Для забезпечення адгезійної міцності між волокнами і полімерною матрицею на поверхню волокон повинна бути нанесена гідрофобно-адгезійна суміш (замаслювач, апрет), сумісна з типом застосовуваного зв'язуючого - поліефірним, вінілефірним або епоксидним.

Технологія нанесення гідрофобно-адгезійної суміші (замаслювач, апрет) повинна забезпечувати стійкість покриття до механічних впливів.

2.3.1.3 Складні армуючі матеріали (тканини, стрічки, мати) для конструкційних склопластиків повинні бути виготовлені на основі волокон з стандартного безлужного алюмоборосилікатного скла марки Е або високомодульного магнезійно-алюмосилікатного скла марки ВМП. Характеристики зазначених скляних волокон, що застосовуються в армуючі матеріалах, повинні бути не нижче значень, наведених в [табл. 2.3.1.3](#).

Таблиця 2.3.1.3 Фізико-механічні характеристики основних типів волокон, що застосовуються в конструкціях суден

Характеристика	Складні волокна		Вуглецеві волокна	Арамідні волокна
	Скло марки Е	Скло марки ВМП		
Густина, кг/м ³	2500-2600	2490-2580	1800	1420 - 1450
Модуль нормальної пружності на розтягування, ГПа	не менше 70	не менше 83	не менше 230	не менше 120
Границя міцності на розтягування, ГПа	не менше 2,0	не менше 3,45	не менше 3,5	не менше 2,85
Границя відносного подовження, %	3,8	4	не менше 1,5	не менше 2,2

2.3.1.4 Вуглецеві армуючі матеріали (тканини, стрічки) для конструкційних вуглепластиків повинні бути виготовлені на основі високоміцних волокон номіналом 3К, 6К, 12К (К=1000 волокон) з характеристиками, зазначеними в [табл. 2.3.1.3](#).

Застосування високомодульних волокон з модулем нормальної пружності понад 350ГПа і граничним

відносним подовженням менше 1,1% допускається у в'язях, які працюють в значній мірі на стійкість при дії стискаючих навантажень.

2.3.1.5 Арамідні волокна повинні мати характеристики (див. [табл. 2.3.1.3](#)) в складі стрічок і тканин, що забезпечують ефективне їх застосування в конструкціях суден, що зазнають в основному значні ударні і вібраційні навантаження.

Враховуючи їх підвищене водопоглинення, армуючі матеріали з цих волокон рекомендується застосовувати всередині шаруватого пакету між моношарами на основі скло-, або/і вуглецевих матеріалів, для того, щоб виключити контакт арамідних волокон з водою.

2.3.1.6 Волокна і армуючі матеріали на їх основі повинні бути перевірені на предмет відповідності їх механічних властивостей заявленим. Перевірка повинна проводитися за методиками міжнародних і/або національних стандартів, або інших документів, узгоджених з Регістром.

Перелік показників, що перевіряються, визначається технологічними інструкціями та нормами контролю якості виготовлення. При наявності СТС перевірка здійснюється підприємством (виготовлювачем) волокон та армуючих матеріалів, а її результати заносяться в паспорт (Сертифікат якості виготовлювача) на кожну партію продукції, що випускається (див. [2.2.1](#)). Перевірку може також виконувати верф або підприємство (виготовлювач) виробів і конструкцій з ПКМ або інші лабораторії, визнані Регістром. Звітні документи випробувань подаються Регістру.

2.3.1.7 Армуючі матеріали, що застосовуються в ПКМ, повинні мати певні характеристики змочування і драпірування для використання їх з обраним типом термореактивного зв'язуючого при формуванні конструкцій, що мають складні форми.

При застосуванні методів закритого формування для армуючих матеріалів повинен бути визначений показник проникності, що визначає технологічні параметри при виборі методу інжекції полімерного зв'язуючого.

2.3.1.8 Паспорт (Сертифікат якості виготовлювача), який оформляється на кожну партію волокна (армуючого матеріалу), повинен містити наступну інформацію:

- дані підприємства (виготовлювача);
- марка волокна (матеріалу);
- тип і структура армування (для армуючого матеріалу);
- маса на одиницю довжини або площі поверхні;
- результати приймальних випробувань (див. [2.3.1.6](#)).

2.3.1.9 Підприємством-виготовлювачем армуючих матеріалів або виготовлювачем конструкцій з ПКМ (див. [2.2.1](#)) повинні бути перевірені ламінуючі властивості цих матеріалів шляхом виготовлення з них пластин методом контактного формування і методом інфузії на основі обраних поліефірних і вінілефірних зв'язуючих.

З цих пластин повинні бути вирізані зразки в основних напрямках армування і випробувані за методиками міжнародних і/або національних стандартів, або за іншими методиками, погодженими з Регістром, для визначення наступного:

- межі міцності і модуля нормальної пружності при розтягуванні;
- межі міцності при вигині;
- межі міцності при міжшаровому зсуві.

Перелік стандартів і методик для визначення зазначених характеристик наведено в типовій програмі випробувань (див. [додаток 2](#)).

2.3.1.10 У конструкціях армуючі матеріали можуть застосовуватися у вигляді тканин різного плетіння, мультіаксіальних тканин, стрічок і матів.

Вибір того чи іншого типу армуючого матеріалу, їх комбінації, а також структури армування, визначається вимогами, що пред'являються до ПКМ, умовами його роботи в складі конструкції і ступенем її відповідальності. При цьому необхідно враховувати розміри конструкції і її основних в'язей, їх форму і технологію виготовлення (див. [2.3.5](#)).

2.3.2 Зв'язуючі.

2.3.2.1 Для термореактивних зв'язуючих, які використовуються в конструкційних ПКМ (див. [2.1.1](#)), повинні бути визначені наступні показники:

- механічні властивості, які забезпечують досягнення в ПКМ необхідних характеристик міцності і характеристик жорсткості;
- адгезія до волокон армуючих матеріалів при всіх видах впливів на ПКМ в процесі експлуатації;
- водопоглинення і стійкість при тривалому впливі морської води;
- термостійкість в діапазоні температур від -40°C до +60°C;
- стійкість до впливу масла - і нафтопродуктів.

2.3.2.2 Фізико-механічні властивості поліефірних і вінілефірних зв'язуючих в затверділому стані повинні відповідати вимогам, зазначеним в [табл. 2.3.2.2](#).

Таблиця 2.3.2.2 Фізико-механічні властивості основних типів зв'язуючих, що застосовуються в конструкції суден

Характеристика	Поліефірне зв'язуюче	Вінілефірне зв'язуюче	Епоксидне зв'язуюче
Густина, кг/м ³	1100÷1300	1100÷1180	1150÷1280
Границя міцності на розтягування, МПа	не менше 40	не менше 55	не менше 75
Модуль нормальної пружності на розтягування, ГПа	не менше 2,7	не менше 3,0	не менше 2,6
Границя міцності на згин, МПа	не менше 50	не менше 65	не менше 80
Граничне відносне подовження на розтягування, %	не менше 1	не менше 2,2	не менше 2,5
Водопоглинення при нормальному тиску за 24 год, %	не більше 0,1	не більше 0,1	не більше 0,08

2.3.2.3 Епоксидні зв'язуючі, що застосовуються при формуванні окремих елементів і в'язей конструкцій, а також у складі препрегів, повинні мати характеристики в затверділому стані не нижче, наведених в [табл. 2.3.2.2](#). При цьому їх твердіння повинно відбуватися в умовах, які можуть бути реалізовані в умовах суднобудівного виробництва.

Беручи до уваги, що епоксидні зв'язуючі відносяться переважно до смол гарячого твердіння, їх застосування для виготовлення конструкцій суден повинно бути технологічно обгрунтоване.

2.3.2.4 Зв'язуючі повинні бути технологічними, мати в'язкість і здатність змочування, що забезпечують якісне просочення армуючих матеріалів, в т.ч. допускати можливість застосування методів закритого формування конструкцій і механізацію процесу їх виготовлення.

Життєздатність зв'язуючого повинна забезпечувати можливість виготовлення крупногабаритних конструкцій складних форм з відносно великими товщинами їх в'язей.

2.3.2.5 Всі компоненти (каталізатори, прискорювачі, тиксотропні добавки, фарбувальні пігменти), що входять до складу термореактивного зв'язуючого, повинні бути сумісні зі смолою, забезпечувати повне затвердіння зв'язуючого і не погіршувати його властивості в затверділому стані.

2.3.2.6 Фарбувальні пігменти повинні бути стійкі до впливу кліматичних факторів. Кількість пігменту, що вводиться до складу зв'язуючого, не повинна перевищувати норму, встановлену виготовлювачем смол.

2.3.2.7 Зв'язуючі, що застосовуються в технологіях закритого формування, повинні мати наступні характеристики:

- динамічна в'язкість по Брукфільду при температурі 25°C в межах 150 ÷ 400 МПа/с;
- час гелеутворення при температурі 18 ÷ 22°C з можливістю варіювання від 0,5 до 6 год при збереженні фізико-механічних властивостей;
- температура екзотермічної реакції при полімеризації зв'язуючого - не більше 200°C;
- температура термообробки не вище 80°C;
- температура скловання зв'язуючого в затверділому стані - не менше 110°C.

2.3.2.8 Підприємства-виготовлювачі термореактивних зв'язуючих повинні підтвердити їх характеристики шляхом визначення властивостей в процесі твердіння і після його закінчення. Перелік властивостей, що визначаються, встановлюється технологічною документацією і нормами контролю

якості виготовлення і узгоджується з Регістром.

Випробування для визначення характеристик зв'язуючого проводяться підприємством-виготовлювачем за методиками міжнародних і/або національних стандартів, або інших документів, узгоджених з Регістром.

Випробування можуть також проводитися лабораторією, визнаною Регістром.

2.3.2.9 Кожна партія зв'язуючого повинна супроводжуватися паспортом (Сертифікатом якості виготовлювача), який повинен містити наступну інформацію:

- дані підприємства-виготовлювача;
- тип зв'язуючого;
- марка зв'язуючого;
- результати приймальних випробувань.

До паспорта (Сертифіката якості виготовлювача) повинна бути додана інструкція з використання зв'язуючого і умов його зберігання.

2.3.3 Заповнювачі.

2.3.3.1 Матеріали, що застосовуються як заповнювачі - середніх шарів, в тришарових (багатошарових) конструкціях суден, і в «сердечниках» балок П-подібного профілю повинні мати необхідну міцність і жорсткість при мінімальній густині для забезпечення спільної роботи несучих шарів цих конструкцій і обформовок балок при всіх діях на них в процесі експлуатації.

2.3.3.2 Матеріали заповнювачів повинні бути сумісні з матеріалами несучих шарів і обформовок. Зв'язуюче несучих шарів при формуванні конструкції не повинно призводити до зміни структури і погіршення характеристик матеріалу заповнювача, який не повинен змінювати тверді характеристики зв'язуючого.

У разі застосування адгезійної суміші для з'єднання шарів ПКМ і заповнювача він повинен забезпечувати їх сполучення в єдину конструкцію при всіх видах експлуатаційних впливів і бути сумісним зі зв'язуючим і заповнювачем.

2.3.3.3 При виборі матеріалів заповнювачів, що застосовуються в зовнішніх в'язях корпусних конструкцій (обшивка корпусу, бічні стінки надбудови і т.д.), перевага повинна віддаватися заповнювачам, що володіють низьким водопоглиненням, стійкістю до старіння при перепадах температур і впливу ультрафіолетового опромінення, а також забезпечують, по можливості, достатній рівень теплоізоляції.

2.3.3.4 Як матеріал заповнювача зовнішніх в'язей тришарових (багатошарових) конструкцій допускається застосовувати наступне:

- полівінілхлоридні пінопласти (ПВХ), що мають жорстку закритопористу структуру;
- пінополіуретан (ППУ);
- бальза;
- легкі мати з мікросферами (див. [1.2](#)).

Для підвищення жорсткості і міцності пінопластів ПВХ і ППУ, а також легких матів, особливо на поперечний зсув, в їх структуру може бути введене додаткове армування у вигляді шарів армуючого матеріалу, гофрів, ребер і т.д. Використання додаткового армування повинно бути обґрунтоване.

2.3.3.5 Крім заповнювачів, зазначених в [2.3.3.4](#), у внутрішніх в'язях корпусів і надбудов допускається застосовувати конструктивно-дискретні типи заповнювачів у вигляді сот, гофрів, ребер (без використання суцільного заповнювача типу пінопласту).

2.3.3.6 У балках набору П-подібного профілю повинні застосовуватися полівінілхлоридні пінопласти (ПВХ).

2.3.3.7 Застосування інших типів заповнювачів в тришарових (багатошарових) конструкціях і балках П-подібного профілю повинно бути обґрунтоване на підставі результатів розрахунків і випробувань, а також узгоджене з Регістром.

2.3.3.8 Фізико-механічні властивості пінопластів ПВХ і ППУ або наповнювачів інших типів повинні відповідати вимогам [табл. 2.3.3.8](#).

2.3.3.9 Підприємства (виготовлювачі) пінопластів ПВХ, ППУ, сот, а також інших типів заповнювачів повинні підтвердити їх характеристики шляхом проведення випробувань зразків матеріалів.

Порядок відбору зразків, перелік визначених властивостей і методики проведення випробувань встановлюються підприємствами (виготовлювачами) в технологічній документації і нормах контролю якості виготовлення і узгоджуються з Регістром.

2.3.3.10 До формування тришарових (багатошарових) конструкцій, а також балок набору П-подібного профілю із застосуванням пінопласту як заповнювача, він повинен бути механічно оброблений для зняття поверхневих шарів (кірки), що утворюються в процесі його виготовлення.

У разі застосування технологій закритого формування пінопласт повинен пройти відповідну підготовку, яка полягає у виконанні в ньому каналів для забезпечення протікання зв'язуючого.

2.3.3.11 Термообробка конструкцій з заповнювачем типу пінопласту повинна проводитися при температурі, при якій в пінопласті не відбуваються незворотні зміни, що призводять до зниження його міцності і пружних властивостей, а також до його усадочних деформацій і спотворенню форми.

Таблиця 2.3.3.8 Властивості матеріалів, що застосовуються як заповнювачі тришарових конструкцій

Параметр	Заповнювач звичайної міцності		Наповнювач підвищеної міцності
	Днище, борти, вантажна палуба і палуба в місцях зосереджених навантажень	Всі інші елементи	Посилення та спеціальні елементи, зазначені в тексті Правил
Густина (довідкові дані), кг/м ³	80	60	130
Мінімальна границя міцності при зсуві, МПа	0,80	0,50	1,9
Мінімальна границя міцності при стисненні, МПа	0,90	0,60	2,4

2.3.4 Адгезійні речовини.

2.3.4.1 Адгезійні речовини у вигляді клеїв і компаундів повинні застосовуватися для з'єднання елементів конструкцій з ПКМ. Останні можуть бути наповнені мікросферами або короткими волокнами і застосовуватися для заповнення технологічних зазорів при з'єднанні елементів конструкції.

Клеї і компаунди повинні бути сумісні з матеріалами елементів, що з'єднуються, забезпечувати високу міцність з'єднання з урахуванням заданого діапазону робочих температур, бути стійкими до старіння, впливу вологи, а також масла - і нафтопродуктів.

2.3.4.2 Адгезійні речовини повинні бути, по можливості, двокомпонентними, тверднути в нормальних умовах протягом приблизно 20 ÷ 60хв, дозволяючи виконати з'єднання елементів в великогабаритних корпусних конструкціях в виробничих умовах суднобудівної верфі.

2.3.4.3 Адгезійна речовина повинна містити дані для кожної пари матеріалів, що з'єднуються, щодо статичної міцності на здвиг і адгезійної міцності на відрив у вихідному стані і після зволоження при нормальній і підвищеній температурі, а також щодо визначення втомної і тривалої міцності при цих видах деформацій.

2.3.4.4 При використанні адгезійних речовин для з'єднання елементів конструкції підготовка їх поверхонь і технологія нанесення на них речовини повинна відповідати рекомендаціям підприємства-виготовлювача цих речовин. При цьому не слід перевищувати задану виготовлювачем товщину адгезійної речовини між елементами конструкції, що з'єднуються, і допускати попадання в нього повітря.

2.3.4.5 У випадку термообробки конструкції при підвищеній температурі, в якій застосовуються адгезійні речовини, її величина не повинна перевищувати задану для адгезійної речовини температуру затвердіння.

2.3.4.6 Постачання адгезійної речовини здійснюється з паспортом (Сертифікат якості виготовлювача), в якому повинна бути приведена наступна інформація:

- дані підприємства-виготовлювача;
- марка адгезійної речовини;

- приймальні показники та їх числові значення, перелік яких повинен бути вказаний в технологічній документації підприємства-виготовлювача;
- результати випробувань характеристик міцності для обраних пар матеріалів, що з'єднуються.

2.3.5 Полімерні композиційні матеріали.

2.3.5.1 ПКМ, що застосовуються в корпусних конструкціях, повинні відповідати таким основним вимогам:

- мати необхідні для створення ефективної корпусної конструкції пружні та міцнісні характеристики, а також працездатність при дії повторно-статичних, тривалих, вібраційних і ударних навантажень;
- зберігати свої пружні та міцнісні характеристики, а також працездатність в заданих межах протягом тривалої експлуатації в воді і різних кліматичних умовах протягом не менше 20 років;
- мати низьке водопоглинення і високу водостійкість в морській воді;
- володіти стійкістю при впливі масла -, нафтопродуктів і морських біологічних організмів;
- володіти такими пожежонебезпечними властивостями як негорючість, а також не являти небезпеки щодо виділення токсичних або вибухонебезпечних продуктів при підвищених температурах.

2.3.5.2 Технологія переробки ПКМ в корпусні конструкції, їх в'язі і елементи повинна забезпечувати наступне:

- виготовлення матеріалу в складі конструкції з необхідними характеристиками;
- стабільне відтворення цих характеристик при тиражуванні конструкцій;
- високу якість виготовлення без неприпустимих дефектів (розшарувань, раковин, нещільності укладання і т.д.);
- можливість застосування методів закритого формування (методу інфузії, RTM-методів та ін.) і засобів механізації.

2.3.5.3 Для виготовлення конструкцій з ПКМ допускається застосування таких методів:

- контактного формування;
- закритого (вакуумного) формування, до яких відносяться метод інфузії і RTM-методи;
- напилування;
- формування на основі препрегів.

2.3.5.4 При виборі методу виготовлення конструкцій необхідно враховувати ступінь налагодженості даної технології на підприємстві (виготовлювачу), наявність кваліфікованого персоналу та необхідного обладнання.

2.3.5.5 Для виготовлення корпусних конструкцій суден і їх в'язей рекомендується застосовувати переважно метод інфузії.

Для виготовлення окремих елементів конструкції допускається застосовувати RTM-методи.

2.3.5.6 Метод контактного формування повинен застосовуватися в тих районах конструкції, де використання методу інфузії неможливо або недоцільно, наприклад, в вузлах з'єднань або в районах підсилень.

2.3.5.7 Метод напилування допускається застосовувати для виготовлення корпусних конструкцій і їх окремих в'язей, на які не поширюються вимоги до міцності і жорсткості (не враховуються в розрахунках міцності).

Процес напилування повинен виконуватися згідно з технологічною інструкцією. При цьому довжина волокон (chops) повинна знаходитися в діапазоні 10мм ÷ 30мм. Напилування рекомендується виконувати шарами. Після напилування кожного шару повинна проводитися його прокатка для видалення повітря і ущільнення матеріалу.

2.3.5.8 Формування на основі препрегів допускається застосовувати для корпусів суден до 15м, а також для елементів і в'язей конструкцій, узгоджених з Регістром. Препреги за своїми властивостями повинні задовольняти вимогам, що пред'являються до його компонентів - армуючого матеріалу і зв'язуючого.

2.3.5.9 Методи формування повинні забезпечувати оптимальне співвідношення між армуючим матеріалом і зв'язуючим для отримання найбільш оптимальних властивостей матеріалу.

Таблиця 2.3.5.9 Відносний вміст армуючих матеріалів на основі скляних і вуглецевих волокон за масою в ПКМ

Метод формування	Тип армуючого матеріалу			
	Скломати	Скляне волокно	Вуглецеве волокно	Скляні джгути
Контактне формування	не менше 0,3	не менше 0,5	не менше 0,35	-
Закрите (вакуумне) формування	-	0,65 ÷ 0,7	0,4 ÷ 0,6	-
Напилювання	-	-	-	не менше 0,35
На основі препрегів	-	не менше 0,7	не менше 0,45	-

2.3.5.10 Режими твердіння, які проводяться при підвищених температурах, не повинні призводити до великих залишкових деформацій і порушення цілісності конструкції. У разі, якщо конструкція є тришаровою (багатошаровою) в заповнювачі типу пінопласту не повинні відбуватися незворотні зміни, що призводять до зниження його міцності і пружних властивостей (див. [2.3.3.11](#)). **2.3.5.11** Для ПКМ повинен бути визначений перелік основних характеристик, зазначених у [табл. 2.3.5.11](#). При цьому, для ПКМ на основі скло- та вуглеволокна такі характеристики повинні бути не нижчими, ніж зазначено в [табл. 2.3.5.11](#).

Таблиця 2.3.5.11 Основні характеристики скло - і вуглепластиків

Тип ПКМ	Армуюче волокно	
	Вуглецеве волокно	Скловолокно
Відносний вміст армуючого волокна за масою	не менше 0,3	не менше 0,25
Модуль нормальної пружності, ГПа	не менше 30	не менше 4,5
Модуль зсуву в площині армування, ГПа	не менше 2	не менше 2
Границя міцності на розтягування, МПа	не менше 85	не менше 63
Границя міцності на стиск, МПа	встановлюється виготовлювачем	встановлюється виготовлювачем

2.3.5.12 Зниження пружних і міцнісних характеристик ПКМ після тривалого впливу експлуатаційних факторів протягом 20 років повинне становити:

- для модулів нормальної пружності і зсуву - менше 0,5 % на рік; - для міцнісних характеристик - менше 1,0% на рік.

2.3.5.13 Водопоглинення ПКМ при тривалому перебуванні в морській воді при нормальному тиску повинно мати такі показники:

- не більше 0,15% від ваги матеріалу за 24 год впливу морської води;
- не більше 3,0% від ваги матеріалу після впливу морської води протягом 30 діб.

2.3.5.14 Міцнісні і пружні властивості ПКМ при різних видах силових впливів (короточасних, повторно-статичних, тривалих і т.д.), а також після зволоження і при дії підвищених температур повинні визначатися в результаті випробувань за методиками, зазначеними в типовій програмі (див. [додаток 2](#)).

2.3.5.15 Виготовлення конструкцій з ПКМ повинно здійснюватися спільно з контролем якості їх виготовлення на всіх стадіях технологічного процесу згідно з діючими керівними документами.

Застосовувані методи контролю якості повинні виявляти неприпустимі відхилення від технологічного процесу, в тому числі різні типи дефектів, які можуть знизити міцність і працездатність конструкції.

2.3.5.16 Регістр може здійснювати вибірккову перевірку якості виготовлення конструкцій і виробів з ПКМ, за результатами якої приймається рішення про схвалення матеріалу.

3 КОРПУС І НАДБУДОВИ СУДЕН

3.1 КОНСТРУКТИВНІ ТИПИ КОРПУСІВ І СИСТЕМ НАБОРУ

3.1.1 Для обшивки корпусу (настилів палуб і полотнищ перегородок) рекомендується застосовувати наступні варіанти їх конструктивного виконання (див. [рис. 3.1.1](#)):

.1 обшивка одношарової конструкції:

з однорідного ПКМ на основі одного типу армуючого матеріалу;

з неоднорідного ПКМ на основі двох (рідше трьох) різних за типом матеріалів, наприклад, з склотканин різного малюнка плетіння і схем армування;

з гібридного ПКМ на основі армуючих матеріалів різної хімічної природи, наприклад, з склотканини і вуглецевого волокна (див. [1.2.2](#));

.2 обшивка тришарової конструкції з несучими шарами з однорідного, неоднорідного або гібридного ПКМ і середнім шаром з суцільного заповнювача, в якості якого рекомендується застосовувати пінопласти ПВХ або ППУ;

.3 обшивка тришарової конструкції, середній шар якої виконаний з шарів заповнювача, армованого шарами армуючого матеріалу. Як заповнювач в даному випадку рекомендується застосовувати легкий мат (див. [2.3.3.4](#)).

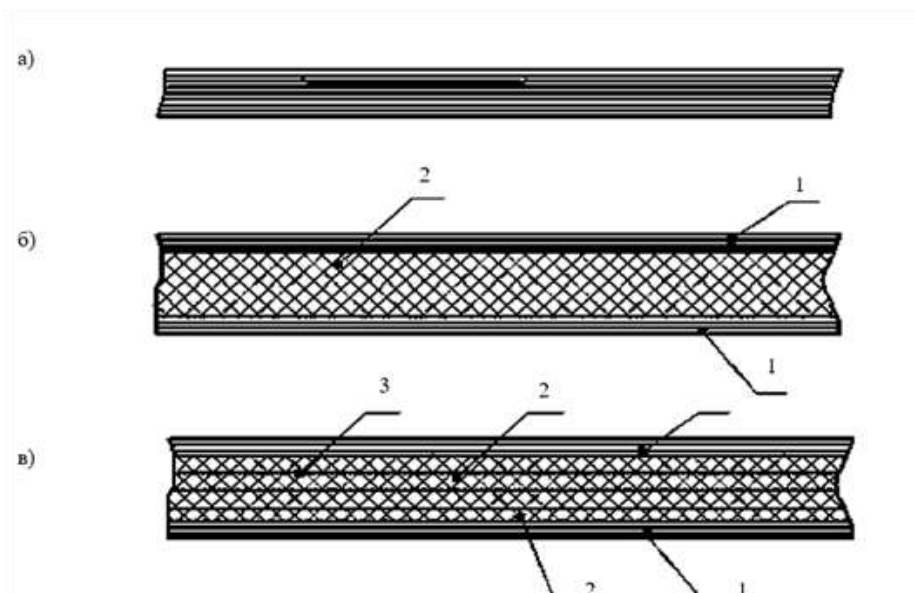


Рис. 3.1.1 Конструктивні схеми обшивки корпусу (настилів палуб і полотнищ перегородок) з ПКМ:
а) обшивка одношарової конструкції; б) обшивка тришарової конструкції із суцільним заповнювачем;
в) обшивка тришарової конструкції з заповнювачем, армованим пошарово
1 - несучі шари; 2 - заповнювач; 3 - армуючі шари

3.1.2 Застосування тришарової конструкції для обшивки корпусу може бути допущене Регістром при наявності на підприємстві (виготовлювачу) налагодженої технології її виготовлення і перевірених методів контролю якості для забезпечення міцного з'єднання всіх шарів в єдину монолітну конструкцію.

3.1.3 Обшивка корпусу повинна бути підкріплена і залежно від взаємного розташування балок може застосовуватися наступна система набору (див. [рис. 3.1.3](#)):

- поперечна при розташуванні всіх балок в площині шпангоутів за винятком вертикального кіля (див. [рис. 3.1.3, а](#));
- змішана - поперечна по бортах, а по днищу (верхній палубі):
- поздовжня з розташуванням балок вздовж корпусу (див. [рис. 3.1.3, б](#));
- змішана з безперервними або інтеркостельними поперечними балками (див. [1.3.5, рис. 3.1.3, в](#));
- змішана з рамними поперечними в'язями (див. [рис. 3.1.3, г](#)).

При змішаній системі набору поперечні в'язі по днищу і палубі повинні розташовуватися в площині шпангоутів.

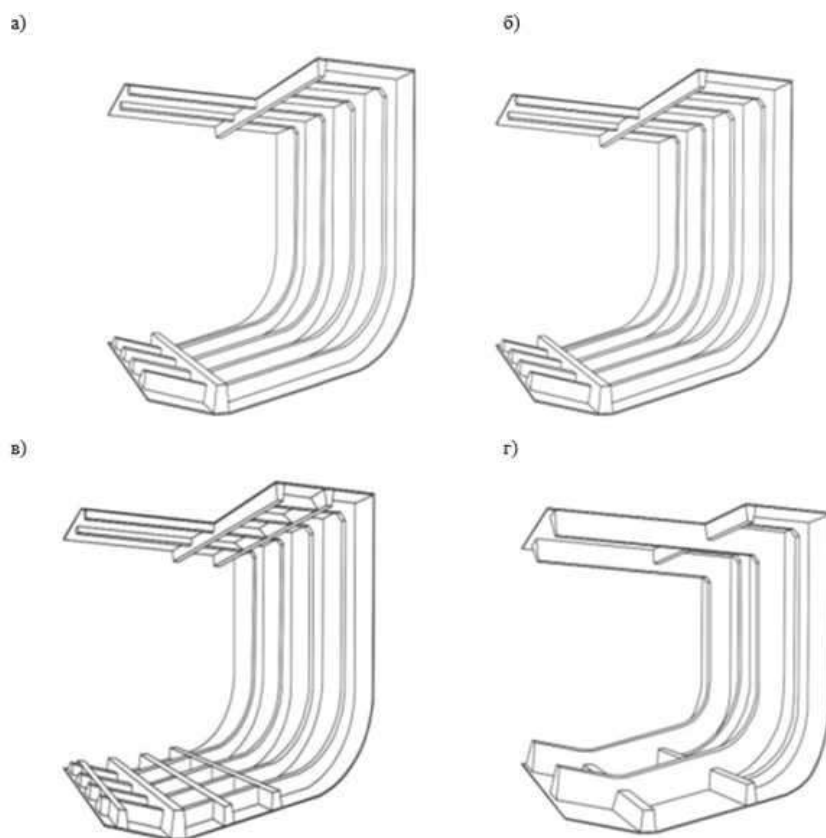


Рис. 3.1.3 Системи набору корпусу судна:

- а) поперечна система набору;
- б) змішана, поздовжня з розташуванням балок по днищу і верхній палубі;
- в) змішана, з безперервними або інтеркостельними поперечними балками по днищу і верхній палубі;
- г) змішана, з рамними поперечними балками.

3.1.4 При виборі конструктивного типу корпусу судна, включаючи його систему набору, повинні враховуватися наступні фактори:

- призначення і розмір судна;
- умови експлуатації;
- вимоги до ваги корпусу і необхідність забезпечення його загальної і місцевої міцності, а також жорсткості;
- трудомісткість будівництва корпусу судна;
- кількість суден в серії і т.д.

3.1.5 Для суден довжиною від 15м до 70м мінімальна величина шпациї поперечного набору з урахуванням вимог [1.3.4](#) приймається рівною:

- для корпусів з одношаровою обшивкою - 500мм;
- для корпусів з тришаровою обшивкою - 1000мм.

У форпіку повинна застосовуватися поперечна система набору, а зазначені величини шпациї повинні бути зменшені до наступних значень:

- для корпусів з одношаровою обшивкою - 400мм;
- для корпусів з тришаровою обшивкою - 800мм.

3.1.6 Вибір системи набору корпусу судна і величина шпациї повинні обґрунтовуватися проєктантом

на підставі розрахунків загальної і місцевої міцності з урахуванням факторів, зазначених в [3.1.4](#). При цьому слід дотримуватися нижченаведених рекомендацій.

Поперечну систему набору корпусу рекомендується застосовувати:

- з одношаровою обшивкою для суден довжиною $L \leq 20\text{м}$;
- з тришаровою обшивкою для суден довжиною $L \leq 30\text{м}$.

Змішану систему набору корпусу з одношаровою або тришаровою обшивкою рекомендується застосовувати для суден довжиною $L \geq 30\text{м}$. При виборі конструкції обшивки необхідно враховувати, що тришарова обшивка порівняно з одношаровою дозволяє скоротити кількість балок набору і відповідно вузлів їх перетинів (див. [1.3.4](#)), а також знизити вагу конструкції з урахуванням умов, при яких вона може бути реалізована (див. [3.1.2](#)).

Змішану систему набору корпусу з позовжнім розташуванням балок по днищу як з одношаровою, так і з тришаровою обшивкою, рекомендується застосовувати для суден, в т.ч. високошвидкісних довжиною $L = 15\text{м} \div 20\text{м}$. В останньому випадку роль балок можуть грати позовжні редани.

3.1.7 Для балок набору повинен застосовуватися переважно П-подібний профіль або його різновид - трапецієподібний профіль. Ці профілі складаються з заповнювача («сердечника») і його обформовки, що утворює вільний пояс і стінки балки, що переходять у фланці, за допомогою яких здійснюється з'єднання балки з обшивкою корпусу (настилом палуби, полотнищем перегородки) (див. [рис. 3.1.7 а, б](#)).

Вищевказані профілі можуть не мати «сердечника», а формування їх стінок і вільного пояса виконується на оформлювачі з утворенням фланців, або вони виконуються у вигляді окремої заготовки, яка з'єднується з обшивкою корпусу (настилом палуби, полотнищем перегородки) на приформовочних косинцях.

3.1.8 Застосування балок Т-подібного профілю, а також Г-подібного профілю, допускається в тому випадку, коли вони одночасно можуть виконувати функції балок фундаменту (див. [рис. 3.1.7 в, г](#)).

З'єднання балок даних профілів з обшивкою корпусу (настилом палуби, полотнищем перегородки) виконується на приформовочних косинцях.

3.1.9 Рекомендації по конструкціях обшивки (настилів палуб, полотнищ перегородок) і балок зазначених профілів, включаючи склад і структуру армування їх елементів, наведені в [3.2.1](#) ÷ [3.2.3](#).

3.2 КОНСТРУКЦІЯ КОРПУСУ

3.2.1 Зовнішня обшивка.

3.2.1.1 Одношарова обшивка.

.1 для одношарової обшивки корпусу суден довжиною $15\text{м} \div 70\text{м}$ повинні застосовуватися рівингові і мультіаксіальні тканини. При виборі типу і марки армуючого матеріалу необхідно враховувати спосіб укладання матеріалу і технологію формування з нього обшивки з використанням методів контактного або вакуумного формування;

.2 для суден довжиною $15\text{м} \div 20\text{м}$ полотнища тканин допускається укладати як уздовж, так і поперек корпусу. Схема армування обшивки повинна бути паралельною - $[(0^\circ/90^\circ)]$ з орієнтацією напрямку 0° (основи) уздовж твірної обшивки або уздовж її направляючої. В останньому випадку в тканинах з армуванням $0^\circ/90^\circ$ розривне навантаження/в напрямку 90° (утоку) повинна бути не нижче навантаження в напрямку 0° (основи);

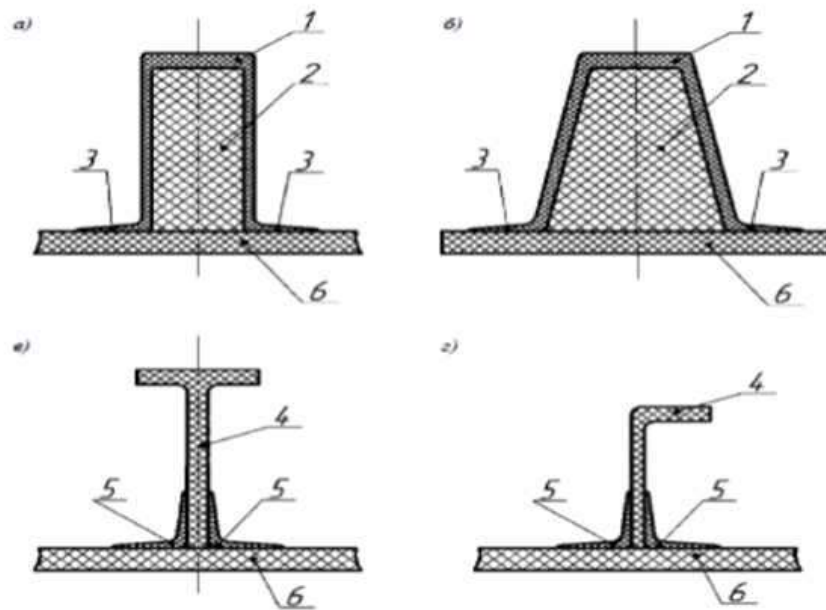


Рис. 3.1.7 Конструктивні схеми балок набору:

- а) балка П-подібного профілю;
 б) різновид П-подібного профілю - трапецієподібний профіль;
 в) балка Т-подібного профілю;
 г) балка Г-подібного профілю
 1 - обформовка профілю;
 2 - заповнювач (сердечник) профілю;
 3 - фланці;
 4 - балка;
 5 - приформовочні косинці;
 6 - обшивка (настил палуби, полотнище перегородки)

3 для суден довжиною понад 20м укладання полотнищ тканин рекомендується виконувати поперек корпусу. У цьому випадку повинна застосовуватися паралельно-діагональна $[(0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ)]$ структура армування обшивки, яка може бути реалізована шляхом застосування двох видів тканин - біаксіальної з армуванням $(0^\circ/90^\circ)$ і діагональної з армуванням $(+45^\circ/-45^\circ)$, або на основі квадроаксіальної тканини, що має 4 напрямки армування $(0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ)$;

4 в разі застосування двох видів тканин з армуванням $(0^\circ/90^\circ)$ та $(+45^\circ/-45^\circ)$, а також з близькою їх поверхневою щільністю, кількість шарів другої тканини визначається з умови, що сумарна товщина її шарів, просочених зв'язуючим, приймається рівною $(0,4 \div 0,45)$ товщини обшивки. При цьому можуть бути реалізовані два варіанти розташування шарів цих тканин по її товщині:

- рівномірне, коли шари тканини $(0^\circ/90^\circ)$ рівномірно чергуються з шарами діагональної тканини $(+45^\circ/-45^\circ)$, причому 2 ÷ 4 шари першої тканини (залежно від товщини обшивки) повинні бути укладені на зовнішніх поверхнях обшивки;

- пакетне, коли шари тканини $(0^\circ/90^\circ)$ збираються в пакети, що розташовуються на зовнішніх поверхнях обшивки, а шари тканини $(+45^\circ/-45^\circ)$ розташовуються між ними;

5 при використанні квадроаксіальних тканин з армуванням $(0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ)$ необхідно, щоб сума поверхневої щільності джгутів в напрямках армування $(0^\circ/90^\circ)$ була приблизно рівною (з різницею до 15%) цієї суми в напрямках $(+45^\circ/-45^\circ)$;

6 при формуванні обшивки 2 ÷ 4 перших і останніх шарів тканини (залежно від товщини обшивки), розташованих на її зовнішніх поверхнях, укладання здійснюється по стиках (по основі) з перекриванням величиною не менше 50мм, а по пазах (по утоку) - без перекривання. При цьому перекривання повинне виконуватися в напрямку від носа в корму. Решта шарів укладаються по стиках і пазах без перекривання (див. [рис. 3.2.1-1](#)).

У кожному шарі стики і пази тканини повинні бути рознесені щодо сусідніх шарів не менше ніж на 100

мм. Суміщення стиків і пазів в одному перерізі допускається не менше ніж через 5 шарів;

.7 товщина обшивки s в середній частині корпусу судна визначається як максимальне значення з двох величин $s = \max(s_d, s_s)$, де s_d, s_s - товщина обшивки, яка визначається за графіками на [рис. 3.2.1-2](#), виходячи із заданих вимог до жорсткості і міцності відповідно.

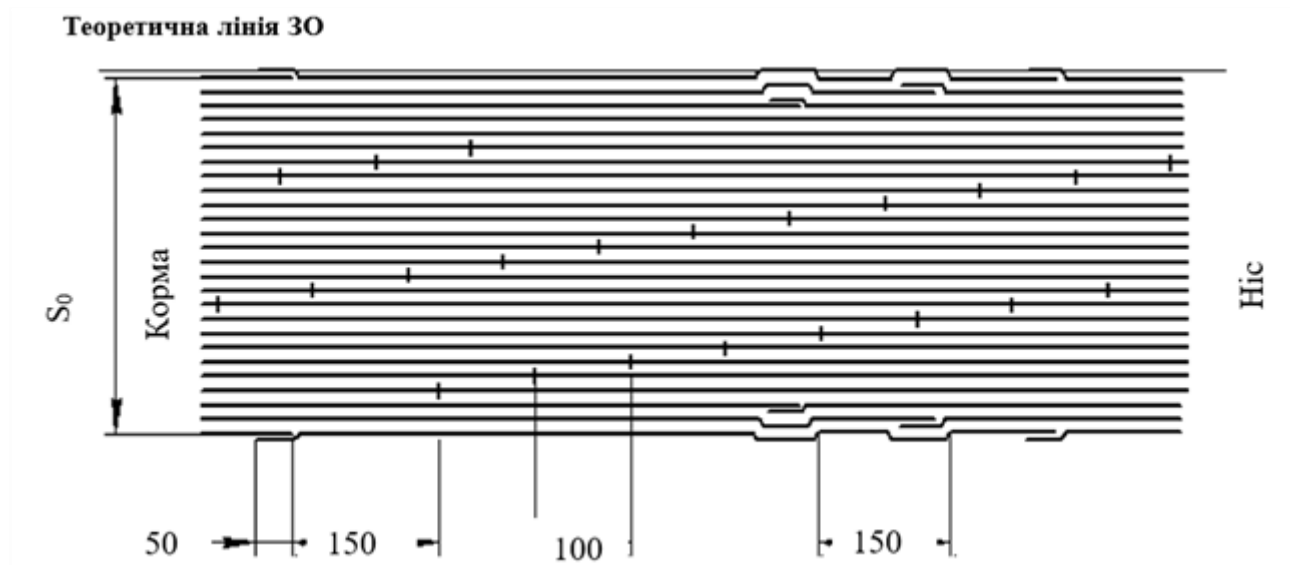


Рис. 3.2.1-1 Структура одношарової обшивки корпусу судна

При цьому мінімальна товщина s обшивки корпусу в районах днища і бортів в середній частині судна не повинна бути менше значень, визначених за графіками на [рис. 3.2.1-4](#) залежно від довжини судна між перпендикулярами L .

У носовій і кормовій кінцевих частинах корпусу судна дані товщини повинні бути збільшені, як мінімум, на 20%, а для високошвидкісних суден, які сприймають великі навантаження від слемінгу, товщина обшивки в носовій частині судна повинна бути збільшена, як мінімум, на 40%.

Вибір товщини обшивки корпусу повинен бути підтверджений проєктантом на основі результатів розрахунків загальної і місцевої міцності корпусу;

.8 збільшення товщини обшивки повинно виконуватися якомога більш плавно шляхом введення додаткових шарів тканини всередину пакета основних шарів, які є безперервними, а її зменшення - шляхом видалення частини шарів всередині пакету. Шари, які вводяться або видаляються, рекомендується чергувати з безперервними шарами.

Перерізи, в яких починаються або обриваються шари тканини, повинні бути рознесені відносно один одного на відстань не менше ніж 50мм. При цьому довжина Δ , в межах якої товщина обшивки плавно змінюється, повинна задовольняти наступній умові:

$$\Delta \geq 15 \times (S_1 - S_0),$$

де $(S_1 - S_0)$ - перепад товщини обшивки (див. [рис. 3.2.1-5](#));

.9 горизонтальний кіль і ширстрек формуються шляхом накладання пакету додаткових шарів тканини між основними шарами, після досягнення 75% товщини обшивки в районі цих в'язей. Допускається горизонтальний кіль і ширстрек набирати шляхом укладання шарів тканини на основну обшивку в тому випадку, якщо для виготовлення обшивки застосовується метод інфузії.

Кожен наступний шар тканини, який утворює горизонтальний кіль чи ширстрек, повинен перекривати по ширині попередній не менше ніж на 5мм. Пази і стики додаткових шарів повинні бути рознесені відносно один одного, а також щодо стиків і пазів основних шарів не менше ніж на 50мм. Суміщення стиків і пазів додаткових шарів в одному перерізі допускається не менше ніж через 5 шарів;

.10 як армуючий матеріал при формуванні горизонтального кіля і ширстрека рекомендується застосовувати рівінгові або біаксіальні тканини з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) з посиленою міцністю в

напрямку 0° .

Шари тканини в горизонтальному кілі і ширстреку повинні укладатися напрямком 0° уздовж корпусу;

.11 товщина горизонтального кіля повинна прийматися не менше ніж на 50% більше товщини обшивки днища, а його ширина - не менше 40 його товщин, рахуючи на обидва борти. При цьому дана ширина горизонтального кіля вказана на рівні його повної товщини. Зменшення товщини накладки рекомендується виконувати в такий спосіб: зміна товщини на 5мм має виконуватися на ширині (з одного боку) не менше 50мм за умови дотримання вимоги по перекриванню шарів (див. [3.2.1.1.9](#)).

.12 товщина ширстрека повинна прийматися на 40% більше товщини борту, а його ширина - рівною 40 його товщинам. Зменшення товщини накладки ширстрека рекомендується виконувати так само, як і в горизонтальному кілі.

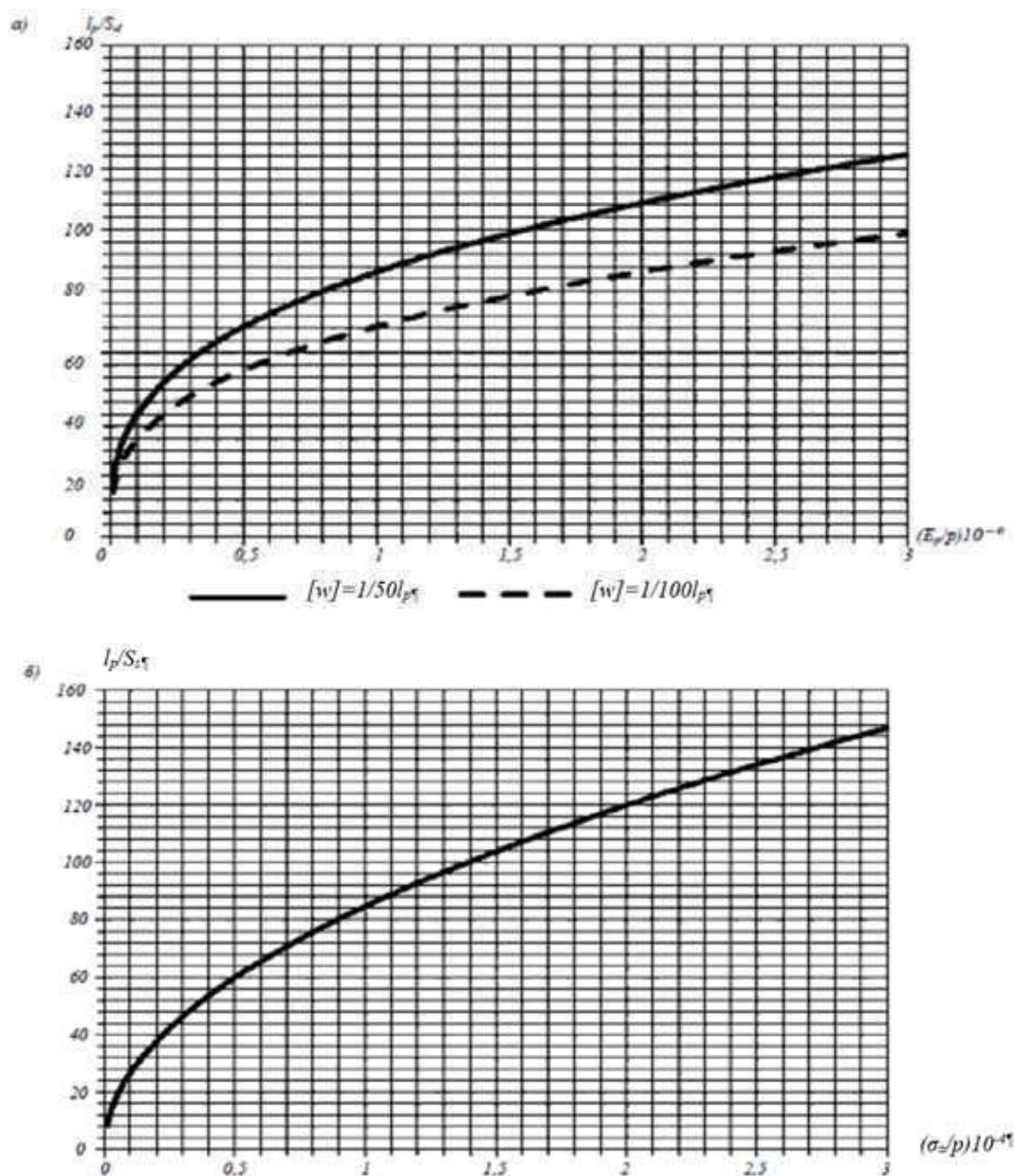


Рис. 3.2.1-2 Графіки залежності відношення максимальної довжини l_p , м, опорного контуру пластини до її товщини s_d , (s_s), м, від відношення властивостей матеріалу E_p , $\sigma_{(\pm)}$, МПа, пластини до розрахункового тиску p ,

де:

E_p - розрахунковий модуль нормальної пружності матеріалу обшивки, МПа;

$\sigma_{(\pm)}$ - мінімальне значення границі міцності матеріалу обшивки, МПа;

l_p - довжина опорного контуру пластини, визначена згідно з рис. 3.2.1-3.

a - вимога щодо допустимих прогинів $[w] = 1/50 \cdot l_p$, $[w] = 1/100 \cdot l_p$;

b - вимога щодо допустимих напружень $[s] = 0,36\sigma_{(\pm)}$

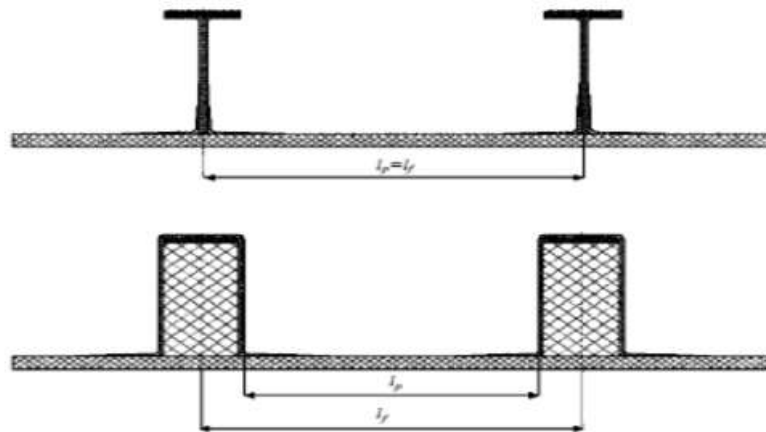


Рис. 3.2.1-3 Визначення довжини опорного контуру пластини обшивки з балками набору різного профілю: l_f - шпация

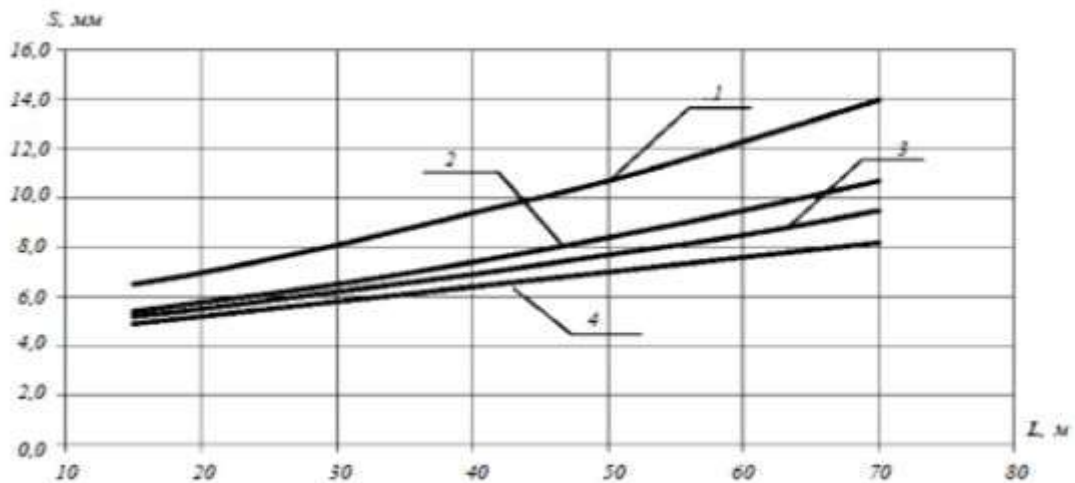


Рис. 3.2.1-4 Залежність мінімальної товщини одношарових конструкцій обшивки корпусу, настилу палуби і полотнищ перегородок зі склопластику від довжини судна

(L - довжина між перпендикулярами):

1 - обшивка днища; 2 - обшивка борту; 3 - верхня палуба; 4 - перегородки

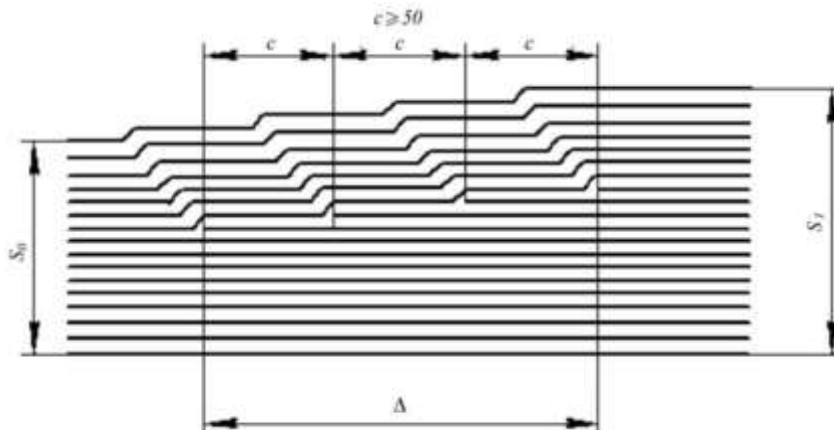


Рис. 3.2.1-5 Структура одношарової обшивки корпусу судна в районі зміни її товщини

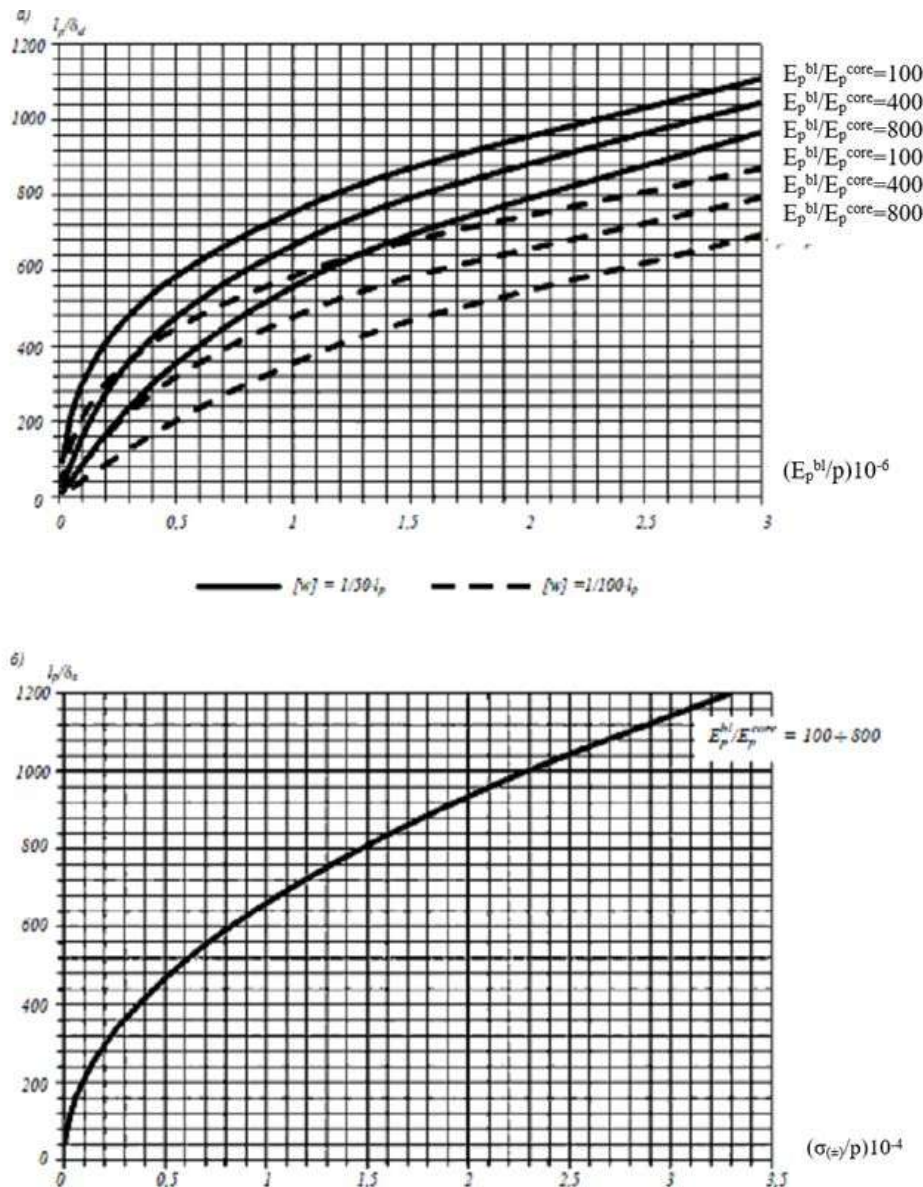


Рис. 3.2.1-6 Графіки залежності відношення максимальної довжини l_p , м, опорного контуру тришарової пластини до товщини її несучих шарів δ_a , (δ_s), м, від відношення властивостей матеріалу несучих шарів E_p^{bl} , $\sigma_{\pm}^{bl}$, МПа, пластини до розрахункового тиску p (при $2h = 10\delta$),

де:

E_p^{bl} - розрахунковий модуль нормальної пружності матеріалу несучого шару тришарової пластини, МПа;

E_p^{core} - розрахунковий модуль нормальної пружності матеріалу заповнювача тришарової пластини, МПа;

$\sigma_{\pm}^{bl}$ - мінімальне значення границі міцності матеріалу несучого шару, МПа.

a - вимога щодо допустимих прогинів $[w] = 1/50 \cdot l_p$, $[w] = 1/100 \cdot l_p$;

b - вимога щодо допустимих напружень $[\sigma] = 0,36\sigma_{\pm}$.

3.2.1.2 Тришарова обшивка.

1 для несучих шарів тришарової обшивки рекомендується застосовувати такі ж армуючі матеріали і структури армування, як і для одношарової обшивки (див. [3.2.1.1.1](#) ÷ [3.2.1.1.5](#));

2 як середній шар можуть застосовуватися пінопласти ПВХ і мати (див. [2.3.3.4](#)), які при необхідності підвищення міцності і жорсткості можуть бути армовані тканиною, переважно ровінгового типу (див. [рис. 3.1.1 б, в](#));

3 для суден довжиною 15м і більше величини міцності на зсув повинні відповідати наведеним у табл. [2.3.3.8](#).

Для суден довжиною 10 м і менше для наведених у [табл. 2.3.3.8](#) характеристик заповнювача звичайної міцності допускається зниження мінімальних величин міцності на зсув до 0,45 МПа для всіх елементів конструкції. Для проміжних значень довжини від 10 до 15 м допустимі мінімальні величини міцності на зсув визначаються лінійною інтерполяцією. Зазначене зниження мінімальної міцності допускається за умови задоволення критеріям міцності конструкцій.

Зазначені рекомендації стосуються перерахованих з'єднань конструкції поза районами підсилень і в'язей (горизонтальний кіль, ширстрек, вузол з'єднання борту з палубою тощо). Для районів підсилень і з'єднань рекомендації щодо вибору густини заповнювача наведені нижче;

.4 товщина несучих шарів тришарової обшивки днища і борту δ визначається за графіками на рис. [3.2.1-6](#), як максимальна величина двох значень δ_d , δ_s , які визначаються відповідно до умов виконання вимог по жорсткості і міцності відповідно. При цьому товщину середнього шару $2h$ в першому наближенні рекомендується приймати не менше 10 товщин несучого шару ($2h \geq 10\delta$).

Товщина середнього шару з легкого мату, армованого тканиною приймається рівною $2h \geq 6\delta$.

При цьому мінімальна товщина несучих шарів обшивки повинна бути не менше зазначеної на графіках, наведених на рис. [3.2.1-7](#), залежно від довжини судна між перпендикулярами L .

У носовій і кормовій кінцевих частинах корпусу товщина несучих шарів, визначена за цими графіками, повинна бути збільшена, як мінімум, на 30%. При обмеженні ваги корпусу допускається збільшення товщини тільки зовнішнього несучого шару;

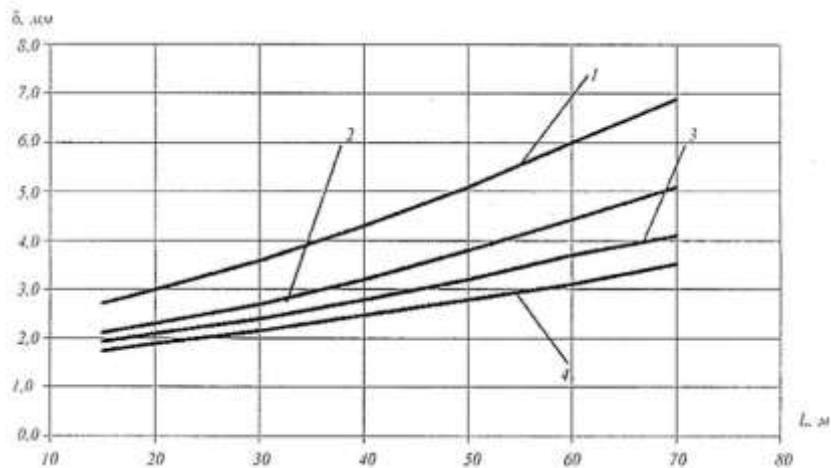


Рис. 3.2.1-7 Залежність мінімальної товщини несучих шарів тришарових конструкцій обшивки корпусу, настилу палуби і полотнищ перегородок від довжини судна (L - довжина між перпендикулярами):

1 - обшивка днища; 2 - обшивка борту; 3 - верхня палуба; 4 - перегородки

.5 горизонтальний кіль в тришаровій обшивці виконується шляхом потовщення внутрішнього несучого шару і/або введення в середній шар заповнювача більш високої густини порівняно з основною обшивкою (див. [рис. 3.2.1-8](#)).

Потовщення внутрішнього несучого шару виконується наформовкою додаткових шарів тканини або шляхом введення цих шарів між основними шарами тканини, що утворюють цей шар.

Застосування того чи іншого способу виконання потовщення, тип тканин, що застосовуються з цією метою, а також вимоги до перекривання додаткових шарів тканини і взаємного розташування їх стиків і пазів, визначаються відповідно до положень [3.2.1.1.9](#) ÷ [3.2.1.1.11](#);

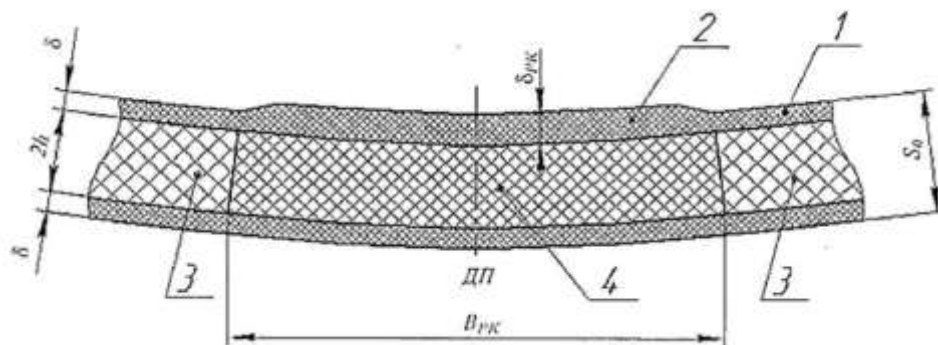


Рис. 3.2.1-8 Конструкція тришарової обшивки в районі горизонтального кіля

1 - несучі шари; 2 - потовщення внутрішнього несучого шару; 3 - заповнювач (пінопласт);
4 - заповнювач (пінопласт підвищеної густини)

.6 товщина внутрішнього несучого шару δ_2 в районі горизонтального кіля приймається рівною $\delta_{PK} = 1,5 \delta_2$, а його ширина - $B_{PK} = 5s$, де s - сумарна товщина тришарової обшивки поза районом потовщення (див. 3.2.1.2.4). Зазначені геометричні параметри можуть бути відкоректовані на підставі результатів розрахунків міцності, які також можуть вимагати збільшення товщини зовнішнього несучого шару δ_1 ;

.7 ширстрек в тришаровій обшивці рекомендується виконувати так само, як і горизонтальний кіль, тобто шляхом потовщення внутрішнього несучого шару і/або введення в середній шар заповнювача з більшою густиною. Розміри посилення обшивки в районі ширстрека вибираються згідно з рекомендаціями для горизонтального кіля, наведеними в 3.2.1.2.6.

3.2.2 Настил палуб і платформ.

3.2.2.1 Одношаровий настил.

.1 одношаровий настил рекомендується застосовувати для палуб і платформ, на яких встановлене важке обладнання, яке потребує кріплення до настилу і підкріплюючих його балок. До таких палуб відносяться вантажні палуби, на яких встановлене кранове обладнання та розміщуються вантажі;

.2 для одношарових настилів рекомендується застосовувати мультіаксіальні тканини і метод інфузії їх виготовлення.

Для настилів палуб і платформ суден довжиною до 20м допускається застосовувати біаксіальні тканини з армуванням ($0^\circ/90^\circ$), а також комбіновані продукти (тканина, зшита з матом в одне полотно) на основі цих тканин, з укладанням уздовж або поперек корпусу залежно від того який напрямок армування є більш «міцним».

Для суден довжиною більше 20м одношаровий настил повинен бути виготовлений на основі квадроаксіальних тканин з армуванням ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$), або з комбінації двох тканин ($0^\circ/90^\circ$) і ($+45^\circ/-45^\circ$) з урахуванням вимог 3.2.1.1.4. При формуванні настилу укладання даних тканин (в напрямку 0°) може виконуватися як уздовж, так і поперек корпусу.

Для внутрішніх (проміжних) палуб і платформ допускається застосування біаксіальних тканин, а також комбінованих продуктів на їх основі;

.3 товщина настилу верхньої палуби і її мінімальна допустима величина визначається згідно з 3.2.1.1.7.

Товщина настилів внутрішніх (проміжних) палуб і платформ може бути зменшена на 10 - 20% відносно товщини настилу верхньої палуби, визначеної за вказаним графіком для заданої довжини L .

.4 при формуванні настилу верхньої палуби два перших і останніх шарів тканини, що розташовуються на його зовнішніх поверхнях, укладаються по стиках з перекриванням за величиною не менше 50мм, а по пазах - без перекривання. Решта шарів укладаються по стиках і пазах без перекривання.

У кожному шарі стики і пази тканини повинні бути рознесені щодо сусідніх шарів не менше ніж на 100мм. Суміщення стиків і пазів в одному перерізі допускається не менше ніж через 5 шарів.

У настилах внутрішніх (проміжних) палуб і платформ дозволяється укладати шари тканини по стиках і пазах без перекривання;

.5 палубний стрингер і інші посилення в настилах палуб і платформ допускається виконувати шляхом укладання додаткових шарів тканини на пакет основних шарів, що утворюють настил при його виготовленні методом інфузії. При цьому повинні виконуватися рекомендації по перекриванню додаткових шарів і зменшенню товщини накладки, зазначені в [3.2.1.1.8](#) і [3.2.1.1.9](#);

.6 товщину і ширину палубного стрингера, а також зменшення товщини його накладки рекомендується приймати такими ж, як для ширстрека (див. [3.2.1.1.12](#)).

Як армуючий матеріал при формуванні палубного стрингера рекомендується застосовувати рівингові або біаксіальні тканини з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) і посиленою міцністю в напрямку 0° ;

.7 в районах настилів палуб і платформ, що піддаються сильному стиранню, повинні бути передбачені потовщення у вигляді накладок товщиною 2мм або нанесення захисного покриття;

.8 прийняті товщини настилів палуб і платформ, а також палубного стрингера, повинні уточнюватися за результатами проведення розрахунків міцності і стійкості в'язей конструкції корпусу.

3.2.2.2 Тришаровий настил.

.1 для несучих шарів настилів палуб і платформ тришарової конструкції рекомендується застосовувати такі ж армуючі матеріали і структури армування даних шарів, як і для одношарових настилів (див. [3.2.2.1.2](#)).

Для виготовлення таких конструкцій рекомендується використовувати метод інфузії;

.2 як середній шар в тришарових настилах палуб і платформ рекомендується застосовувати пінопласти ПВХ, ППУ або мати (див. [2.3.3.4](#)), які при необхідності підвищення міцності і жорсткості можуть бути армовані тканиною, переважно рівингового типу (див. рис. 3.1.1, в);

.3 товщина несучих шарів настилу верхньої палуби і її мінімальна допустима величина визначається відповідно до [3.2.1.2.4](#).

Товщину середнього шару із суцільним заповнювачем з пінопласту рекомендується приймати в першому наближенні не менше 10 товщин несучого шару, а для заповнювача з мату, армованого склотканиною, - не менше 5 його товщини;

.4 для верхньої палуби із середнім шаром у вигляді суцільного заповнювача рекомендації з вибору густини пінопласту наведені в [3.2.1.2.3](#).

При цьому необхідно враховувати, що в місцях з'єднання з іншими конструкціями (з бортами, перегородками, стінками надбудови і т.д.), а також в місцях кріплення обладнання, густина пінопласту повинна бути збільшена для сприйняття поперечних місцевих навантажень. Рекомендації по вибору густини пінопласту для середнього шару тришарових настилів палуб і платформ в зазначених місцях наведені в [3.2.4](#) ÷ [3.2.7](#);

.5 в якості середнього шару в тришарових настилах палуб допускається застосовувати конструктивно-ортотропний заповнювач, що складається з пінопласту з мінімальною границею міцності при зсуві 0,2 МПа і мінімальною границею міцності при стисненні 0,3 МПа, армованого гофрованим елементом (див. [рис. 3.2.2-1](#)). У разі якщо замість гофрованого елемента застосовуються протизсувні перемички або аналогічні методи підвищення зсувної міцності, мінімальна границя міцності на зсув заповнювача також може бути зменшена (порівняно з наведеною в [табл. 2.3.3.8](#)) на підставі розрахунку.

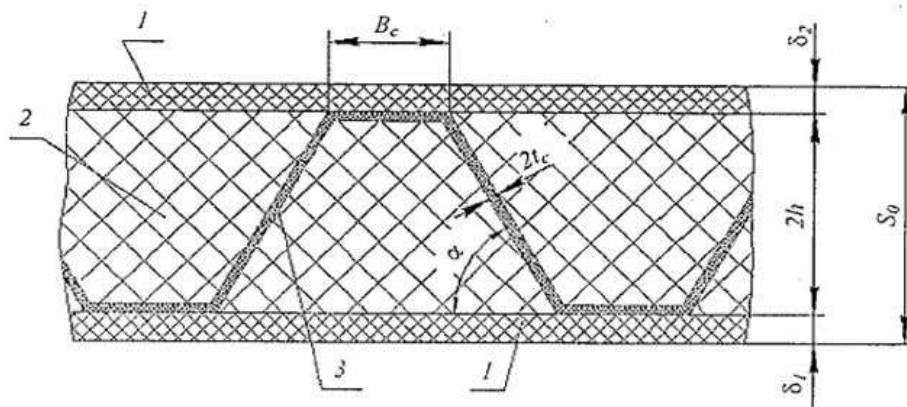


Рис. 3.2.2-1 Структура тришарового настилу палуби (полотнища перегородки) з гофрованим елементом і пінопластом в середньому шарі:

1 - несучі шари; 2 - пінопласт; 3 - гофрований елемент

.6 параметри гофрованого елемента слід в першому наближенні приймати рівними:

- кут нахилу стінки гофрованого елемента $\alpha = 45^\circ \div 55^\circ$;
- товщина гофрованого елемента $2t_c = (0,1 \div 0,3)\delta$, але не менше 0,2мм;
- ширина полки $B_c = (2 \div 4)\delta$;
- товщина середнього шару $2h \geq 10\delta$.

При цьому його утворююча повинна бути спрямована уздовж корпусу судна, за винятком випадків, коли потрібне підвищення жорсткості настилу палуби в поперечному напрямку;

.7 палубний стрингер і інші посилення в тришарових настилах палуб і платформ виконуються шляхом збільшення товщини несучих шарів і/або підвищення густини пінопласту в середньому шарі (див. [3.2.1.2.5](#)). Потовщення несучих шарів виконуються укладанням додаткових шарів тканини на основні шари, що формують несучі шари настилу;

.8 ширину і товщину внутрішнього несучого шару палубного стрингера, а також густину заповнювача рекомендується приймати такими ж, як для ширстрєка в тришаровій обшивці корпусу (див. [3.2.1.2.7](#)). При необхідності товщина зовнішнього несучого шару верхньої палуби в районі стрингера може бути також збільшена;

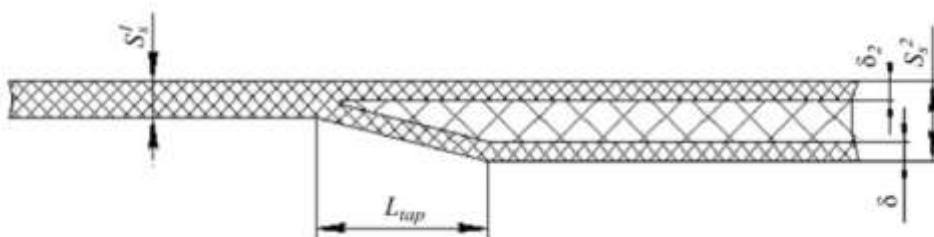


Рис. 3.2.2-2 Вузол переходу від одношарової ділянки настилу палуби до тришарової

.9 при необхідності виконання переходу в настилі палуби від тришарової ділянки до одношарової він повинен бути виконаний як можна більш плавним (див. [рис. 3.2.2-2](#)). Довжина зменшення товщини накладки повинна прийматися виходячи з умови $l_{lap} \geq 5(s_{s2}-s_{s1})$, де s_{s2} і s_{s1} товщина тришарової і одношарової ділянок настилу палуби відповідно. У разі якщо $s_{s1} > 2\delta$, то недостатня частина товщини добирається шляхом введення в несучі шари додаткових шарів склотканини з плавним збільшенням їх товщини і збереженням заданої в них структури армування;

.10 ділянки палуб, що піддаються сильному стиранню, повинні бути захищені відповідно до вимог [3.2.2.1.7](#).

3.2.3 Полотнища перегородок.

3.2.3.1 Одношарове полотнище.

.1 полотнища водонепроникних перегородок повинні бути одношаровими за умови установки на них важких механізмів і обладнання, що вимагають їх міцного і надійного кріплення до полотнища і стояків перегородок;

.2 армуючі матеріали, склад і структуру армування одношарових полотнищ рекомендується застосовувати такі ж, як і для одношарових настилів палуб (див. [3.2.2.1.2](#) і [3.2.2.1.4](#)). Укладання тканин (напрямку 0°) повинне виконуватися в вертикальному напрямку (щодо направлення 0°). При цьому допускається укласти тканини по стиках і пазах без перекривання;

.3 мінімальна товщина полотнищ перегородок визначається за графіком, наведеним на рис. [3.2.1-4](#), залежно від довжини судна між перпендикулярами L .

Товщина полотнищ перегородок, що приймається, уточнюється за результатами розрахунків міцності і стійкості;

.4 потовщення на полотнищах перегородок слід виконувати так само, як і на настилах палуб - шляхом укладання додаткових шарів тканини на пакет основних шарів, що утворюють полотнище при його виготовленні методом інфузії, відповідно до положень [3.2.2.1.5](#).

3.2.3.2 Тришарове полотнище.

.1 рекомендації по вибору тканин і структури армування для несучих шарів тришарових полотнищ водонепроникних перегородок аналогічні зазначеним в [3.2.3.1.2](#);

.2 середній шар в тришарових полотнищах перегородок може бути виконаний так само, як в тришарових настилах палуб - з пінопласту або мата, армованого шарами тканини, або складатися з гофрованого елемента з пінопластом в міжгофрованому просторі (див. [3.2.2.2.2](#) і [3.2.2.2.5](#));

.3 мінімальна товщина несучих шарів полотнища перегородки визначається за графіком, наведеним на рис. [3.2.1-7](#), залежно від довжини судна між перпендикулярами L .

Товщину середнього шару в разі суцільного заповнювача з пінопласту або конструктивно-ортотропного заповнювача рекомендується приймати в першому наближенні не менше 10 товщин несучого шару. Для середнього шару з мату, армованого шарами тканини, його товщину можна приймати рівною не менше 5 товщини несучого шару;

.4 у випадку суцільного наповнювача його властивості повинні відповідати вимогам [табл. 2.3.3.8](#) (див. стовпець «Всі інші елементи»);

.5 для конструктивно-ортотропного заповнювача густина пінопласту і параметри гофрованого елемента визначаються в першому наближенні відповідно до положень [3.2.2.2.5](#) і [3.2.2.2.6](#). При цьому твірна гофрованого елемента повинна бути спрямована вертикально;

.6 посилення в тришарових полотнищах перегородок виконуються так само, як в настилах палуб, відповідно до положень [3.2.2.2.7](#).

3.2.4 Балки набору.

3.2.4.1 Набір, що підкріплює обшивку корпусу, настили палуб (платформ), а також полотнища перегородок, повинен бути переважно виконаний згідно з [3.1.7](#) із застосуванням П-подібного профілю.

3.2.4.2 Обформовка профілю може мати такі варіанти конструктивного виконання:

.1 шари армуючої тканини укладаються на поверхні «сердечника», встановленого на обшивку (настил палуб, полотнище перегородок), безперервно по контуру профілю з одночасним утворенням фланців, за допомогою яких здійснюється з'єднання балки набору з обшивкою (настилом, полотнищем) (див. [рис. 3.2.4-1, а](#)).

Посилення вільного пояса повинно виконуватися шляхом введення додаткових шарів тканини або стрічки (з укладанням уздовж балки) між основними шарами обформовки, або додаткові шари можуть бути зібрані в пакет, який укладається на «сердечник» з подальшою обформовкою основними шарами;

.2 основні шари тканини, що утворюють обформовку «сердечника», розрізаються і укладаються при формуванні вільного пояса з перекриванням, послідовно чергуючись між собою при укладанні з однієї й іншої сторони профілю. У цьому випадку вільний поясок містить в 2 рази більше шарів тканини порівняно зі стінками (див. [рис. 3.2.4-1, б](#)). Вільний поясок також може бути посилений шляхом введення додаткових шарів тканини;

.3 профіль формується з заздалегідь виготовленого «сердечника», на який з двох сторін наформовані

стілки. Така заготовка встановлюється на обшивку (настил палуб, полотнище перегородок) і з'єднується з нею за допомогою приформовочних косинців.

Вільний поясок формується у вигляді накладки, шари якої наформовуються на торець заготовки з відгином на стінки профілю, причому кожен наступний шар повинен перекривати попередній (див. [рис. 3.2.4-2](#)). У вільний поясок може також вводиться додаткове армування у вигляді шарів тканини або стрічки.

3.2.4.3 У разі застосування будь-якого з варіантів конструктивного виконання «сердечник» встановлюється на обшивку (настил палуб, полотнище перегородок) через адгезійну речовину. Для формування в кутах профілю заокруглення фланців або приформовочних косинців необхідного радіуса використовується також адгезійна речовина, яка може бути наповнена мікросферами або короткими волокнами (chops) для підвищення його в'язкості, або спеціальні пасти.

3.2.4.4 Якщо в якості заповнювача («сердечника») П-подібного профілю балки набору використовуються пінопласти (див. [2.3.3.6](#) ÷ [2.3.3.8](#)) і міцність цих матеріалів відповідає вимогам до міцності в [табл. 2 3.3.8](#) для підкріпленої балкою ділянки обшивки корпусу судна, то вимоги [3.2.4.7.2](#) до співвідношення розмірів елементів балки можуть не застосовуватися. Мінімальна товщина стінки і вільного пояса при цьому в будь-якому випадку не повинна бути менше 3 мм.

3.2.4.5 Обформовку П-подібного профілю необхідно виконувати на основі рівнігових і мультіаксіальних тканин.

Додаткові шари, які вводяться між основними шарами обформовки або пакетом для посилення вільного пояса балки набору (див. [3.2.4.2](#)), доцільно виконувати також з рівнігових або мультіаксіальних тканин з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) з посиленою міцністю в напрямку 0° , орієнтованому уздовж балки набору, або з односпрямованих стрічок з армуванням (0°).

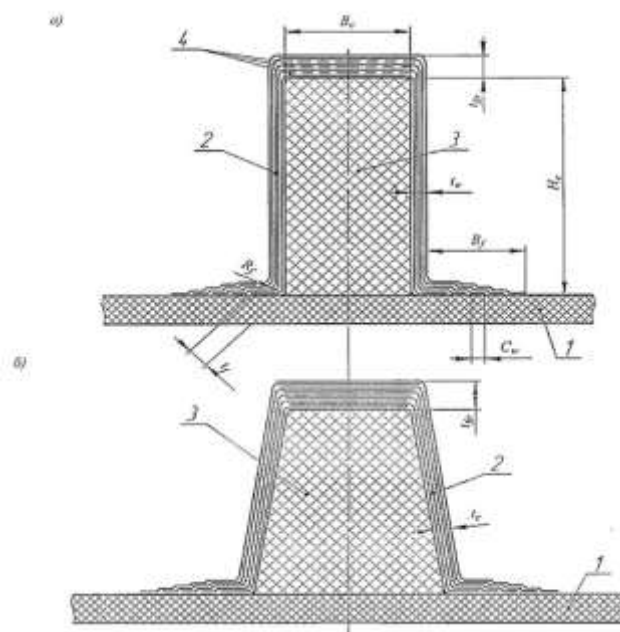


Рис. 3.2.4-1 Конструкція П-подібного профілю балок набору з безперервною обформовкою по контуру профілю (а) і розрізанням шарів обформовки та їх перекриванням на вільному пояску (б):

1 - обшивка (настил палуб, полотнище перегородок); 2 - обформовка профілю; 3 – заповнювач («сердечник»); 4 - додаткове армування вільного пояса

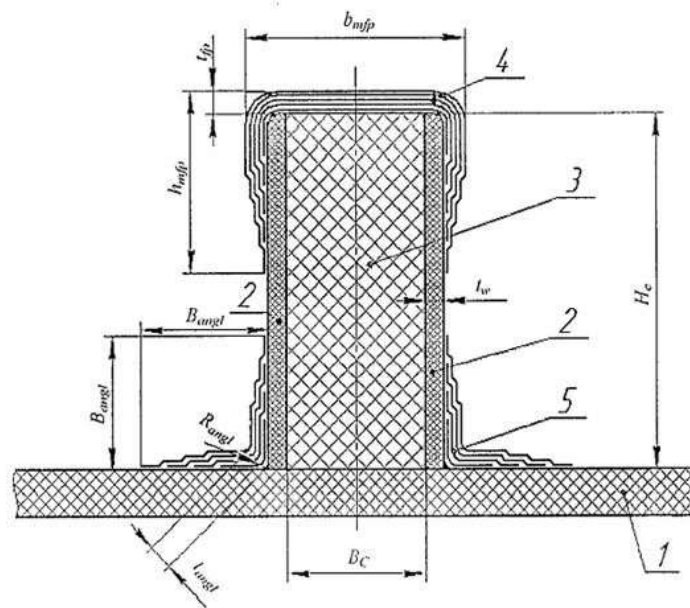


Рис. 3.2.4-2 Конструкція П-подібного профілю балок набору з вільним пояском у вигляді наформованої накладки з відгином на стінки профілю:

1 - обшивка (настил, полотнище); 2 - стінки профілю; 3 - заповнювач («сердечник»); 4 - накладка (вільний пояс); 5 - приформовочні косинці

3.2.4.6 Якщо відносна висота балки $H_c/l_p < 1/10$, де H_c - висота «сердечника» профілю, l_p - розрахункова довжина прольоту балки, то повинні використовуватися при обформовці тканини з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) з укладанням напрямку 0° уздовж балки. При цьому міцність тканини в цьому напрямку повинна бути, як мінімум, не нижче міцності в напрямку 90° .

При відносній висоті балки $H_c/l_p \geq 1/10$, структура армування обформовки П-подібного профілю повинна бути паралельно-діагональною, для чого необхідно використовувати квадроаксіальні тканини з армуванням ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$) або поєднання в рівних по товщині частинах тканини ($0^\circ/90^\circ$) і діагональної тканини ($+45^\circ/-45^\circ$) з укладанням напрямку 0° уздовж балки. У перших і останніх 1-2 шарах обформовки необхідно застосовувати тканину ($0^\circ/90^\circ$), інші шари повинні складатися з шарів, що рівномірно чергуються, першої тканини і діагональної ($+45^\circ/-45^\circ$).

Стики полотнищ тканин в обформовці і їх розрізи на стінках профілю, які при необхідності виконуються в криволінійних балках, повинні бути рознесені відносно один одного на відстані не менше 80 мм. Поєднання стиків і розрізів в одному перерізі допускається не менше ніж через 3 шари.

3.2.4.7 Розміри елементів П-подібного профілю балок набору

1 Розміри елементів П-подібного профілю балок набору слід вибирати в першому наближенні виходячи з наступного:

$$B_c/H_c = 0,35 \div 0,5; t_w/H_c = 0,034 \div 0,05; t_{fp}/t_w = 1,8 \div 2,2;$$

$$1,2B_c \geq b_f \geq 10t_w \geq 30\text{мм}; t_f = t_w,$$

де: B_c , H_c - ширина і висота «сердечника» профілю відповідно;

t_{fp} , t_w - товщини пояса і стінок відповідно;

b_f - ширина фланців;

t_f - товщина в радіусі R_f переходу в стінки (див. рис. 3.2.4-1, а).

Для трапецієподібного профілю значення B_c відповідає довжині середньої лінії трапеції, і його можна приймати рівним $B_c/H_c = 0,7 \div 1,0$, а відношення її меншої основи до більшої повинно становити приблизно $0,6 \div 0,7$.

2 співвідношення розмірів елементів балок набору П-подібного профілю повинні задовольняти наступним умовам (за винятком випадку, обумовленого в [3.2.4.4](#)):

$$t_w/H_c \geq 0,034; t_{fp}/B_c \geq 0,05$$

3.2.4.8 Для конструкції П-подібного профілю балок набору (див. [рис. 3.2.2-2](#)) параметри приформовочних косинців вибираються виходячи з наступного:

$$t_{angl} \geq 0,5s_p; b_{angl} \geq 15t_{angl}; R_{angl} = (1,0 \div 1,2)t_{angl},$$

$$\text{де: } s_p = (t_w + s_{shell}/2)/2,$$

s_{shell} - товщина одношарової обшивки (настилу палуби, полотнища перегородок);

$s_{shell} = 4\delta$ - для тришарової обшивки (настилу палуби, полотнища перегородок);

δ - середня товщина несучих шарів.

Величину відгину накладки, що утворює вільний пояс, на стінки профілю рекомендується приймати рівною $H_c - b_{angl} > h_{mfp} \geq 5t_s$, де $b_{mfp} = B_c + 2(t_c + t_s)$ (див. [рис. 3.2.4-2](#)).

3.2.4.9 Балки Т-подібного і Г-подібного профілю, які доцільно встановлювати в районах розташування важкого устаткування (див. 3.1.8), формуються шляхом відгину з кожного боку половини товщини стінки на вільний пояс. З'єднання балки набору з обшивкою (настилом палуби, полотнищем перегородок) виконується за допомогою приформовочних косинців (див. [рис. 3.2.4-3](#)).

3.2.4.10 Балки Т-подібного профілю слід виконувати з ровінгових і мультіаксіальних тканин із застосуванням односпрямованих стрічок для посилення вільного пояса.

3.2.4.11 Залежно від відносної висоти стінки Т-подібного профілю H_c/l_p структура армування стінки може бути $(0^\circ/90^\circ)$ або $(0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ)$ (див. [3.2.4.6](#)). Частина товщини вільного пояса, яка наформована на відігнуті частини стінки, виконується з тканин з армуванням $(0^\circ/90^\circ)$ з посиленою міцністю в напрямку 0° або/та односпрямованих стрічок (0°) .

3.2.4.12 Розміри елементів Т-подібного профілю балок набору

.1 слід вибирати в першому наближенні виходячи з наступного (див. [рис. 3.2.4-3](#)):

$$B_{fp}/H_w = 0,35 \div 0,5; t_w/H_w = 0,06 \div 0,08; t_{fp}/t_w = 2,0 \div 2,5.$$

Параметри приформовочних косинців вибираються згідно з вимогами [3.2.4.8](#).

.2 співвідношення розмірів елементів балок набору Т-подібного і Г-подібного профілів повинні задовольняти наступним умовам:

$$t_w/H_w \geq 0,06; \frac{f_{tp}}{B_{fph}} \geq 0,1$$

де B_{fph} - ширина виступаючої частини вільного пояса (для Т-подібного профілю)
 $B_{fph} = (B_{fp} - t_w)/2$.

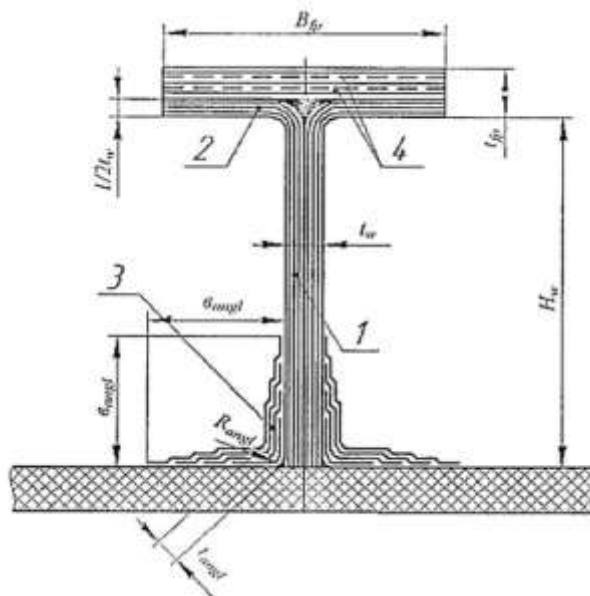


Рис. 3.2.4-3 Конструкція Т-подібного профілю балок набору:

1 - стінка профілю; 2 - вільний пояс; 3 - приформовочні косинці; 4 - додаткове армування вільного пояса

3.2.4.13 Розміри елементів балок набору визначаються виходячи з необхідної згинальної жорсткості за такою формулою:

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \left(E_1^{(i)} F_i z_i^2 + l_i \right) - e^2 \sum_{i=1}^n E_1^i F_i z_i^2; \quad e = (\sum_{i=1}^n E_1^{(i)} F_i z_i^2) / (\sum_{i=1}^n E_1^i F_i),$$

де: E_1^i - модуль нормальної пружності матеріалу i -го елемента профілю балки в напрямку її поздовжньої осі;

F_i - площа поперечного перерізу i -го елемента;

z_i - відстань центра ваги i -го елемента від осі порівняння.

Для балок з відносною висотою профілю $H_c/l_p < 1/10$ згинальна жорсткість D_{11} визначається як максимальне значення з величин:

$$D_{11} = \max(D_{11}^d, D_{11}^s);$$

$$D_{11}^d = \mu \frac{M_p l_p}{k_w}, \quad D_{11}^s = E_1^{(i)} \frac{M_p z_i}{k_\sigma \sigma_{11}^{(i)}},$$

де: M_p - розрахунковий згинальний момент;

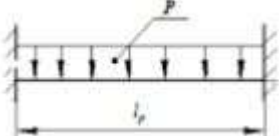
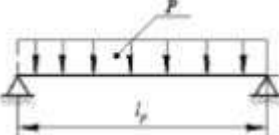
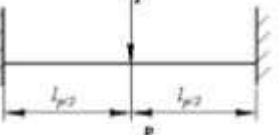
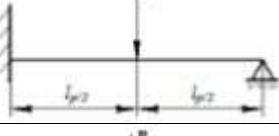
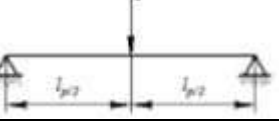
$\sigma_{11}^{(i)}$ - мінімальне значення границі міцності матеріалу i -го елемента (при розтягуванні або при стисненні вздовж балки набору);

μ - числовий коефіцієнт, що залежить від виду навантаження і закріплення опорних перетинів балки набору (див. табл. 3.2.4.13);

$k_w, k_\sigma = k, k_n$ - коефіцієнти згідно з [5.3.4](#) і [5.3.7](#).

Формули для визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності балок набору наведені в додатку 1.

Таблиця 3.2.4.13 Значення числового коефіцієнта μ

№ з/п	Схема навантаження і закріплення опорних перетинів балки набору	$\mu \cdot 10^2$
1		3,125
2		7,688
3		10,417
4		4,167
5		3,646
6		8,333

3.2.4.14 Поздовжні балки набору (вертикальний кіль, стрингери, карлінгси) повинні бути безперервними на частині довжини судна, яка повинна становити не менше $0,6L$. При цьому поздовжні балки набору повинні проходити, не розрізаючись, через поперечні перегородки і рамні поперечні в'язі (флори і бімси) (див. [рис. 3.1.3, г](#)).

3.2.4.15 При проході поздовжньої балки набору через перегородку розміри вирізу в ній повинні перевищувати на 4 - 5мм розміри її профілю.

При необхідності забезпечення водонепроникності перегородки зазори між балкою і вирізом для неї заповнюються заповнювачем або пастою на основі рубленого волокна і зв'язуючого. Після заповнення зазорів проводиться наформовка накладок-косинців, що з'єднують стінки балки з перегородкою, і потім накладок, що з'єднують її пояс з стінкою і перекривають перші накладки (див. [рис. 3.2.4-4](#)).

3.2.4.16 Вузол проходу поздовжніх балок набору з висотою «сердечника» профілю H_c^{prim} через поперечні балки з висотою «сердечника» профілю H_c^{tran} оформляється шляхом наформовки накладок-косинців, при цьому необхідно, щоб виконувалася умова $H_c^{prim} < 0,7 H_c^{tran}$.

«Сердечник» поперечної балки набору при її установці з'єднується зі стінками і пояском поздовжньої балки за допомогою компаунда або пасти на основі рубленого волокна і зв'язуючого, а стінки поперечної балки для компенсації вирізу під прохід поздовжньої балки потовщують на 30 - 40% шляхом введення додаткових шарів тканини (див. [рис. 3.2.4-5](#)).

3.2.4.17 Поздовжні балки (стрингери, карлінгси) повинні закінчуватися або за перегородкою, плавно зменшуючись по висоті на «вус» (див. [рис. 3.2.4-6, а](#)), або на перегородці і з'єднуватися з нею за допомогою приформовочних косинців і кінці П-подібного поперечного перерізу (див. [рис. 3.2.4-6, б](#)). В останньому випадку «сердечник» кінці виготовляється з того ж пінопласту, що і «сердечник» балки, і з'єднується з пояском балки і перегородкою за допомогою адгезійної речовини або пасти.

3.2.4.18 Поперечні в'язі (флори, шпангоути і бімси) повинні розташовуватися в одній площині. Залежно від висоти поздовжніх і поперечних балок останні можуть проходити через поздовжні балки з оформленням вузла проходу згідно з [рис. 3.2.4-5](#).

Якщо оформлення вузла проходу балок не може бути виконане згідно з [рис. 3.2.4-5](#) (висота балок рівна або близька), то поперечні балки (флори і бімси) виконуються інтеркостельними при забезпеченні безперервності поздовжніх балок. В цьому випадку повинен бути забезпечений зв'язок між елементами балок у вузлі їх перетину з використанням адгезійної речовини і накладок обформовок (див. [рис. 3.2.4-7](#)).

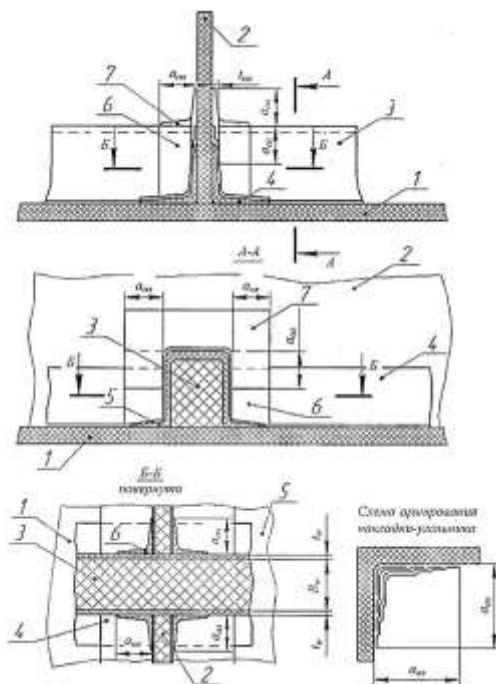


Рис. 3.2.4-4 Вузол проходу поздовжньої балки набору П-подібного профілю через водонепроникну поперечну перегородку:

1 - обшивка (настил палуби); 2 - перегородка; 3 - балка набору; 4 - приформовочні косинці перегородки; 5 - фланці балки набору; 6 - накладки-косинці з'єднання стінок балки набору з перегородкою; 7 - накладка-косинцеві з'єднання її вільного пояса з перегородкою:

$$(t_{as} \approx (0,5 - 0,7) t_w, a_{as} \approx 10t_{as})$$

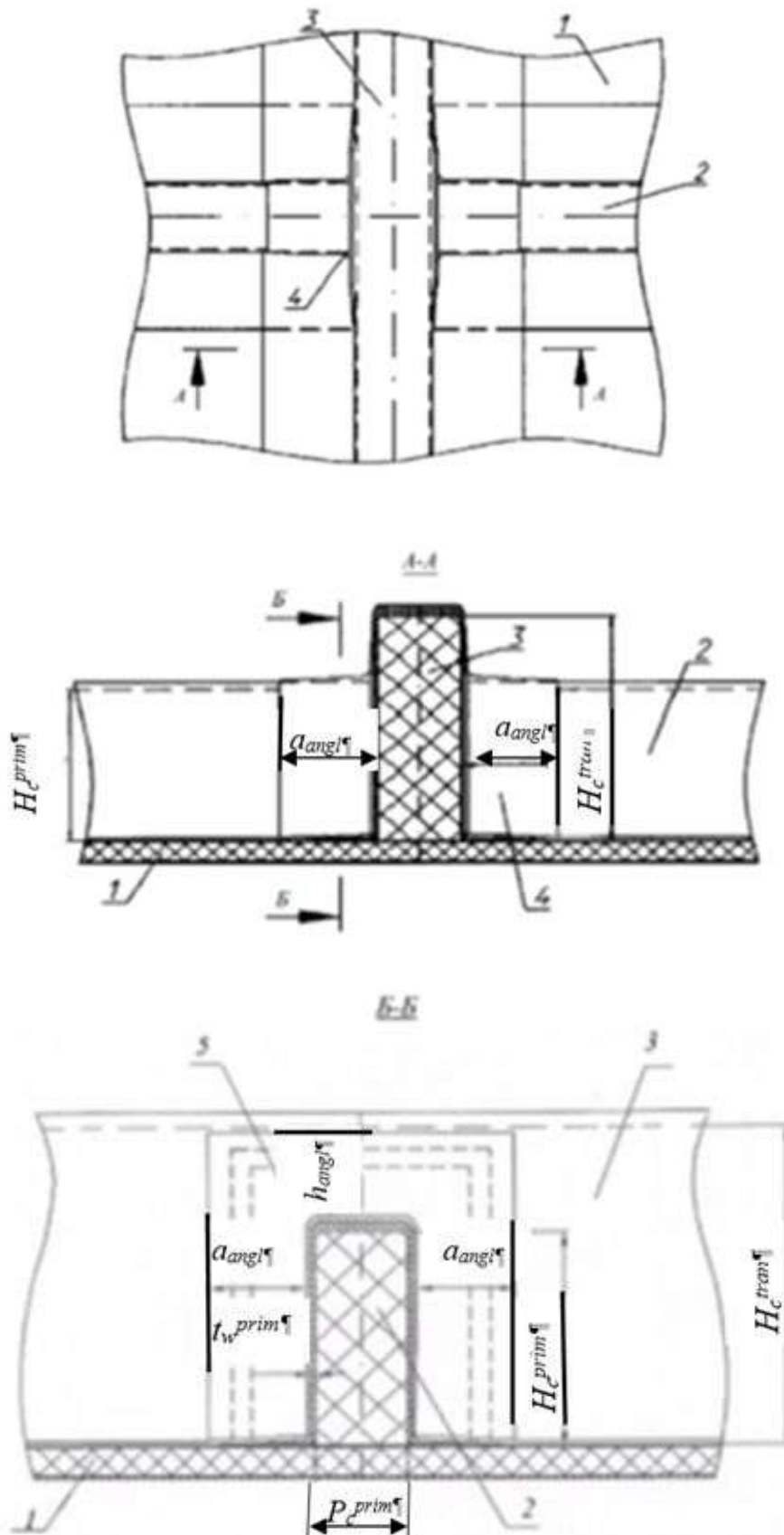


Рис. 3.2.4-5 Вузол перетину балок П-подібного профілю різної висоти:

1 - обшивка (настил); 2 - поздовжня балка; 3 - поперечна балка; 4 - накладки-косинці;
5 - потовщення стінок поперечної балки:

$$a_{angl} \geq B_c^{prim}; t_{angl} = 0,8t_w^{prim}; h_{angl} \cong (H_c^{tran} - H_c^{prim}) \leq a_{angl}$$

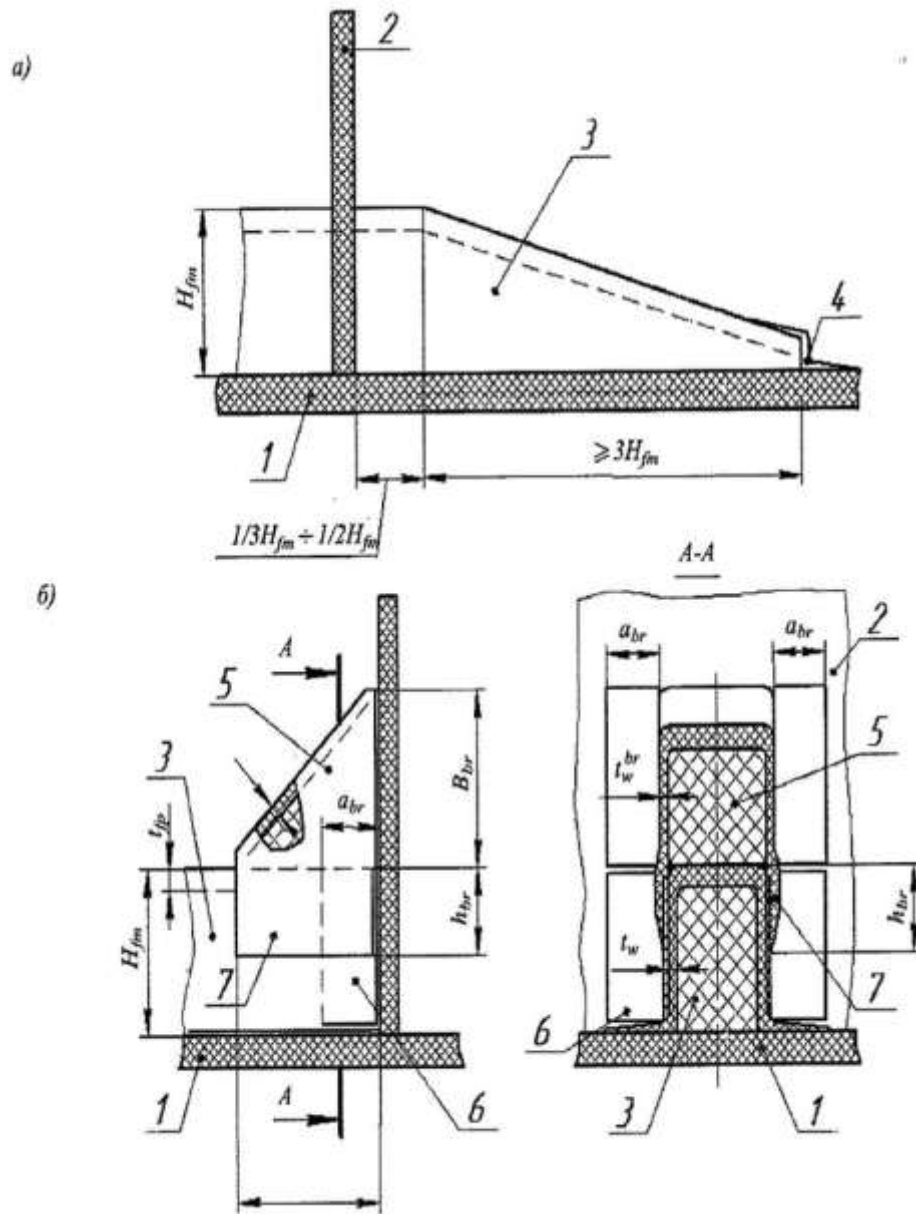


Рис. 3.2.4-6 Вузли закінчення поздовжніх балок П-подібного профілю:

a - на «вус» за перегородкою (оформлення проходу балки набору через перегородку - див. [рис. 3.2.4-5](#));
б - на перегородці з установкою кінці П-подібного профілю;

1 - обшивка (настил); *2* - перегородка; *3* - балка; *4* - заформовка кінця балки набору; *5* - кінця;
б - накладка-косинець з'єднання стінки балки з перегородкою; *7* - продовження обформовки кінці на стінки балки набору;

$$B^{br} \cong H_{fm}; t_{fr}^{br} \geq 0,8 t_{fr}; t_w^{br} \cong t_w; t_{angl} \cong t_w; a_{br} \geq 12 t_w; \frac{1}{2} H_{fm} \geq h_{br} \geq 10 t_w^{br}.$$

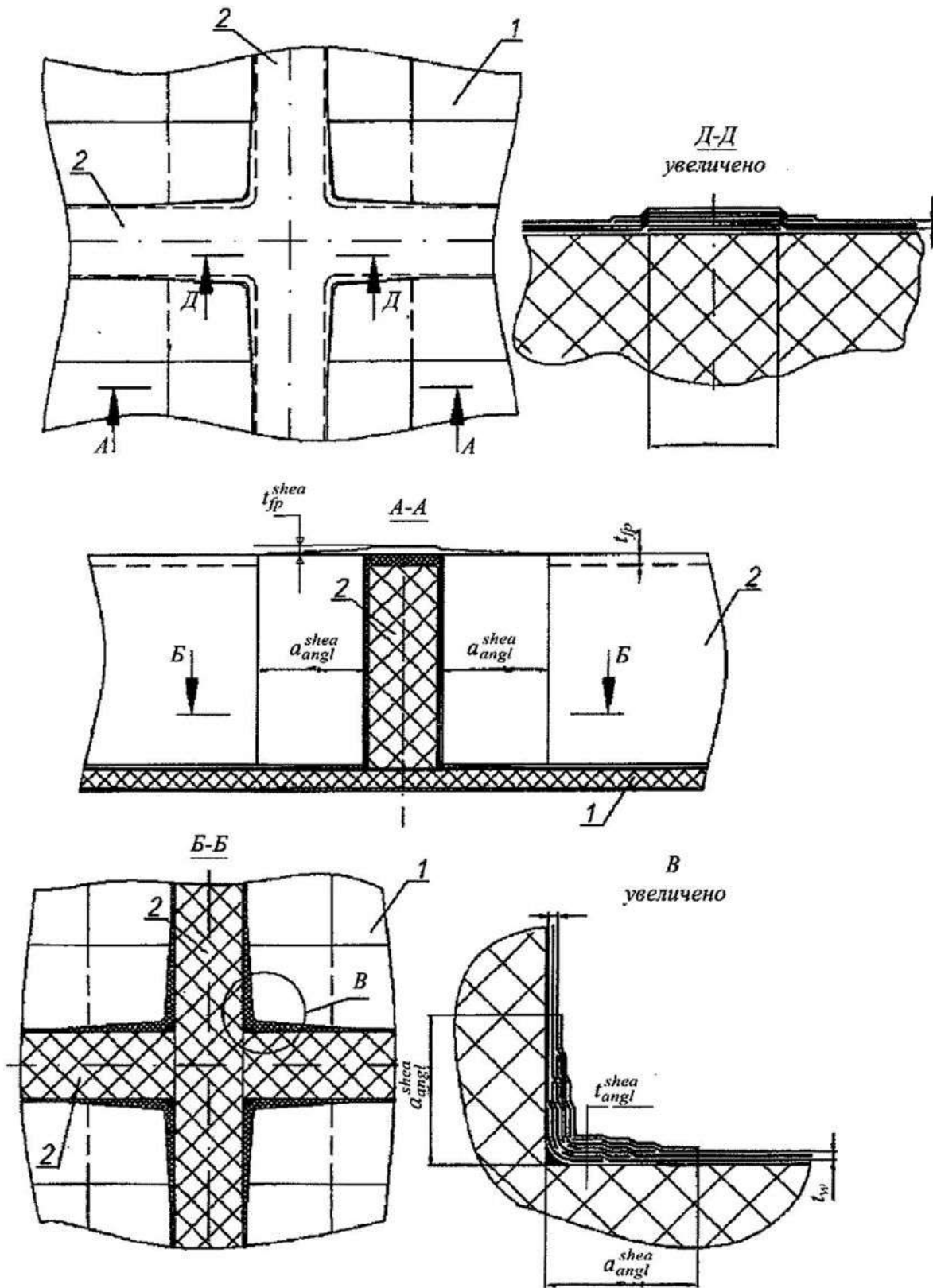


Рис. 3.2.4-7 Вузол перетину поздовжньої балки і інтеркостельної поперечної балки, що мають близькі висоти, із забезпеченням безперервності вільних поясків:

1 - обшивка (настил); 2 - балки набору (розміри накладок-обформовок визначаються за такою формулою:

$$t_{fp}^{shea} = t_{fp}; t_{angl}^{shea} \cong t_w; \alpha_{angl}^{shea} \geq 12t_{angl}^{shea}.$$

3.2.4.19 Якщо поперечна балка (шпангоут) закінчується на безперервній поздовжній балці (стрингері,

карлінгсі), повинно бути забезпечене закріплення кінця першої балки.

Вузол виконується шляхом з'єднання «сердечника» поперечної балки за допомогою адгезійної речовини зі стінками поздовжньої балки з подальшою при формовкою косинців і накладки (див. [рис. 3.2.4-8](#)).

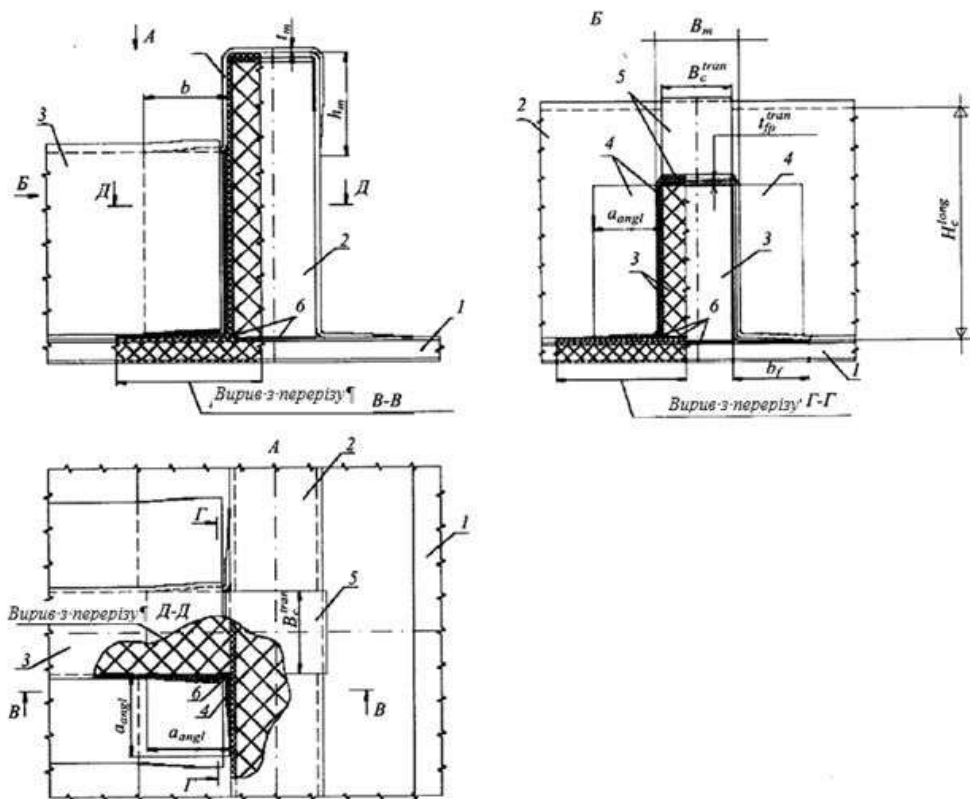


Рис. 3.2.4-8 Вузол закінчення і з'єднання поперечної балки з поздовжньою балкою:

1 - обшивка (настил); 2 - поздовжня балка; 3 - поперечна балка; 4 - приформовочні косинці;
5 - накладка; 6 – адгезійна речовина

$$t_{angl} \cong t_w^{tran}; a_{angl} \geq 12t_w^{tran}; B_m = B_c^{tran} + 2t_w^{tran}; t_m \geq 0,8t_{fp}^{tran}; 1/(2H_c^{long}) > h_m \geq 10t_m$$

3.2.4.20 У площині рамного шпангоута повинні бути встановлені посилені флор і бімс, утворюючи замкнуту раму.

Розміри рамного шпангоута повинні вибиратися так, щоб величина його згинальної жорсткості не менш ніж у 4 рази перевищувала величину згинальної жорсткості основного шпангоута.

Висота посиленних флорів повинна дорівнювати не менше висоти вертикального кіля або днищових стрингерів залежно від того, що більше. Висота посиленого бімса приймається рівною не менше 0,8 висоти рамного шпангоута.

3.2.4.21 З'єднання рамного шпангоута з бімсом верхньої палуби виконується за допомогою книці П-подібного профілю, «сердечник» якої виготовляється з того ж пінопласту, який використовується в балках, що з'єднуються. При цьому рекомендується, щоб ширина профілю бімса і шпангоута в місці установки книці була б однаковою з плавним збільшенням ширини однієї балки (як правило, бімса) до ширини іншої балки (шпангоута).

Обформовка «сердечника» книці виконується з перекриванням стінок балок з плавним зменшенням її товщини. Поясок книці потовщується порівняно зі стінками шляхом введення додаткових шарів армуючої тканини (див. [рис. 3.2.4-9](#)).

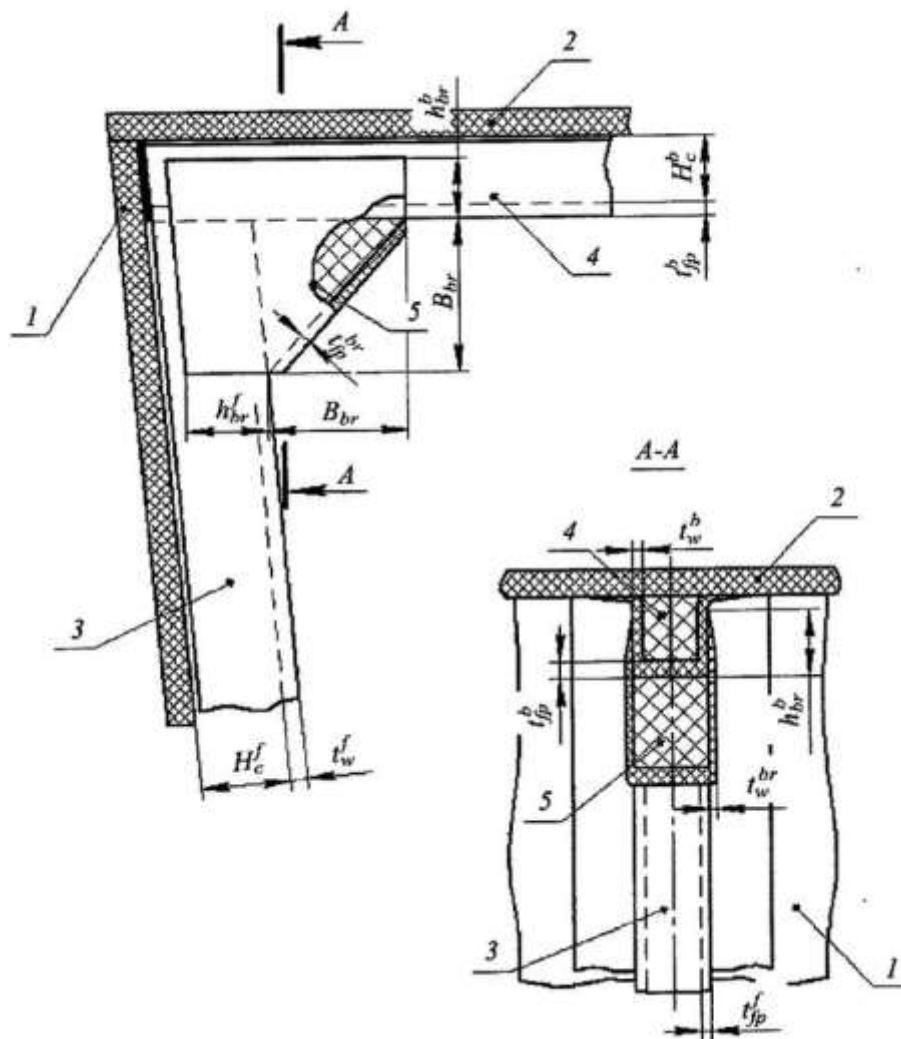


Рис. 3.2.4-9 Вузол з'єднання шпангоута і бімса верхньої палуби:

1 - бортова обшивка; 2 - настил верхньої палуби; 3 - шпангоут; 4 - бімс; 5 – книця

$$B_{br} \geq 0,8 (H_c^b + H_c^f); t_{fp}^{br} = \frac{1}{2} (t_{fp}^b + t_w^f); t_w^{br} = \frac{1}{2} (t_w^b + t_{fp}^f); h_{br}^{b(f)} = 0,8 H_c^{b(f)}$$

3.2.4.22 Шпангоут повинен проходити через настил проміжної палуби (платформи) без розрізання. При необхідності висота його профілю може плавно зменшуватися при переході через настил від нижнього ярусу до верхнього. З'єднання шпангоута з бімсом проміжної палуби (платформи) виконуються за допомогою книці, геометричні параметри якої вибираються згідно з [рис. 3.2.4-10](#).

Для проходу шпангоута через настил розміри вирізу в ньому повинні на 4 ÷ 5 мм перевищувати висоту і ширину профілю шпангоута.

3.2.4.23 Основні стояки поперечних перегородок слід встановлювати в площинах розташування стрингерів і карлінгсів, забезпечуючи їх безперервне проходження через проміжні палуби (платформи).

Вони повинні бути з'єднані з поздовжніми балками (стрингерами, карлінгами) за допомогою книці П-подібного профілю, що складається з «сердечника» з того ж пінопласту, що і стояки, а також обформовки (див. [рис. 3.2.4-11](#)).

3.2.4.24 Книці в з'єднаннях балок набору допускається виготовляти у вигляді окремого елемента П-подібного профілю, який потім встановлюється на пояски балок, що з'єднуються, через адгезійну речовину або пасту і проводиться наформовка накладок на стінки книці і балок (див. [рис. 3.2.4-12](#)).

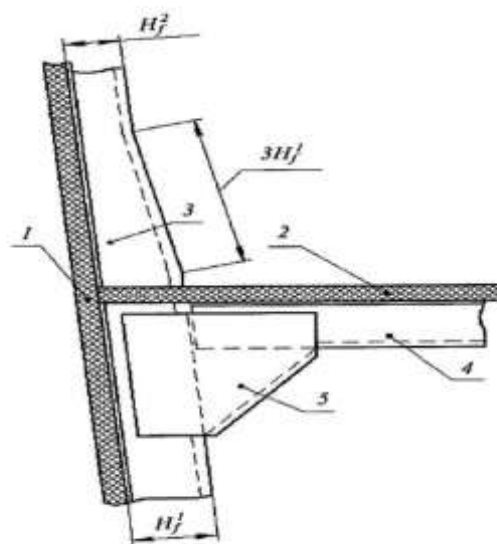


Рис. 3.2.4-10 Вузол з'єднання шпангоута з бімсом проміжної палуби (платформи):

1 - бортова обшивка; 2 - настил проміжної палуби (платформи); 3 - шпангоут; 4 - бімс; 5 – книця

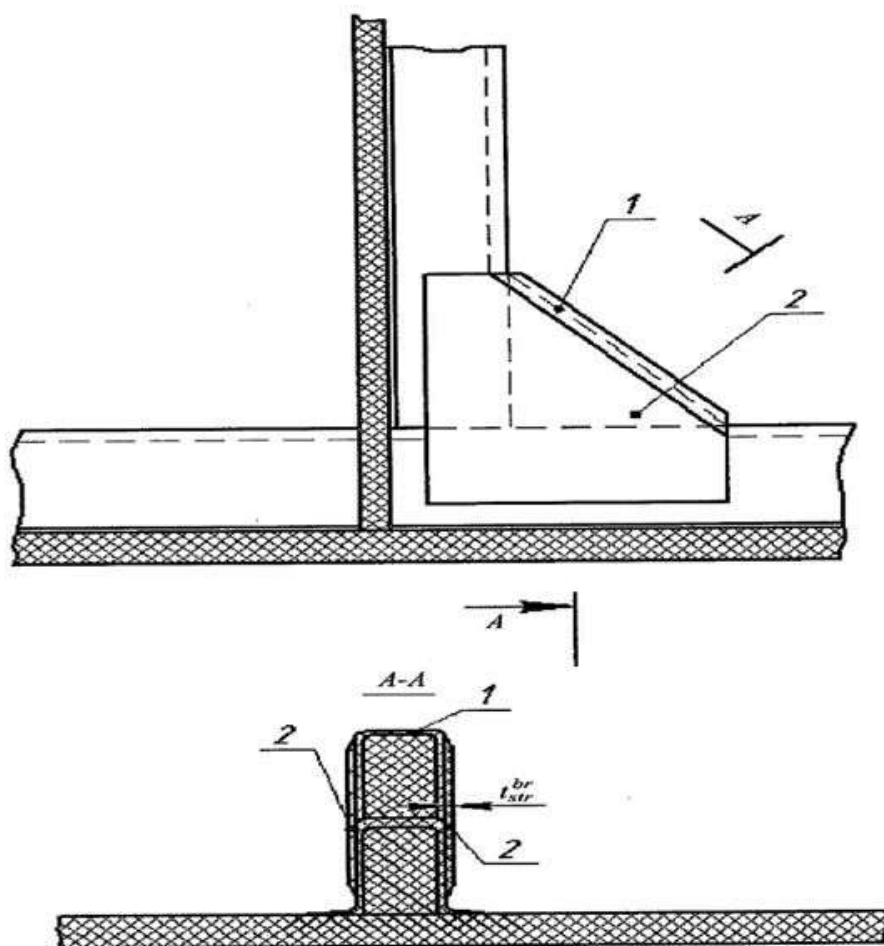


Рис. 3.2.4-12 Вузол з'єднання книці з балками набору за допомогою накладок:

1 - книця; 2 – накладки

$$t_{str}^{br} \cong t_w^{br}$$

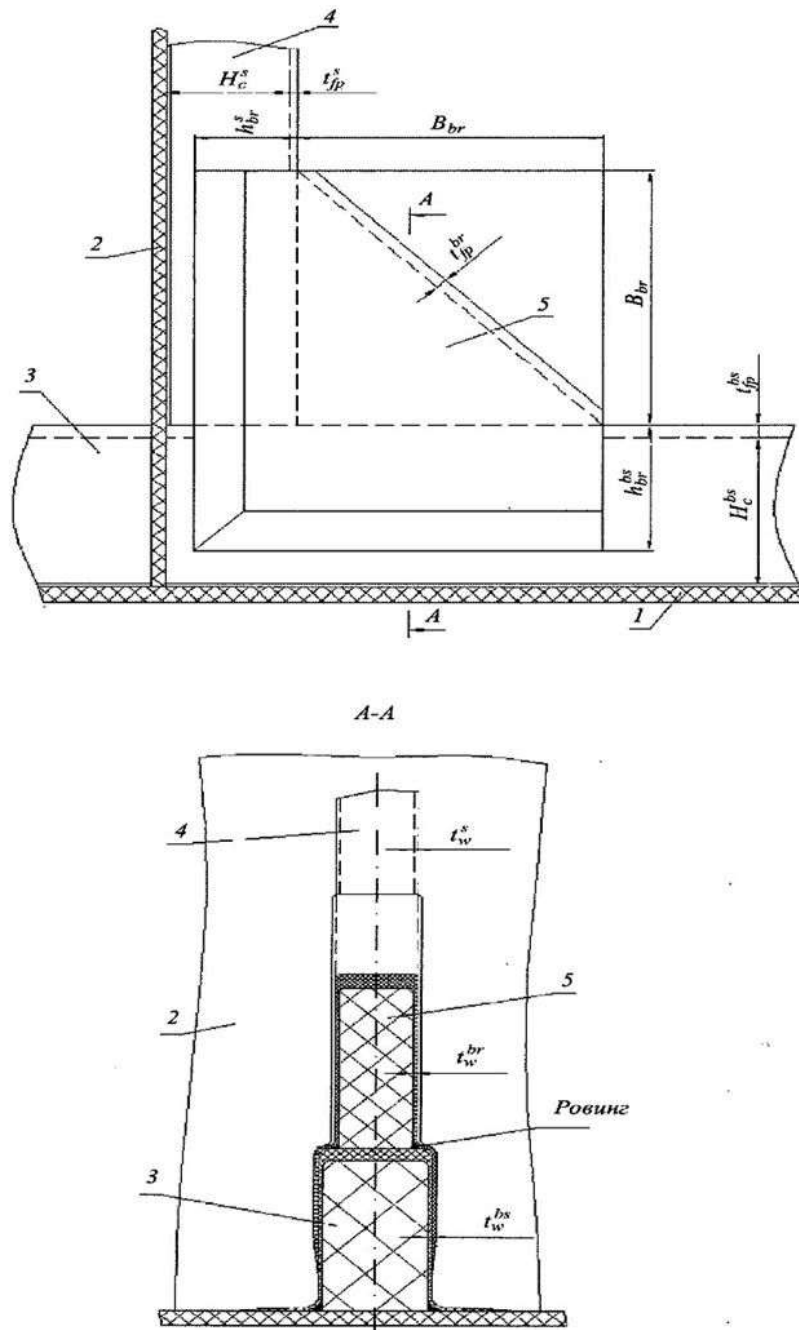


Рис. 3.2.4-11 Вузол з'єднання стояка перегородки з поздовжньою балкою (стрингером, карлінгсом):

1 - днищева обшивка (настил палуби); 2 - полотнище перегородки;
3 - поздовжня балка; 4 - стояк; 5 - книця

$$B_{br} \geq 1,5H_c^s; t_{fp}^{br} = \frac{1}{2}(t_{fp}^s + t_w^{bs}); t_w^{br} = \frac{1}{2}(t_w^s + t_w^{bs}); h_{br}^{bs(s)} = 0,7H_c^{bs(s)}$$

3.2.4.25 Проміжні стояки, які встановлюються для підкріплення полотнища перегородки між основними стояками, допускається зрізати на «вус» в місцях закінчення (біля днища і верхньої палуби) (див. [рис. 3.2.4-13](#)). Проміжні стояки можуть розрізатися на проміжних палубах і платформах.

Зрізання основних стояків на «вус» допускається на підставі підтверджуючих розрахунків міцності і при наявності схвалення Регістра.

3.2.4.26 Розміри стояків П-подібного профілю визначаються відповідно до вимог [3.2.4.7](#) і повинні бути підтверджені результатами розрахунків на стійкість (див. [Додаток 1](#)).

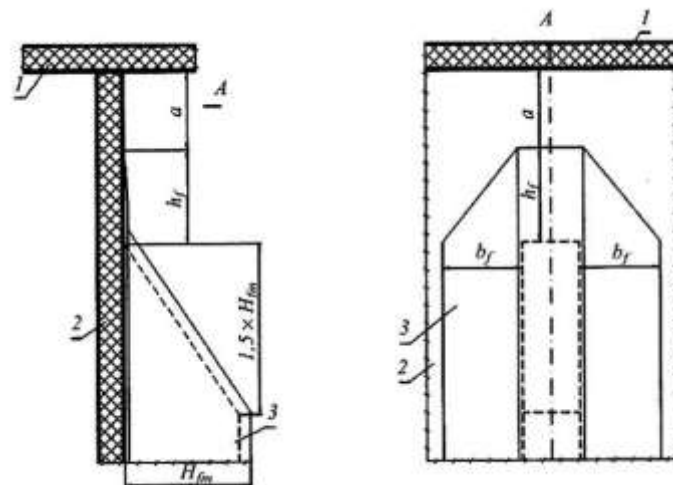


Рис. 3.2.4-13 Вузол закінчення стояка перегородки на «вус»:

1 - днищева обшивка (настил палуби); 2 - полотнище перегородки; 3 - балка П-подібного профілю

3.2.4.27 Всі з'єднувальні елементи в з'єднаннях балок набору між собою і з іншими в'язями корпусу повинні мати паралельну структуру армування і виконуються на основі рівнігових або біаксіальних тканин з армуванням ($0^\circ/90^\circ$).

Обформовку книць необхідно виконувати з паралельно-діагональною структурою армування з використанням квадроаксіальних тканин з армуванням ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$) або поєднання тканин з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) та ($+45^\circ/-45^\circ$).

3.2.4.28 Вирізи в поясах балок набору не допускаються.

Вирізи в стінках балок набору для пропуску трубопроводів, кабелів тощо допускаються з найбільшим лінійним розміром не більше $1/3$ висоти профілю («сердечника») балки. При цьому стінки повинні мати паралельно-діагональну структуру армування ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$).

Вирізи діаметром менше $1/5$ висоти профілю балки допускається не підкріплювати. Вирізи більшого діаметра, але не більше $1/3$ висоти профілю балки, повинні бути підкріплені. Підкріплення виконується шляхом наформовки накладки по периметру профілю, охоплюючи стінки і вільний пояс балки (див. [рис. 3.2.4-14](#)).

Матеріал накладки повинен відповідати матеріалу обформовки балки набору, де розташований виріз. Структура армування накладки повинна бути паралельно-діагональна ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$).

3.2.4.29 У балках набору повинні бути передбачені водопротоки (шпігати для перегікання води та інших рідин).

Підкріплення вирізів під шпігати в стінках балок набору П-подібного профілю виконується шляхом установки у виріз на пасті тонкостінного оформлювача, виконаного з ПКМ. Висота вирізу під шпігати повинна складати 5 - 50мм (див. [рис. 3.2.4-14](#)).

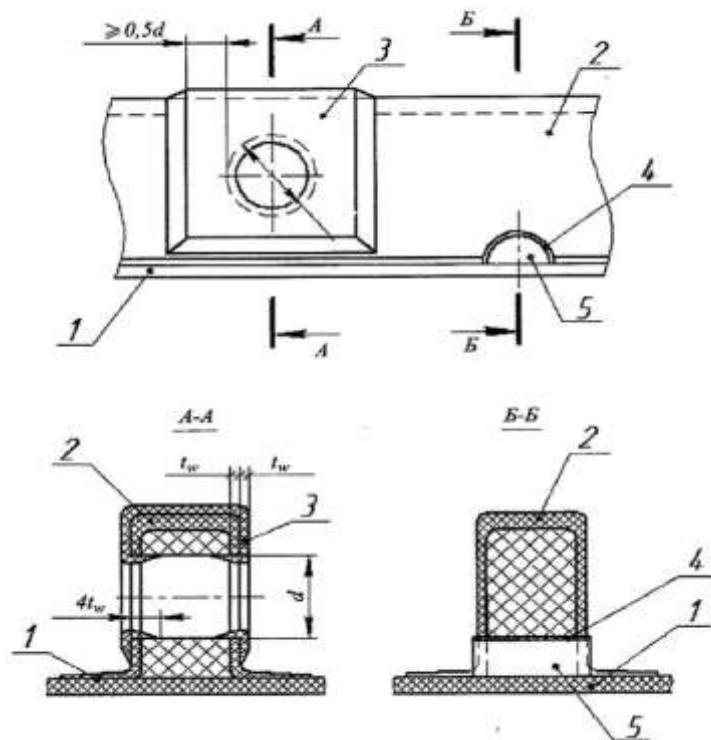


Рис. 3.2.4-14 Підкріплення вирізів в балках набору П-подібного профілю:

1 - обшивка (настил палуби, платформи); 2 - балка;
3 - накладка; 4 - оформлювач вирізу; 5 - водопротока (шпігат)

3.2.5 Вирізи.

3.2.5.1 Всі вирізи в бортовій обшивці, настилах палуб і полотнищах перегородок повинні підкріплюватися, якщо їх мінімальний лінійний розмір перевищує (залежно від того, що менше):

- 15 товщини для одношарових конструкцій, або 150мм;
- 5 товщини для тришарових конструкцій, або 250мм.

3.2.5.2 Підкріплення вирізів в одношарових конструкціях виконується шляхом місцевого збільшення товщини обшивки (настилу палуби, полотнища) навколо вирізу на площі, розміри якої визначаються відповідно до [рис. 3.2.5-1, а](#) і [3.2.5-2](#).

Збільшення товщини допускається виконувати у вигляді накладок, якщо для виготовлення конструкції використовується метод інфузії або місце вирізу заздалегідь не визначено і його мінімальний розмір не перевищує 30 товщини обшивки (настилу палуби, полотнища). В іншому випадку збільшення товщини необхідно виконувати заздалегідь, шляхом за формовки додаткових шарів тканини між основними шарами.

3.2.5.3 Для підкріплення вирізів в обшивці, настилі палуби і полотнищі перегородки тришарової конструкції рекомендується виконувати:

- місцеве збільшення товщини несучих шарів на заданій площі навколо вирізу;
- заміна по контуру вирізу на ширині не менше $3h$, де h - 1/2 товщини середнього шару, від краю вирізу пінопласту в даному шарі на пінопласт більшої густини (див. [рис. 3.2.5-1, б](#) і [3.2.5-3](#)).

Збільшення товщини несучих шарів виконується у вигляді накладок шляхом наформовки додаткових шарів тканини з одночасною заформовкою торця конструкції по контуру вирізу.

Введений в середній шар по контуру вирізу пінопласт (підвищеної щільності) повинен мати границю міцності при стисненні на $0,3 \div 1,0$ МПа вище границі міцності середнього шару пінопласту, прийнятого для даної конструкції. При цьому, якщо середній шар виконаний з легкого мату, армованого тканиною (див. [рис. 3.1.1, в](#)), то його посилення по контуру вирізу не здійснюється.

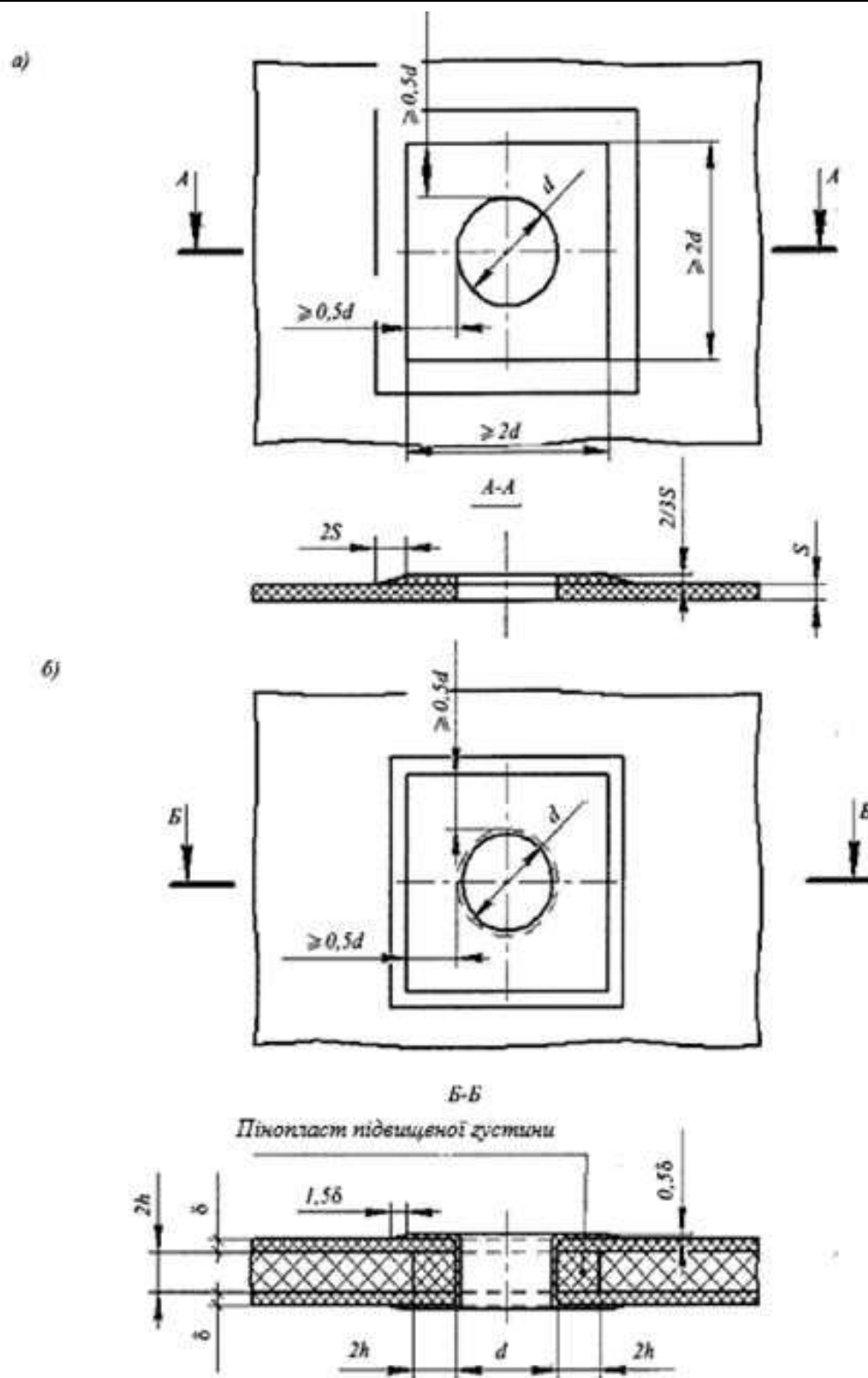


Рис. 3.2.5-1 Підкріплення круглого вирізу в одношаровій (а) і тришаровій (б) конструкціях

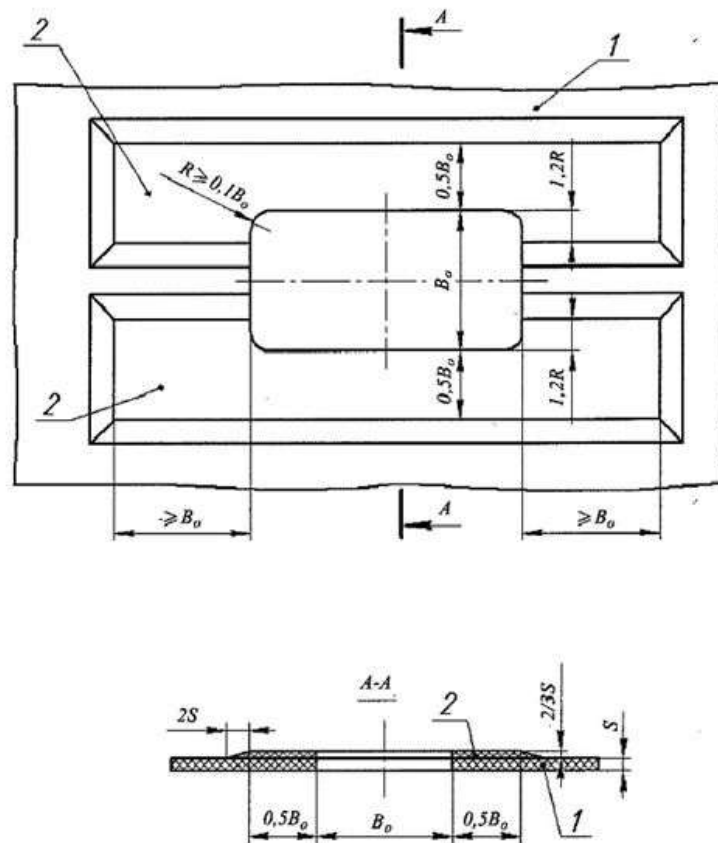


Рис. 3.2.5-2 Підкріплення прямокутного вирізу в одношаровій конструкції:

1 - настил палуби (платформи); 2 – потовщення

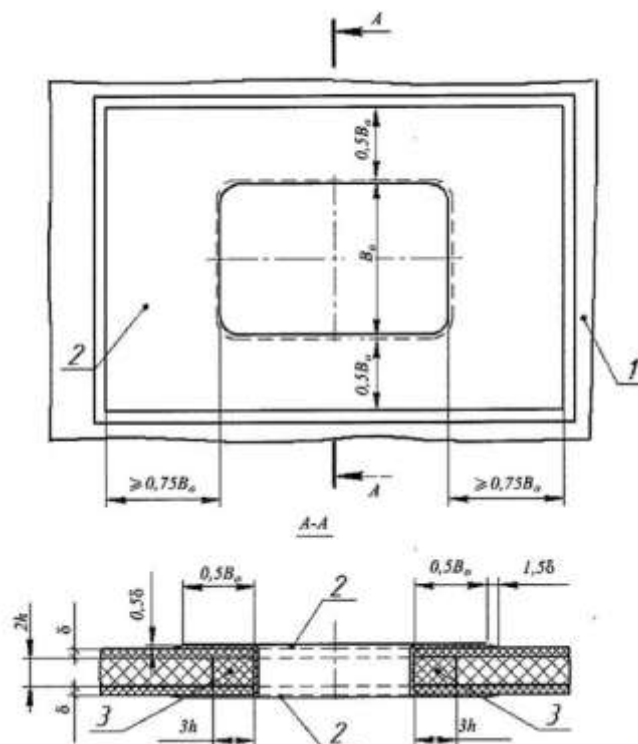


Рис. 3.2.5-3 Підкріплення прямокутного вирізу в тришаровій конструкції:

1 - настил палуби (платформи); 2 - потовщення несучих шарів; 3 - пінопласт підвищеної густини

3.2.5.4 Потовщення конструкції в районі вирізу виконується з використанням тих же тканин, з яких виготовляється сама конструкція.

Круглі вирізи допускається підкріплювати рівінговими і біаксіальними тканинами з армуванням ($0^\circ/90^\circ$), $(+45^\circ/-45^\circ)$ або шляхом їх комбінації.

Структура армування потовщення навколо прямокутного вирізу повинна, по можливості, повторювати структуру армування конструкції, де розташований цей виріз.

Зменшення товщини накладки потовщення слід виконувати плавно з перекриванням на 30-50мм кожного шару тканини наступним шаром.

3.2.5.5 Порівняно великі вирізи в палубі, ширина яких перевищує $1/4 \div 1/3$ її ширини, повинні бути підкріплені комінгсами.

Комінгси можуть бути виконані з тих же матеріалів, що і палуба, і мати П-подібний або Г-подібний профіль поперечного перерізу. Вони також можуть бути металевими, наприклад, штатні комінгси кришок люків.

Вирізи можуть не мати комінгсів. При цьому вони повинні бути обмежені карлінгсами і бімсами, які слід розташовувати на найкоротшій відстані від кромки вирізу, що дорівнює ширині фланця балок набору. У разі неможливості виконання цієї вимоги, слід ввести додаткові в'язі, передбачивши їх закінчення з урахуванням положень [3.2.4.17](#).

3.2.5.6 У виняткових випадках допускається наявність двох і більше вирізів в палубі, розташованих на відстані менше 1,5 ширини найменшого вирізу, виміряній між їх крайками. Підкріплення таких вирізів слід проводити шляхом збільшення товщини настилу по всій площі району палуби, де розташована така група вирізів.

Якщо палуба має тришарову конструкцію з пінопластом в середньому шарі, то крім збільшення товщини несучих шарів, по контуру вирізів в середній шар повинен бути введений пінопласт підвищеної густини відповідно до положень [3.2.5.3](#).

3.2.5.7 Якщо відстань між вирізами більше зазначеної в [3.2.5.6](#), то рішення про збільшення товщини настилу або несучих шарів по всій площі району палуби, де розташовані вирізи, або навколо кожного вирізу або окремих вирізів, має прийматися виходячи з конструктивних особливостей і отримати схвалення Регістру

3.2.5.8 У районі палубного стрингера вирізи не допускаються. У виняткових випадках дозволяється в палубному стрингері прорізати круглі отвори діаметром не більше 150мм. Крайки вирізів повинні бути підкріплені згідно з [3.2.5.2](#) і [3.2.5.3](#).

3.2.6 З'єднання.

3.2.6.1 Загальні положення.

.1 ці вимоги поширюються на формовані стикові (пазові) і кутові з'єднання в'язей корпусних конструкцій, які виготовлені із застосуванням адгезійних речовин і пошарово наформованих з'єднувальних накладок і приформовочних косинців;

.2 з'єднувальні накладки і приформовочні косинці повинні виготовлятися з тих же матеріалів і тієї ж структури армування, що і в'язі, які з'єднуються;

.3 в стикових і кутових з'єднаннях між поверхнями контакту в'язей, які з'єднуються, повинна бути введена адгезій на речовина, властивості якої повинні забезпечувати задану міцність з'єднання і можливість його використання в виробничих умовах суднобудівної верфі з урахуванням вимог [2.3.4](#);

.4 наформовка з'єднувальних накладок і приформовочних косинців повинна виконуватися методами інфузії або контактного формування при дотриманні вимог до якості підготовки поверхонь, що з'єднуються, і відносного вмісту зв'язуючого при наформовці накладок і косинців відповідно до технологічного регламенту;

.5 вибрані параметри вузлів з'єднань з урахуванням вимог [3.2.6.2](#) і [3.2.6.3](#), повинні бути уточнені на підставі результатів розрахунків міцності.

3.2.6.2 Стикові формовані з'єднання.

.1 в стикових формованих з'єднаннях матеріал і структура армування накладок повинна відповідати в'язям, які з'єднуються (див. [3.2.6.1.2](#)). При цьому тканини з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) допускається укласти напрямком 0° уздовж стику, але в цьому випадку розривне навантаження в напрямку 90° повинно бути не нижче навантаження в напрямку 0° ;

.2 при товщині одношарових з'єднуваних в'язей не більше 10 мм допускається виконувати з'єднання без обробки з'єднувальних країв (див. [рис. 3.2.6-1](#)).

Для даного типу з'єднання параметри накладок вибираються виходячи з наступного:

$$b_m \geq 180 + 15s, \text{ мм};$$

$$b_c = 30 \div 50, \text{ мм} - \text{половина ширини першого шару тканини накладки};$$

$$b_c^f = 15 \div 25, \text{ мм} - \text{ширина сходинки};$$

$$b_c^n = 40 \div 50, \text{ мм} - \text{ширина останньої } n\text{-ої сходинки накладки};$$

$$t_m \geq 0,5s, \text{ мм} - \text{для з'єднувальних накладок, що мають паралельну структуру армування } (0^\circ, 90^\circ);$$

$$t_m \geq 0,8s, \text{ мм} - \text{для з'єднувальних накладок, що мають паралельно – діагональну структуру армування } (0^\circ, 90^\circ) (+45^\circ/-45^\circ);$$

t_c^1, t_c^i, t_c^n - висота сходинки, що дорівнює сумарній товщині шарів тканини, що утворюють сходинку.

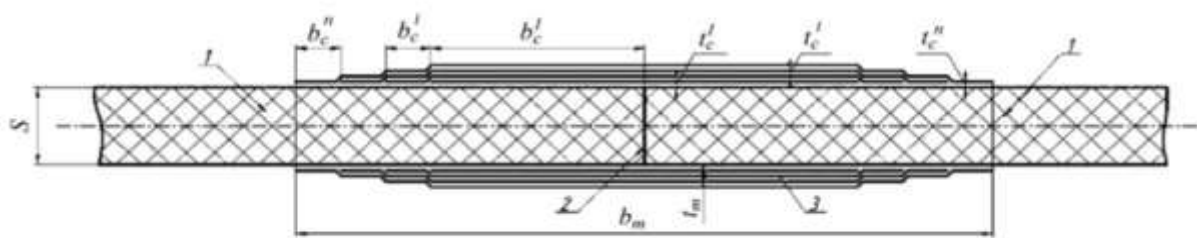


Рис. 3.2.6-1 Конструктивна схема стикового (пазового) формованого з'єднання одношарових в'язей без оброблення кромки:

1 - в'язі, що з'єднуються; 2 - стик; 3 – накладки

.3 при товщині одношарових в'язей більше 10мм стикові з'єднання виконуються зі ступінчастим обробленням кромки і зі зрізанням кромки «на вус». Ці типи з'єднань застосовуються для з'єднання тришарових в'язей;

.4 стикове з'єднання зі ступінчастим обробленням кромки виконується шляхом послідовного видалення шарів армуючого матеріалу у в'язях, що з'єднуються, в районі стику (див. [рис. 3.2.6-2](#)).

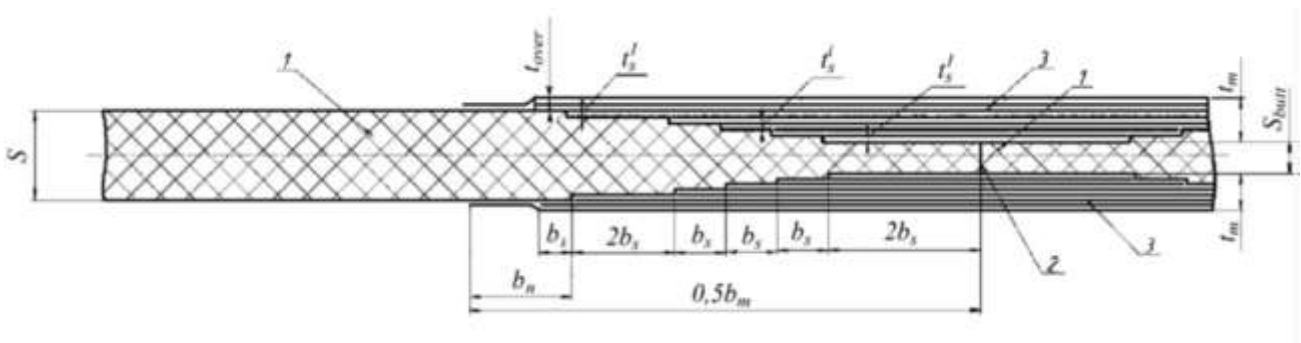


Рис. 3.2.6-2 Конструктивна схема стикового (пазового) формованого з'єднання одношарових в'язей з двостороннім ступінчастим обробленням кромки:

1 - в'язі, що з'єднуються; 2 - стик; 3 – накладки

Вибір параметрів з'єднання одношарових в'язей виконується виходячи з наступного:

$$s'_{butt} = 0,25s \geq 2, \text{ мм};$$

$m_1 = s'_{butt}/t_d$ (якщо m_1 дробове число, то воно округляється до найменшого цілого);

$$n_1 = (m - m_1)/2,$$

- якщо n_1 - ціле число, то $m_{butt} = m_1$;

- якщо n_1 - дробове число, то $m_{butt} = m_1 + 1$, а n_1 округляється до найменшого цілого;

$$s_{butt} = t_d m_{butt} \geq 2, \text{ мм};$$

$n_2 = (n_1 - 6)/3$ (якщо n_2 - дробове число, то воно округляється до найменшого цілого);

$$n = 4 + n_2 + k; b_m \geq 2[(n + 2) \cdot b_s + b_n], \text{ мм};$$

$$b_n = 2b_s \geq 40, \text{ мм}; \text{ при } b_s = 20 \div 30, \text{ мм};$$

$$b_k = b_s;$$

$$t_m > 0,5(s - s_{butt}) + t_{overs}, \text{ мм};$$

де:

- n - кількість ступенів оброблення;
- m - кількість шарів тканини в панелі;
- m_{butt} - кількість шарів тканини в стику панелей s_{butt} ;
- s'_{butt} - первісна товщина стику;
- s_{butt} - остаточна товщина стику;
- m_1 - кількість шарів тканини в стику панелей товщиною s'_{butt} ;
- t_d - товщина одного шару тканини або пакета
- t_m - товщина накладки;
- k - коефіцієнт, що дорівнює 0, якщо n_2 - ціле число, і дорівнює 1, якщо n_2 - дробове число;

Сходишки повинні мати наступну висоту t_s^i :

- перша t_s^1 і остання сходишка t_s^n - 1 шар тканини;
- друга сходишка t_s^2 - 2 шари тканини;
- третя t_s^3 і наступні сходишки - $2 \div 3$ шари тканини, при цьому необхідно враховувати наступне:
- якщо n_2 є цілим числом, то всі сходишки, починаючи з третьої до передостанньої, повинні мати товщину, що дорівнює 3 шарам тканини;
- якщо n_2 є дробовим числом, то в разі, якщо число після коми дорівнює 3, необхідно зробити $(n_2 - 1)$ сходишку товщиною, що дорівнює 3 шарам тканини і 2 сходишки товщиною, що дорівнює 2 шарам тканини;
- якщо n_2 є дробовим числом, то в разі, якщо число після коми дорівнює 6, необхідно зробити n_2 сходишки з товщиною, що дорівнює 3 шарам тканини і 1 сходишку з товщиною, що дорівнює 2 шарам тканини;
- передостання сходишка $t_s^{(n-1)}$ - 2 шари тканини.

Інші позначення наведені на рис. 3.2.6-2.

Кількість зовнішніх накладок з товщинами $t_{over} \approx t_d$ приймається рівною двом.

Параметри стикового з'єднання тришарових в'язей визначаються виходячи з наступного:

$$s_{butt} = m'''_{butt} t_d, \text{ мм};$$

$$m'''_{butt} \geq 2;$$

$$n_1 = m''' - m'''_{butt}$$

m''' - кількість шарів тканини в несучому шарі;

m'''_{butt} - кількість шарів тканини в стику несучих шарів;

$n_2 = (n_1 - 6)/3$ (якщо n_2 - дробове число, то воно округляється до найменшого цілого);

$$t_m > \delta_{imax}, \text{ мм}$$

де: δ_{imax} ($i = 1, 2$) - максимальна товщина одного з двох несучих шарів;

s_{butt} - товщина несучих шарів в стику.

Інші параметри накладок, кількість сходинок і їх висота визначаються з наведених вище співвідношень для ступеневого з'єднання одношарових в'язей.

.5 конструктивна схема стикового з'єднання з обробленням кромek «на вус» одношарових в'язей приведена на [рис. 3.2.6-3](#).

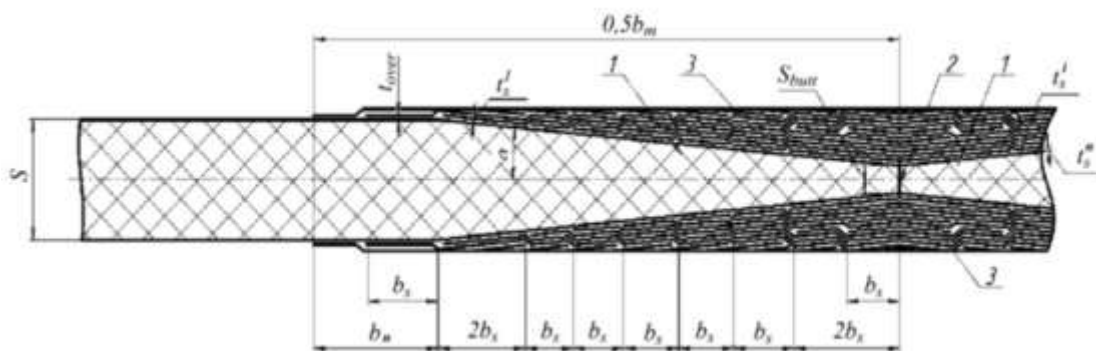


Рис. 3.2.6-3 Конструктивна схема стикового (пазового) формованого з'єднання одношарових в'язей з двостороннім обробленням кромek «на вус»:
1 - в'язі, що з'єднуються; 2 - стик; 3 – накладки

Вибір параметрів стикового з'єднання одношарових в'язей з обробленням «на вус» виконується виходячи з наступного:

$$\alpha \leq 4^\circ;$$

$$s'_{butt} = 0,125s \geq 2, \text{ мм};$$

$$n = ((s - s'_{butt}) / (2\alpha b_s)) - 2 \text{ (якщо } n \text{ - дробове число, то воно округлюється до меншого цілого);}$$

$$b_s = 15 \div 20, \text{ мм}; b_n = 2b_s \geq 30, \text{ мм};$$

$$\cos(\alpha) / n (0,6(s - s'_{butt}) + 0,2t_{over}n_{over}) \geq t'_n \geq n_1 / n t_d \cdot \cos \alpha, \text{ мм (кут } \alpha, \text{ град.)},$$

де: t'_n - товщина накладки в районі стику.

Інші параметри з'єднання визначаються за формулами для ступеневого з'єднання одношарових в'язей (див. [3.2.6.2.4](#)).

Параметри стикового з'єднання тришарових в'язей з обробленням «на вус» визначаються за формулами для визначення параметрів одношарових в'язей, а також за такими формулами:

$$\alpha \leq 2^\circ; s_{butt} = \text{товщина 1 шару тканини};$$

$$n = (\delta_{imax} - s_{butt}) / (\alpha \cdot b_s) - 2 \text{ (якщо } n \text{ - дробне число, то воно округляється до меншого цілого);}$$

$$(\cos(\alpha)) / n \cdot (1,2(\delta_{imax} - s_{butt}) + 0,2t_{over}n_{over}) \geq t'_n \geq (\delta_{imax} - s_{butt}) / n \cdot \cos(\alpha), \text{ мм (кут } \alpha, \text{ град.)};$$

.6 для з'єднання в'язей корпусних конструкцій допускається застосовувати несиметричні по товщині з'єднання без оброблення та з обробленням кромek, що з'єднуються, наприклад для забезпечення гладкості зовнішньої поверхні палуби (платформи) на цій поверхні виконується оброблення кромek «на вус», а на протилежній поверхні накладка формується на стик без оброблення кромek.

Вибір накладок без оброблення та з обробленням кромek здійснюється з урахуванням вимог [3.2.6.2.2](#), [3.2.6.2.4](#) і [3.2.6.2.5](#);

.7 застосування інших типів стикових (пазових) з'єднань одношарових і тришарових в'язей корпусних конструкцій повинно бути обґрунтоване на основі результатів розрахунків і проведення випробувань, а також погоджене з Регістром.

3.2.6.3 Кутові формовані з'єднання.

.1 в кутових формованих з'єднаннях, які не сприймають значний зсув у площині армування в'язей, структура армування приформовочних косинців повинна бути ($0^\circ/90^\circ$) з орієнтацією напрямку 0° уздовж з'єднання. При цьому розривне навантаження в напрямку 90° повинна бути не нижче розривного навантаження в напрямку 0° .

У випадку, якщо в'язі, що з'єднуються, піддаються великим деформаціям при зсуві, структура

армування приформовочних косинців повинна бути паралельно-діагональною ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$), для чого рекомендується використовувати комбінацію з двох тканин ($0^\circ/90^\circ$) та ($+45^\circ/-45^\circ$) товщиною кожна не більше 0,5 мм для забезпечення їх хорошого укладання в кутах з'єднання;

.2 в кутових з'єднаннях при формуванні приформовочних косинців повинно бути забезпечене зменшення їх товщини від кореня до закінчення катетів за рахунок перекривання кожним наступним шаром тканини попереднього шару на величину a_{angl} , яка приймається рівною

$$a_{angl} = 10 \div 15 \text{ мм (див. рис. 3.2.6-4)}.$$

Основні параметри приформовочних косинців при з'єднанні одношарових в'язей вибираються виходячи з наступного:

$$t_{angl} \geq 0,8s, b_{angl} \geq 15t_{angl} \text{ або } b_{angl} \geq 100 + 5s \text{ (залежно від того, що більше),}$$

де s - товщина горизонтальної в'язі, мм;

$$R_{angl} \geq 1,5t_{angl};$$

.3 по поверхні контакту вертикальної в'язі з горизонтальною, а також в кутах з'єднань наноситься адгезійна речовина, за допомогою якої здійснюється з'єднання в'язей і формування заокруглень в кутах перед наформовкою приформовочних косинців (див. рис. 3.2.6-4);

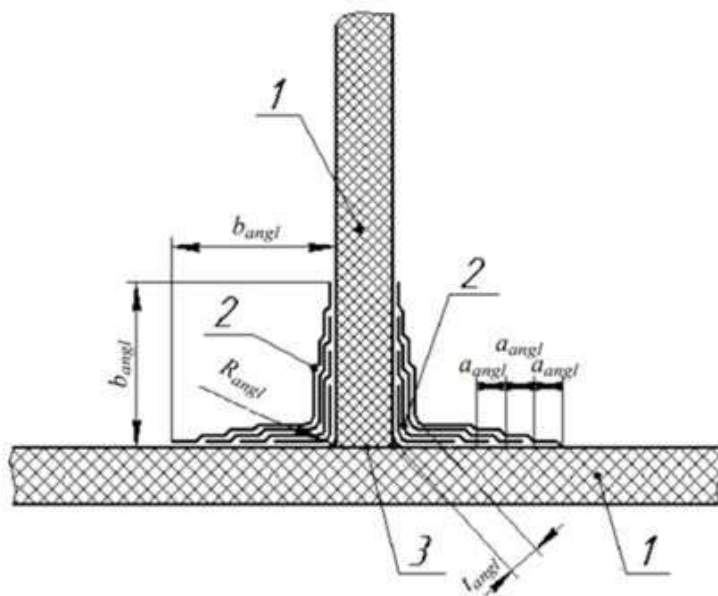


Рис. 3.2.6-4 Конструктивна схема кутового формованого з'єднання:

1 - в'язі, що з'єднуються; 2 - приформовочні косинці; 3 - поверхня контакту

.4 для навантаженого кутового з'єднання горизонтальне одношарова в'язь виконується з потовщенням під вертикальною в'яззю, яка може бути як одношаровою, так і тришаровою, наприклад, з'єднання одношарової обшивки корпусу з тришаровою перегородкою. Пінопласт звичайної міцності в середньому шарі перегородки в районі з'єднання з одношаровою обшивкою повинен бути замінений на пінопласт з межею міцності при стисненні на $0,3 \div 1,0$ МПа вище (підвищеної густини) у вигляді закладних елементів певних розмірів (див. рис. 3.2.6-5).

Потовщення обшивки виконується шляхом введення додаткових шарів тканини (рівінгової або біаксальної з армуванням ($0^\circ/90^\circ$)) між основними шарами з укладанням уздовж вертикальної в'язі (поперек корпусу). Потовщення виконується зі зменшенням товщини до країв, перекриваючи кожним шаром тканини попередній шар з кроком 20 — 25 мм. Розміри потовщення визначаються виходячи з наступного:

$$t_{th} = (0,2 \div 0,3)s_{shell}$$

$$B_{shell} \geq 2(b_{th} + 6t_{th}) + S_{bulk}, b_{th} = b_{angl} + 5 \text{ мм}$$

$$b_{angl} \geq 16t_{angl}, t_{angl} \geq 0,6s_p$$

де $s_p = \max(S_{shell}, S_{bulk})$ – для з'єднання одношарових в'язей;

$S_p = \max(S_{shell}, \delta_{bulk} + \delta_{bulk})$ – для з'єднань одношарових і тришарових в'язей;

δ_{bulk} – товщина несучого шару тришарової в'язі;

$$R_{angl} = 2t_{angl}$$

$$l_{angl}^{bulk} = 1,2S_{bulk}$$

.5 у випадку, якщо обидва в'язі, наприклад, перебірка і обшивка, мають тришарову конструкцію і є напруженими, то їх кутове з'єднання рекомендується виконувати з застосуванням опорних елементів трикутної форми з пінопласту підвищеної міцності (див. табл. 2 3.3.8), які встановлюються на обшивку з обох сторін поперечної перегородки за допомогою адгезійної речовини. Ця речовина застосовується в з'єднанні перегородки з обшивкою по з'єднувальній поверхні. При цьому торець вертикальної в'язі (перегородки) обформовується з переходом на зовнішні поверхні на висоту, рівну не менше величині її товщини.

У районі їх з'єднання пінопласт звичайної міцності в середніх шарах перебірки і обшивки повинен бути замінений на пінопласт з границею міцності при стисненні на $0,3 \div 1,0$ МПа вище (підвищеної густини) у вигляді закладних елементів певних розмірів (див. [рис. 3.2.6-6](#)).

Основні параметри цих варіантів з'єднання вибираються виходячи з наступного:

$$c \geq 0,6(S_{shell} + S_{bulk}); l_{angl}^d = 0,2s_d; l_{shell}^{angl} = 2(1,1c + S_{shell}) + s_d;$$

$$t_{angl} = 1,2\max(\delta^d, \delta^{shell});$$

$$b_{angl} = 16t_{angl} + c \geq 2S_{shell}; R_{angl} \geq 2t_{angl}; \beta = 45^\circ;$$

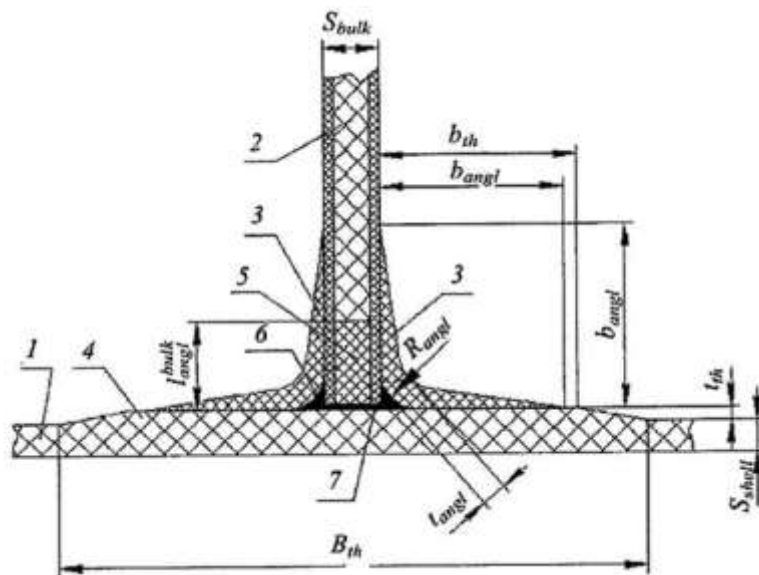


Рис 3.2.6-5 Вузол з'єднання перегородки тришарової конструкції з одношаровою обшивкою корпусу з посиленням під перегородкою: 1 - обшивка; 2 - перегородка; 3 - приформовочні косинці; 4 - потовщення; 5 - пінопласт підвищеної густини; 6, 7 – адгезійна речовина

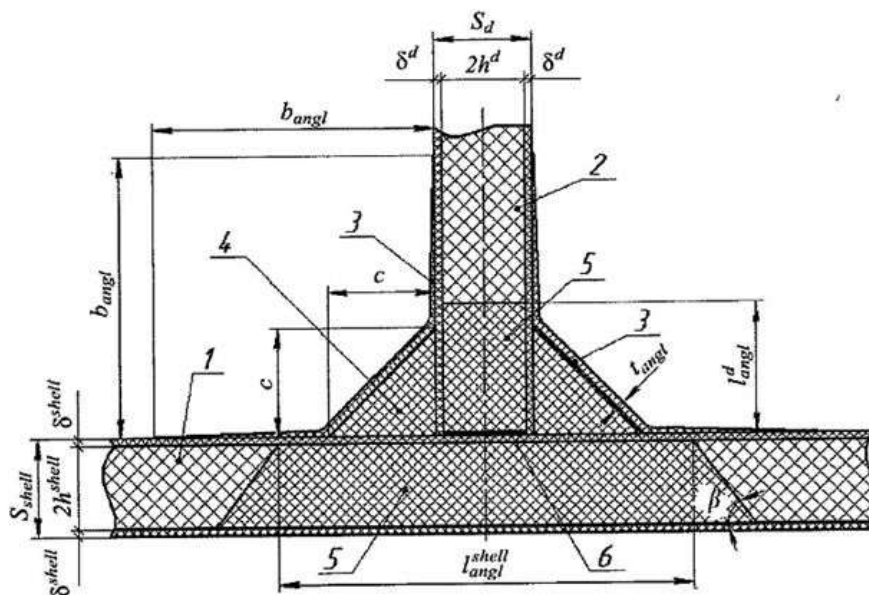


Рис. 3.2.6-6 Вузол з'єднання обшивки корпусу і перегородки тришарової конструкції: 1 - обшивка; 2 - перегородка; 3 - приформовочні косинці; 4 - опорні елементи; 5 - закладні елементи; 6 - адгезійна речовина

.6 кутове з'єднання борту з верхньою палубою, які є одношаровими конструкціями, допускається з'єднувати із застосуванням приформовочних косинців за умови, що найбільша товщина борту не перевищуватиме 14мм.

У цьому випадку розмір катета b_{angl} приформовочних косинців, їх товщина в корені t_{angl} і внутрішній радіус R_{angl} переходу від борта до палуби визначаються з наступних співвідношень:

$$b_{angl} \geq 100 + 8S_s, t_{angl} \geq 0,8S_s, R_{angl} \geq 2S_s,$$

де S_s - товщина борту (ширстрєка) в місці з'єднання з верхньою палубою;

.7 у випадку якщо одношарові борт і палуба мають порівняно великі товщини (більше 15 - 20мм), то їх кутове з'єднання рекомендується виконувати з потоншенням обшивки борта і настилу палуби в місці їх з'єднання і з установкою опорного елемента трикутної форми (див. [рис. 3.2.6-7](#)) з пінопласту підвищеної міцності (див. [табл. 2.3.3.8](#)).

Основні параметри цього з'єднання приймаються наступними:

$$c \geq 2\max(S_s, S_d);$$

$$h_d \geq 0,5S_d; h_s \geq 0,5S_s;$$

$$t_{angl}^{out} \geq 0,65S_s; b_{angl}^{out} \geq 20t_{angl}^{out};$$

$$t_{angl}^{in} \geq 0,45S_s; b_{angl}^{in} \geq 16t_{angl}^{in} + c;$$

$$l_d = b_{angl}^{out} - S^d; l^s = b_{angl}^{out} - S_s.$$

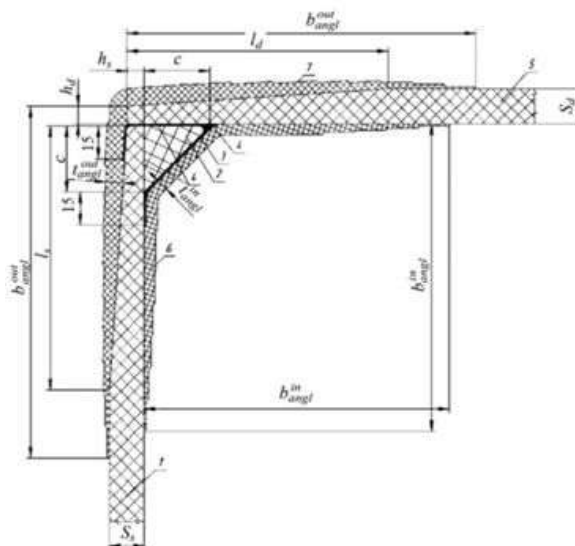


Рис. 3.2.6-7 Вузол з'єднання одношарових конструкцій борту і верхньої палуби змінної товщини з установкою опорного елемента: 1 - борт; 2 - опорний елемент; 3 - обформовка опорного елемента; 4 - адгезійна речовина;

5 - настил верхньої палуби; 6 - внутрішній приформовочний косинець; 7 - зовнішній приформовочний косинець

.8 у випадку якщо настил верхньої палуби і обшивка борту мають тришарову конструкцію, то їх з'єднання допускається виконувати в наступних варіантах конструктивного оформлення:

Варіант А. Настил палуби з'єднується з обшивкою борту за допомогою адгезійної речовини і приформовочних косинців із застосуванням опорного елемента з пінопласту підвищеної міцності (див. [табл. 2.3.3.8](#)). В районі з'єднання торець настилу верхньої палуби обформовується 2 - 3 шарами рівнингової тканини з армуванням (0°/90°) (див. [рис. 3.2.6-8](#)).

Основні параметри цього з'єднання визначаються з наступних співвідношень:

$$c \geq 1,2 \max(s_s, s_d); t_{angl}^{out} = 2 \max(\delta^d, \delta^s); b_{angl}^{out} \geq 18 t_{angl}^{out} \geq 3,5 S_s;$$

$$t_{angl}^{in} = 1,2 \delta^s; b_{angl}^{in} \geq 15 t_{angl}^{in} + c \geq 2 S_s; \beta = 45^\circ; l_d = b_{angl}^{in} + S_s + S_d; l_s = b_{angl}^{in} + S_s.$$

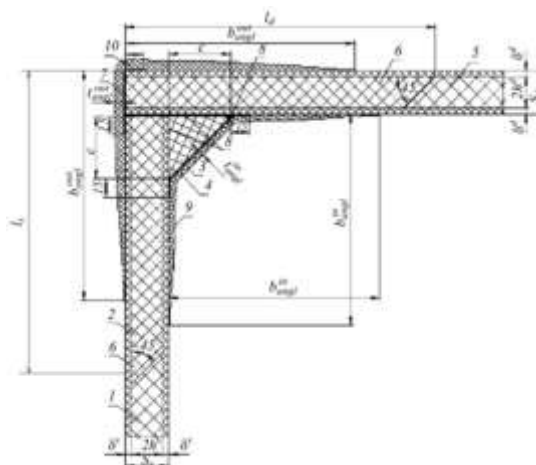


Рис. 3.2.6-8 Вузол з'єднання настилу верхньої палуби і обшивки борту тришарової конструкції (Варіант А):

1 - обшивка борту; 2 - посилення з пінопласту підвищеної густини; 3 - опорний елемент; 4 - обформовка; 5 - настил палуби; 6 - посилення з пінопласту підвищеної густини; 7 - обформовка; 8 - адгезійна речовина; 9 - внутрішній приформовочний косинець; 10 - зовнішній приформовочний косинець

Варіант Б. Тришаровий настил палуби і обшивка борту плавно переходять в одношарові ділянки шляхом зведення несучих шарів. За допомогою адгезійної речовини встановлюється опорний елемент трикутної форми з пінопласту підвищеної міцності (див. [табл. 2.3.3.8](#)) і проводиться укладка внутрішнього і зовнішнього приформовочних косинців (див. [рис. 3.2.6-9](#)).

Основні параметри цього з'єднання рекомендується вибирати виходячи з наступного:

$$t_{angl}^{out} = 2 \max(\delta^d, \delta^s); b_{angl}^{out} \geq 20t_{angl}^{out}; t_{angl}^{in} = 1,2 \max(\delta^d, \delta^s); b_{angl}^{in} \geq 18t_{angl}^{in}$$

В обох варіантах, якщо палуба і борт мають палубний стрингер і ширстрек відповідно, то в зазначених вище залежностях величини δ^d, δ^s приймаються рівними товщинам несучих шарів цих в'язей;

.9 з'єднання внутрішніх палуб (платформ) з обшивкою борту виконується також за допомогою приформовочних косинців і опорного елемента трикутної форми, який виготовляється з пінопласту підвищеної міцності (див. [табл. 2.3.3.8](#)).

Приклади вузлів з'єднання внутрішньої палуби (платформи) одношарової конструкції з обшивкою борту одношарової і тришарової конструкції наведені на [рис. 3.2.6-10](#) і [рис. 3.2.6-11](#).

Основні параметри цих вузлів з'єднань визначаються виходячи з наступного:

$$c \geq 1,2 \max(s_s, s_d); t_{angl} \geq 0,4s_s \text{ або } t_{angl} \geq 2\delta_s \text{ (для тришарової обшивки);}$$

$$b_{angl} \geq 15t_{angl} + c \geq 2s_s.$$

Аналогічним чином оформляється вузол з'єднання, якщо внутрішня палуба (платформа) має тришарову конструкцію.

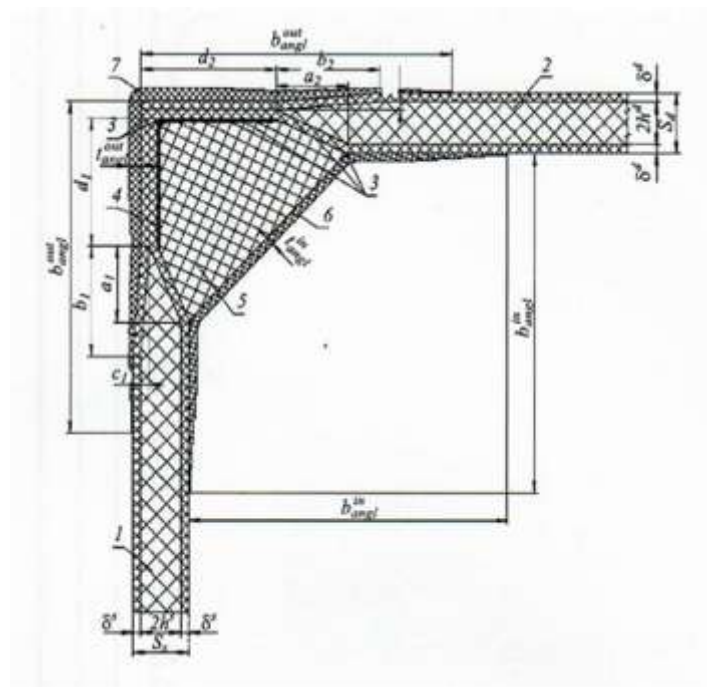


Рис. 3.2.6-9 Вузол з'єднання настилу верхньої палуби і обшивки борту тришарової конструкції (Варіант Б):

1 - обшивка борту; 2 - настил палуби; 3 – адгезійна речовина; 4 - обформовка; 5 - опорний елемент; 6 - внутрішній приформовочний косинець; 7 - зовнішній приформовочний косинець.

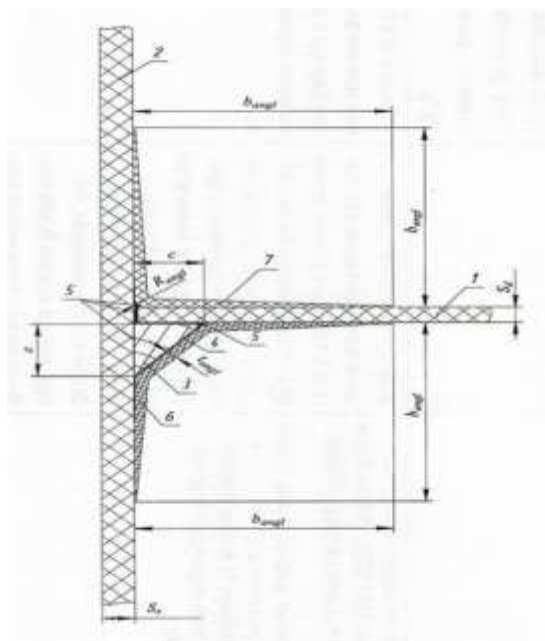


Рис. 3.2.6-10 Вузол з'єднання внутрішньої палуби (платформи) з обшивкою борту одношарової конструкції: 1 - настил внутрішньої палуби (платформи); 2 - обшивка борту; 3 - опорний елемент; 4 - обформовка;
5 – адгезійна речовина; 6 - нижній приформовочний косинець; 7 - верхній приформовочний косинець

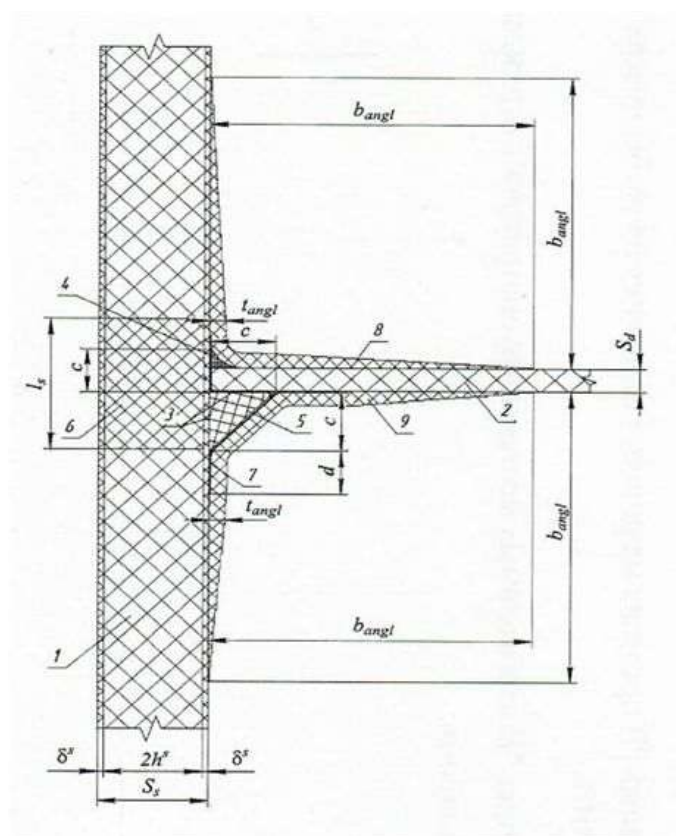


Рис. 3.2.6-11 Вузол з'єднання внутрішньої палуби (платформи) одношарової конструкції з обшивкою борту тришарової конструкції: 1 - обшивка борту; 2 - настил внутрішньої палуби (платформи); 3, 4 – адгезійна речовина; 5 - опорний елемент; 6 - посилення з пінопласту підвищеної густини; 7 - обформовка; 8 - верхній приформовочний косинець; 9 - нижній приформовочний косинець

3.2.7 Фундаменти.

3.2.7.1 Фундаменти під механізми, обладнання і різні пристрої, що встановлюються в корпусі, можуть бути виконані в наступних варіантах конструктивного оформлення:

.1 композитний - з використанням матеріалів, які застосовуються для виготовлення корпусу;

.2 металевий - елементи фундаменту, виготовлені з металу, з'єднуються з композитними елементами і в'язями конструкції за допомогою кріпильних елементів.

3.2.7.2 Конструкція фундаментів визначається в значній мірі характеристиками обладнання, механізмів і пристроїв (масою, експлуатаційними навантаженнями, вібраційними навантаженнями і т.д.), які на них встановлюються. При цьому необхідно враховувати наступне:

- при проектуванні фундаментів з ПКМ в'язі повинні мати цілісну конструкцію, а кількість приформовочних косинців та інших з'єднувальних елементів повинна бути мінімальною;- в фундаментах з ПКМ під важкі механізми та обладнання в місцях проходів через матеріал болтів для їх кріплення повинні бути встановлені металеві втулки;- у випадку виникнення контактних зусиль від обладнання і механізмів, дія яких може привести до м'яття ПКМ, в місці контакту в'язей фундаменту з їх опорами необхідно встановити металеві накладки;- при проектуванні металевих фундаментів необхідно враховувати конструкцію його кріплення до в'язей корпусу, що потребує встановлення «сприймаючих» металевих деталей і, при необхідності, посилення цих в'язей.**3.2.7.3** Фундаменти під головні двигуни і інше важке обладнання повинні бути з'єднані з балками набору, наприклад, днищовими стрингерами і стояками перегородок, або балки набору повинні бути використані під фундаменти.

У випадку якщо наявні балки набору неможливо використовувати, то повинні бути встановлені додаткові балки, які повинні бути з'єднані з основними балками і їх закінчення виконане з урахуванням вимог [3.2.4.17](#).

3.2.7.4 З'єднання поздовжніх балок фундаменту з основними балками набору (стрингерами) повинно бути виконане за допомогою бракет і книць, які повинні бути встановлені на кожному шпангоуті.

3.2.7.5 Балки фундаменту для кріплення опорних елементів двигунів і обладнання рекомендується виконувати у вигляді Т-подібного профілю (див. [3.1.8](#)).

У цьому випадку з'єднання балки з опорними елементами повинно виконуватися за допомогою болтів, які здійснюють кріплення цих елементів до вільного пояса балки з використанням «сприймаючих» металевих деталей Г-подібної форми, або заформованих металевих втулок (див. рис. 3.2.7-1).

3.2.7.6 Якщо балки фундаменту мають П-подібний профіль, то в «сердечник» вводиться пінопласт підвищеної густини ($180 \div 250 \text{ кг/м}^3$) і додаткова в'язь у вигляді вертикальної стінки, яка виготовляється з того матеріалу, що і обформовка балки.

З'єднання опорних елементів з балкою виконується із застосуванням металевих кріпильних елементів і деталей. Варіанти конструкції фундаменту з балкою П-подібного профілю показані на [рис. 3.2.7-2](#) ÷ [3.2.7-4](#).

3.2.7.7 Для кріплення головних двигунів, обладнання та різних механізмів до корпусних конструкцій допускається застосування інших варіантів конструктивного оформлення, які повинні бути технічно обгрунтовані та погоджені з Регістром.

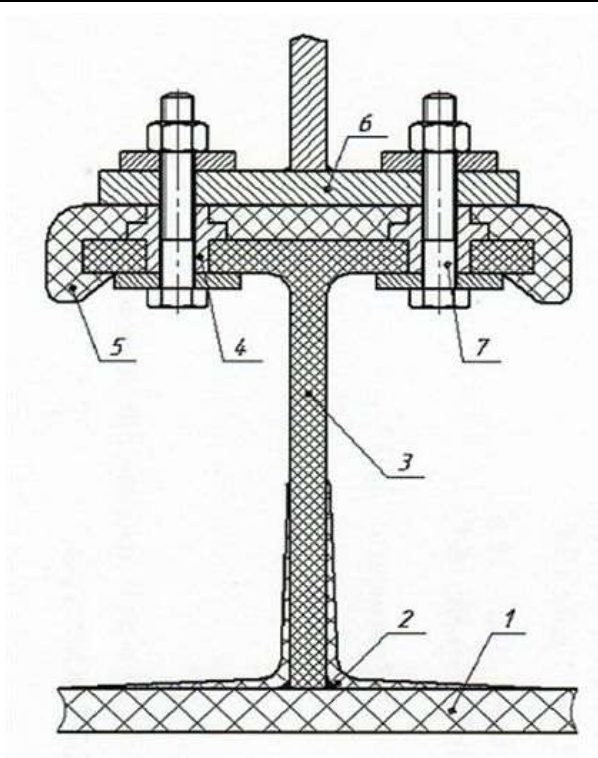


Рис. 3.2.7-1 Вузол з'єднання опорного елемента двигуна (обладнання) з фундаментною балкою Т-подібного профілю з заформованими втулками: 1 - обшивка; 2 - приформовочні косинці; 3 - балка фундаменту;
4 - заформована втулка; 5 - заформовка; 6 - опорний елемент; 7 – болт

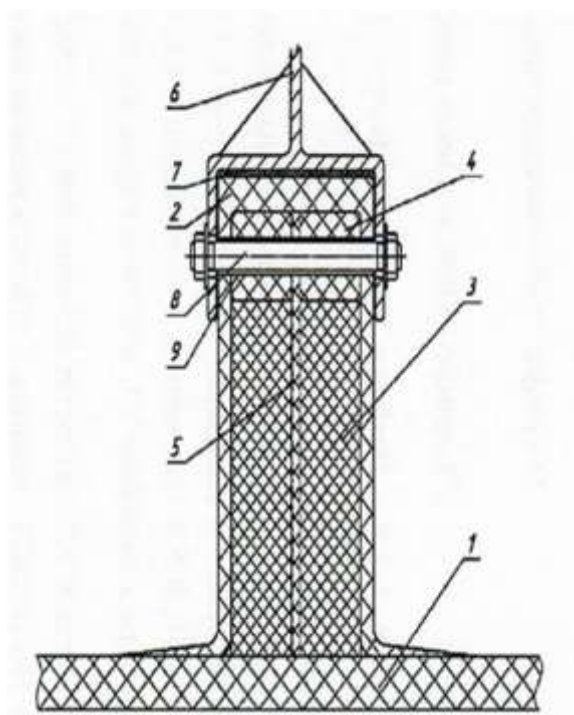


Рис. 3.2.7-2 Вузол з'єднання опорного елемента двигуна (обладнання) з балкою фундаменту П-подібного профілю з використанням болтів:

1 - обшивка; 2 - обформовка профілю; 3 - «сердечник»; 4 - пінопласт підвищеної густини;
5 - додаткова стінка; 6 - опорний елемент; 7 – адгезійна речовина; 8 - болт; 9 – втулка

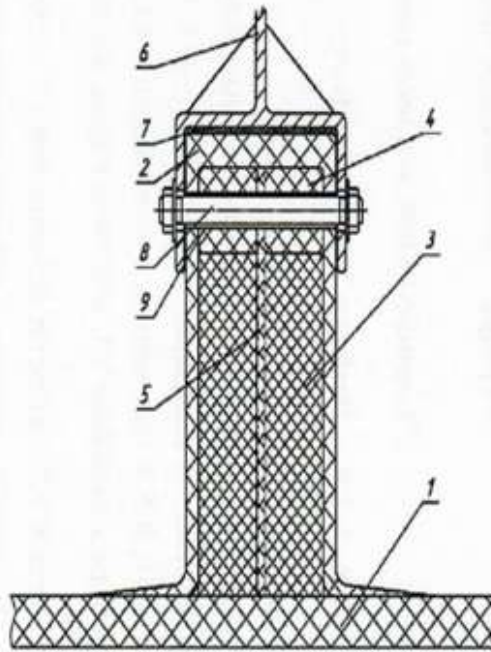


Рис. 3.2.7-3 Вузол з'єднання опорного елемента двигуна (обладнання) з балкою фундаменту П-подібного профілю з використанням шпильок і закладного металевго елемента: 1 - обшивка; 2 - обформовка профілю; 3 - «сердечник»; 4 - додаткова стінка; 5 - опорний елемент; 6 - адгезійна речовина; 7 - металевий закладений елемент; 8 - шпильки

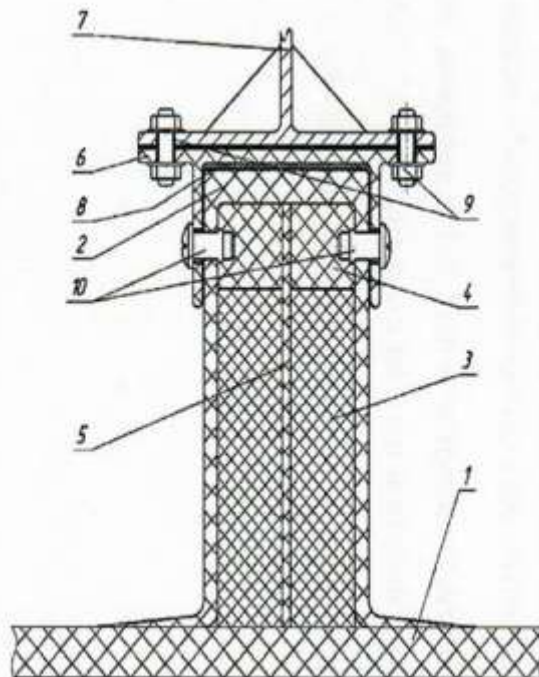


Рис. 3.2.7-4 Вузол з'єднання опорного елемента двигуна (обладнання) з фундаментною балкою П-подібного профілю з використанням П-подібного елемента з полицею, виконаного з ПКМ, болтів і гайок-заклепок:

1 - обшивка; 2 - обформовка профілю; 3 - «сердечник»; 4 - пінопласт підвищеної густини; 5 - додаткова стінка; 6 - П-подібний елемент з полицею; 7 - опорний елемент; 8 - адгезійна речовина; 9 - болти; 10 - гайки-заклепки

3.2.8 Цистерни.

3.2.8.1 У корпусах з ПКМ рекомендується встановлювати вкладні цистерни, які можуть бути виготовлені з ПКМ або алюмінієвих сплавів.

3.2.8.2 При недостатній місткості корпусу допускається установка вбудованих цистерн з ПКМ, стінки яких можуть мати одношарову або тришарову конструкцію, підкріплену при необхідності, набором. Конструкція, матеріал і структура армування обшивки цистерни визначається відповідно до її призначення та умов експлуатації.

3.2.8.3 Як матеріал обшивки і балок набору вбудованих цистерн допускається застосовувати ПКМ на основі ровінгової або біаксіальної тканини з армуванням ($0^\circ/90^\circ$). У випадку тришарової обшивки як заповнювач середнього шару допускається застосовувати пінопласт ПВХ або ППУ, або легкий мат.

3.2.8.4 Товщина обшивки цистерн визначається за графіками, наведеними на рис. [3.2.1-2](#) і [3.2.1-6](#), а розміри балок набору – згідно з [3.2.4.13](#).

3.2.8.5 Набір цистерн повинен бути виготовлений спільно з обшивкою за один технологічний процес і, по можливості, повинен бути встановлений із зовнішнього боку цистерн щоб уникнути його відриву від обшивки. Балки набору корпусу не повинні, по можливості, перетинати обшивку цистерни.

3.2.8.6 Внутрішня поверхня обшивки цистерн повинна мати 2 - 3 шари тканини з підвищеним вмістом зв'язуючого і покрита герметиком для запобігання протікання рідини, що зберігається в цистерні.

3.2.8.7 Конструкція горловин і кришок до них повинна забезпечувати водонепроникність і міцність цистерн протягом всього терміну експлуатації судна (див. [рис. 3.2.8-1](#) ÷ [3.2.8-3](#)).

Даним вимогам повинні відповідати вузли проходу арматури через стінки цистерн (див. [рис. 3.2.8-4](#)).

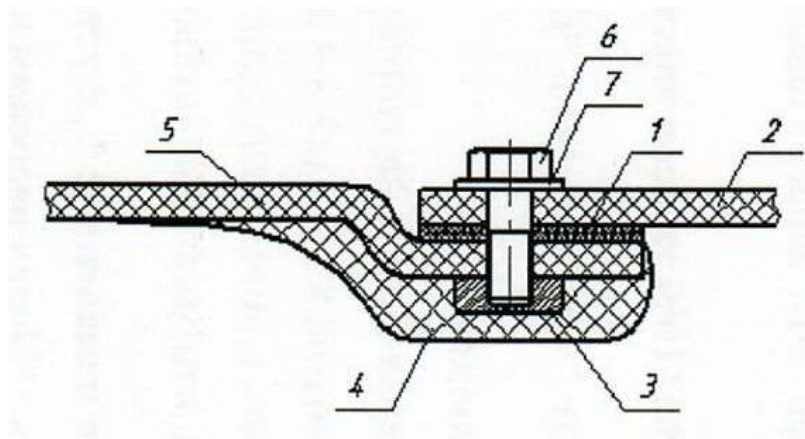


Рис. 3.2.8-1 Вузол горловини з кришкою, виконаною врівень з обшивкою цистерни:

1 - прокладка; 2 - кришка; 3 - закладна планка; 4 - обформовка;
5 - обшивка цистерни; 6 - гвинт; 7 – шайба

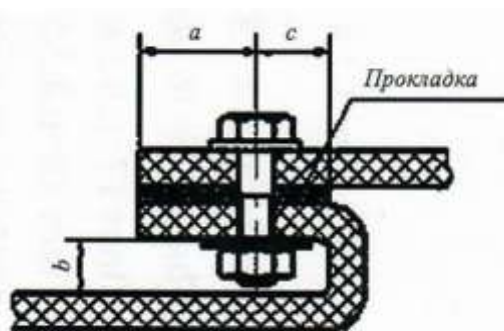


Рис. 3.2.8-2 Вузол горловини, виконаної з відбортовкою обшивки цистерни

$a \geq 3d$, $c \geq 3d$, де d - діаметр болта; $b = 30 - 40\text{мм}$

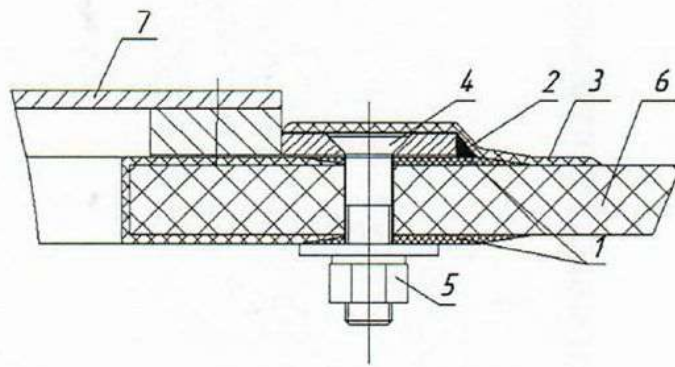


Рис. 3.2.8-3 Вузол горловини з встановленою металевою кришкою: 1 - обформовка торця отвору; 2 – адгезійна речовина; 3 - приформовка; 4 - гвинт; 5 - гайка; 6 - обшивка цистерни; 7 - металева кришка

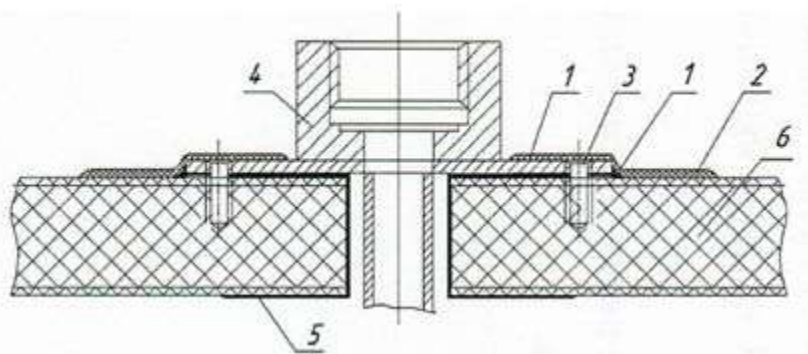


Рис. 3.2.8-4 Вузол установки штуцера трубопроводу в обшивку цистерни:

1 – адгезійна речовина; 2 - приформовка; 3 - гвинт; 4 - штуцер;
5 - обформовка торця отвору; 6 - обшивка цистерни

3.2.8.8 Паливні цистерни з ПКМ повинні мати заземлення для відведення електростатичного заряду або електроізолюючі покриття відповідно до вимог міжнародних або національних стандартів.

3.3 КОНСТРУКЦІЯ НАДБУДОВ І РУБОК

3.3.1 Загальні положення

3.3.1.1 Надбудови, які беруть участь в загальному вигині корпусу судна, відносяться до надбудов категорії I, які повинні бути розраховані на спільну дію навантажень від вигину корпусу і місцевих напружень, пов'язаних з ударами хвиль, хитавицею, вагою обладнання і т.д.

До надбудов категорії I відносяться надбудови, для яких одночасно виконуються такі умови: - поздовжні (бортові) стінки надбудови повинні бути суміщені з бортами корпусу або з його поздовжніми перегородками;

- надбудова повинна спиратися не менше ніж на 3 поперечні жорсткі в'язі корпусу (поперечні перегородки і рамні бімси);

- довжина надбудови повинна не менше ніж у 4 рази перевищувати її висоту.

3.3.1.2 Якщо зазначені умови не виконуються, надбудова не бере участі в загальному вигині корпусу, то вона відноситься до надбудов категорії II, які розраховуються тільки на дію місцевих навантажень так само, як і рубки.

3.3.1.3 Вимоги до конструкції міцних надбудов аналогічні вимогам до корпусу судна. У зв'язку з цим конструкції основних в'язей і вузлів корпусу (див. розд. [3.2](#)) допускається застосовувати для міцних надбудов.

Вимоги до конструкції надбудов, їх в'язей і вузлів указані в [3.3.2](#).

3.3.1.4 При конструюванні надбудов з ПКМ суден з металевими корпусами особлива увага повинна бути звернена на вузол з'єднання стінок і перегородок надбудови з корпусом, який повинен забезпечити міцне і надійне скріплення між корпусом і надбудовою при всіх заданих для судна режимах експлуатації.

Конструктивне оформлення цих вузлів і вимоги до них наведені в [3.3.2](#).

3.3.2 Стінки, палуби, перегородки і набір.

3.3.2.1 Для обшивки стінок, настилів палуб і полотнищ перегородок надбудов і рубок рекомендується застосовувати тришарову конструкцію з несучими шарами з ПКМ і заповнювачем в середньому шарі для забезпечення зменшення кількості балок набору, теплоізоляції внутрішніх приміщень і збільшення їх корисного об'єму через відсутність потреби в зашивці та ізоляції.

3.3.2.2 Для несучих шарів тришарових в'язей надбудов повинні бути застосовані ті ж армуючі матеріали, які дозволені для застосування в корпусах суден (див. [3.2.1.1](#) ÷ [3.2.1.2](#)).

Для міцних надбудов структура армування стінок повинна бути паралельно-діагональна ($0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$). Вона може бути реалізована кількома способами згідно з [3.2.1.1.3](#) і [3.2.1.1.4](#).

Для надбудов категорії II і рубок структура армування стінок допускається паралельна ($0^\circ/90^\circ$) на основі ровінгових і біаксіальних тканин, а також комбінованих продуктів.

Для перегородок допускається застосовувати як паралельну, так і паралельно-діагональну структуру армування залежно від характеру діючих в них напружень.

Для надбудов категорії II і рубок перегородки можуть бути виконані одношаровими з гладким або гофрованим полотнищем.

3.3.2.3 В якості заповнювача для надбудов категорії I допускається застосовувати пінопласти або інші матеріали, що відповідають вимогам [табл. 2.3.3.8](#) для конструкцій бортів. В якості середнього шару в тришарових конструкціях надбудов допускається застосовувати конструктивно-ортотропний заповнювач, що складається з пінопласту з мінімальною границею міцності при зсуві 0,2 МПа і мінімальною границею міцності при стисненні 0,3 МПа, армований гофрованим елементом (див. рис. [3.2.2-1](#)). У разі якщо замість гофрованого елемента застосовуються протизсувні перемички або аналогічні методи підвищення зсувної міцності, мінімальна границя міцності на зсув заповнювача також може бути зменшена (порівняно з наведеною в [табл. 2.3.3.8](#)) на підставі розрахунку.

Для надбудов категорії II та рубок допускається застосовувати пінопласти або інші матеріали, що відповідають вимогам [табл. 2.3.3.8](#) (див. стовпець «Всі інші елементи»).

3.3.2.4 Товщина несучих шарів стінок, палуб і перегородок надбудов повинна визначатися відповідно до [3.2.1.2.4](#) за графіками, наведеними на [рис. 3.2.1-6](#). При цьому мінімальна товщина несучих шарів бортових і кормових стінок міцних надбудов повинна становити не менше 0,8 від товщини несучих шарів обшивки борту, зазначеної на [рис. 3.2.1-7](#), а товщина несучих шарів носової стінки повинна бути не менше цієї товщини. У будь-якому випадку товщина несучих шарів стінок надбудов не повинна бути менше 1,8 мм.

3.3.2.5 Для суден з металевими корпусами товщина несучих шарів стінок міцних надбудов визначається згідно з [3.3.2.4](#). Якщо довжина судна L більше 70 м, то товщина несучих шарів бортових стінок надбудови не повинна бути менше 4 мм.

3.3.2.6 Товщина середнього шару тришарових стінок, а також даху надбудов та інших конструкцій може визначатися з врахуванням вимог до теплоізоляції внутрішніх приміщень при забезпеченні міцності та жорсткості конструкції.

3.3.2.7 Для зниження концентрації напружень в конструкції в районах закінчення міцної надбудови її бортові стінки повинні бути продовжені за торцеві стінки (передню і задню) і плавно зведені нанівець на довжині, що дорівнює висоті першого ярусу надбудови.

Нижній пояс бортових стінок надбудови в районі торцевих стінок повинен мати товщини шарів, що дорівнюють товщинам шарів носової стінки. Кінці бортових стінок повинні бути з'єднані з корпусом з використанням з'єднувальних накладок і приформовочних косинців, а кромки галтелей вільних кінців цих стінок повинні бути обформовані з утворенням потовщень.

Збільшення і зменшення товщини несучих шарів нижнього шару бортових стінок повинно виконуватися відповідно до [3.2.1.1.8](#).

3.3.2.8 Підкріплення стінок, палуб і перегородок надбудови слід виконувати із застосуванням балок П-подібного профілю, конструкція яких вказана на [рис. 3.2.4-1](#).

Матеріали і структури армування балок, а також їх розміри, вибираються згідно з вимогами [3.2.4.2](#) ÷ [3.2.4.7](#) і [3.2.4.13](#).

3.3.2.9 Поперечні в'язі (шпангоути, бімси, поперечні перегородки) надбудови категорії I повинні встановлюватися в одній площині, яка повинна збігатися з площиною установки шпангоутів в корпусі.

Поздовжні в'язі (стояки носової і кормової стінок, карлінгси, поздовжні перегородки) рекомендується розташовувати в одній площині, в якій знаходяться карлінгси верхньої палуби корпусу судна.

3.3.2.10 У місцях проходу бімса (карлінгса) через поздовжню (поперечну) перегородку вона повинна бути підкріплена стояком, який допускається зрізати «на вус» (див. [рис. 3.2.4-13](#)).

3.3.2.11 Вузли з'єднання стояків з бімсами і карлінгсами, а також вузли перетину балок набору повинні виконуватися з урахуванням вимог [3.2.4.16](#) ÷ [3.2.4.18](#) і [3.2.4.21](#) ÷ [3.2.4.23](#).

3.3.2.12 Перекриття палуб для підвищення жорсткості в місцях установки обладнання повинні підкріплюватися пілерсами. Трубчасті пілерси виготовляються з алюмінієвих сплавів (типу АМг) або ПКМ, який застосовується для виготовлення обформовок балок набору.

Пілерси встановлюються на балки набору, переважно в місцях їх перетинів і закріплюються за допомогою металевих опорних елементів і болтів або з використанням приформовочних косинців (див. [рис. 3.3.2-1](#) і [рис. 3.3.2-2](#)).

У балках П-подібного профілю в місцях, де встановлюється пілерс, пінопластовий «сердечник» повинен бути замінений на пінопласт підвищеної міцності (див. [табл. 2.3.3.8](#)), або повинен бути виконаний з клеєного бруса твердих порід деревини (дуб, береза тощо).

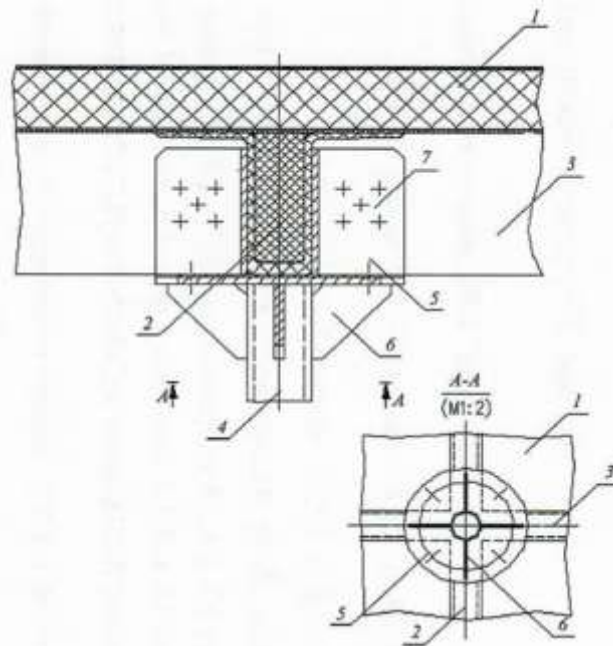


Рис. 3.3.2-1 Вузол кріплення верхнього кінця пілерсів з алюмінієвого сплаву в місці перетину бімса і карлінгса палуби надбудови:

1 - палуба; 2 - карлінгс; 3 - бімс; 4 - пілерс; 5 - металева обойма; 6 - книця; 7 – болти

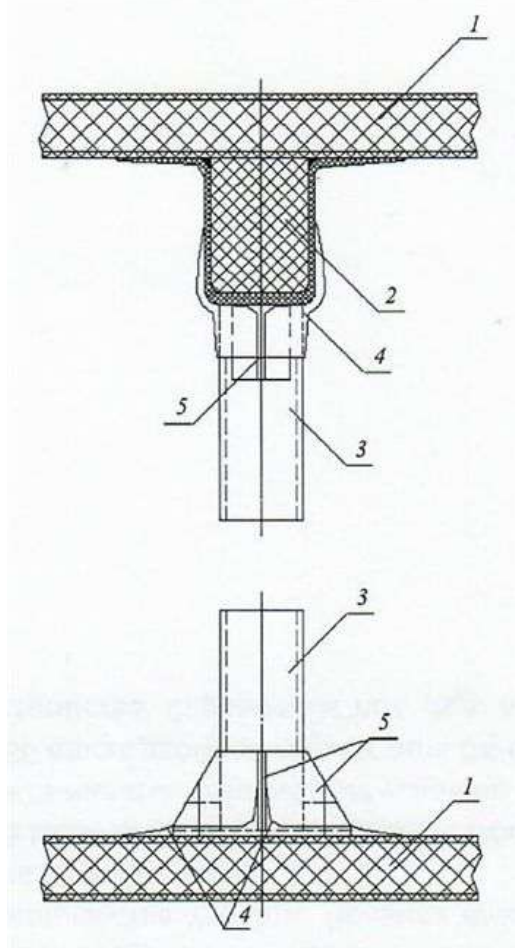


Рис. 3.3.2-2 Вузол кріплення верхнього і нижнього кінців пілєрса з ПКМ до палуби надбудови:

1 - палуба; 2 - балка набору; 3 - пілєрс; 4 - приформовка; 5 – книця

3.3.3 З'єднання в'язей надбудови з металевим корпусом.

3.3.3.1 З'єднання стінок і перегородок надбудови з ПКМ з металевим корпусом повинно забезпечувати міцне і надійне з'єднання між корпусом і надбудовою, а також герметичність її внутрішніх приміщень при всіх заданих для судна режимах експлуатації (див. [3.3.1.4](#)).

3.3.3.2 Для з'єднання стінок надбудови повинні застосовуватися клеєболтові з'єднання, які складаються з металевого комінгса, товщина якого повинна дорівнювати товщині обшивки борту корпусу, металевій накладній планки і болтів, розташованих в два ряди в шаховому порядку (див. [рис. 3.3.3-1](#)).

Накладна планка повинна мати товщину не менше 3мм, а діаметр болтів d повинен бути не менше М12. При цьому розташування болтів визначається з наступних співвідношень:

$$w \geq 2,5d;$$

$$w_1 \geq 3,5d;$$

$$c \geq 3d.$$

Крок болтів в ряду приймається $t_d \geq 3d$ (див. [рис. 3.3.3-1](#)).

Металевий комінгс, планка і книця повинні бути виготовлені з металу, з якого виконаний корпус.

3.3.3.3 З'єднання поздовжніх і поперечних перегородок з корпусом допускається виконувати з допомогою однорядного клеєболтового з'єднання, яке складається також з металевого комінгса, металевій накладній планки і болтів (див. [рис. 3.3.3-2](#)), або з двох металевих комінгсів, між якими розташовується перегородка, затиснута між ними болтами (див. [рис. 3.3.3-3](#)).

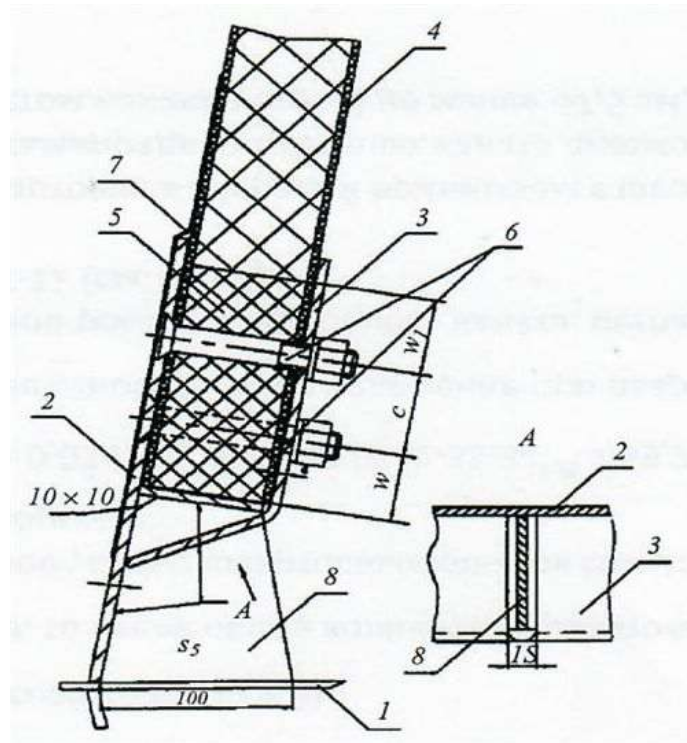


Рис. 3.3.3-1 Вузол клеєболтового з'єднання панелей бортових стінок надбудови з металевим корпусом: 1 - палуба корпусу; 2 - комінгс; 3 - накладна планка; 4 - панель бортової стінки; 5 - пінопласт підвищеної густини; 6 - болти; 7 - обформовка; 8 – книця

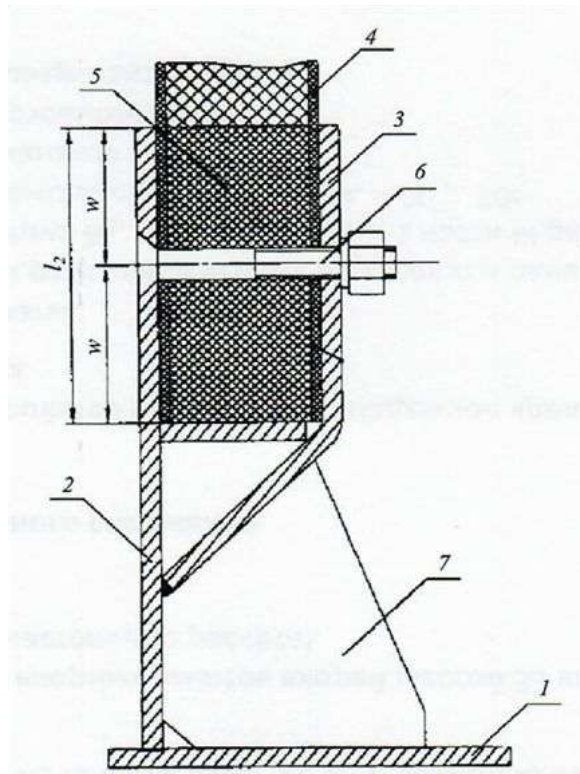


Рис. 3.3.3-2 Вузол клеєболтового з'єднання перегородки з металевим корпусом (з одним металевим комінгсом):

1 - палуба корпусу; 2 - комінгс; 3 - накладна планка; 4 - перегородка;
5 - пінопласт підвищеної густини; 6 - болт; 7 – книця

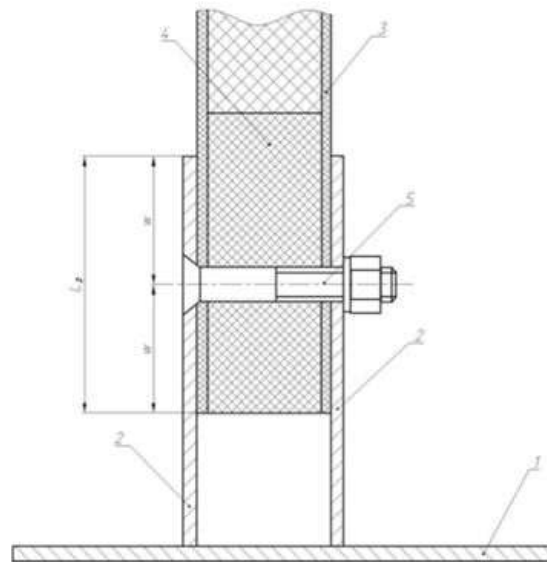


Рис. 3.3.3-3 Вузол клеєболтового з'єднання перегородки з металевим корпусом (з двома металевими комінгсами): 1 - палуба корпусу; 2 - комінгси; 3 - перегородка; 4 - пінопласт підвищеної густини; 5 - болт

Товщина комінгса і планки у першому випадку з'єднання не повинна бути менше 3 мм, а діаметр болтів - менше М10. При цьому параметри з'єднання приймаються наступними:

$$w \geq 4d;$$

$$l_2 \geq 2w.$$

У другому випадку з'єднання товщина комінгсів повинна бути не менше 2 мм.

3.3.3.4 У цих типах з'єднань в частині тришарових панелей в'язей, розташованих між металевими елементами, середній шар повинен бути виконаний з пінопласту підвищеної міцності (див. [табл. 2.3.3.8](#)). Металеві елементи (комінгси, планки) встановлюються на несучі шари тришарових панелей з застосуванням адгезійної речовини і після свердлення стягуються болтами, а потім приварюються до корпусу.

3.3.3.5 У вузлі з'єднання стінок надбудови з корпусом вільний простір між комінгсом і накладною планкою повинен бути заповнений герметиком, а зовнішня поверхня панелей стінок в місці розташування комінгса і сам комінгс повинні бути заформовані 2 ÷ 3 шарами армуючого матеріалу (див. [рис. 3.3.3-2](#)).

4 КОРПУСИ ШЛЮПОК І КАТЕРІВ

4.1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

4.1.1 Ці вимоги поширюються на рятувальні та чергові шлюпки з ПКМ (див. [1.1.1.3](#)) довжиною $4,5\text{м} \div 15\text{м}$ з числом Фруда $Fr_v < 2,5$.

4.1.2 Якщо в цьому розділі вимоги до розмірів в'язей і вузлів, їх конструкцій, а також застосованих в них матеріалів не регламентовані, то вони визначаються згідно з вимогами розд. [2](#) і [3](#).

4.2 СИСТЕМИ НАБОРУ І ЗОВНІШНЯ ОБШИВКА

4.2.1 Для корпусів шлюпок довжиною до 10м і катерів довжиною до 6м допускається застосування поперечної системи набору з установкою вертикального кіля (див. [рис. 3.1.3 а](#)) або кільової балки.

Для корпусів шлюпок і катерів більшої довжини, але не більше 15м, система набору повинна бути змішана, поздовжня з розташуванням балок набору по днищу і шпангоутами по бортах (див. [рис. 3.1.3 б](#)) або з установкою рамних поперечних балок (див. [рис. 3.1.3 г](#)) і [4.1](#)).

У корпусах катерів роль поздовжнього набору можуть виконувати поздовжні редани (зіги).

4.2.2 Зовнішню обшивку корпусів шлюпок і катерів допускається виконувати одношаровою або тришаровою.

У випадку тришарової обшивки корпуси довжиною до 8м допускається виконувати без набору.

4.2.3 Як матеріали для одношарової обшивки корпусу і несучих шарів тришарової обшивки повинні застосовуватися ПКМ на основі ровінгових і мультиаксіальних тканин, поліефірних і вінілефірних зв'язуючих.

Для корпусів довжиною до 8м допускається застосовувати комбіновані продукти або мат. В останньому випадку зовнішня поверхня обшивки повинна мати 2 - 3 шари ровінгової тканини.

4.2.4 В якості заповнювача середнього шару в тришаровій обшивці допускається застосовувати пінопласт, легковагові мати або інші матеріали, що відповідають вимогам [табл. 2.3.3.8](#) і [3.2.1.2.3](#), які при необхідності підвищення їх міцності на зсув і стискання можуть бути додатково армовані шарами тканини.

4.2.5 Схема армування одношарової обшивки і несучих шарів тришарової обшивки, виконаних з застосуванням ровінгових і біаксіальних тканин, повинна бути ($0^\circ/90^\circ$) з орієнтацією напрямку 0° (основи) уздовж твірної обшивки або уздовж її направляючої. В останньому випадку в тканинах з армуванням ($0^\circ/90^\circ$) розривне навантаження в напрямку 90° (утоку) повинно бути не нижче навантаження в напрямку 0° (основи).

4.2.6 Вимоги до розташування стиків (пазів) і перекривання шарів армуючого матеріалу при формуванні обшивки корпусу відповідають вимогам, зазначеним в [3.2.1.1.6](#).

Збільшення (зменшення) товщини обшивки (несучих шарів) повинно виконуватися згідно з вимогами [3.2.1.1.8](#).

4.2.7 Товщина зовнішньої обшивки одношарової конструкції визначається за графіками, наведеними в [3.2.1.1.7](#). При цьому мінімальна товщина повинна бути 3,5мм.

Товщина несучих шарів тришарової обшивки визначається за графіками, наведеними в [3.2.1.2.4](#). Мінімальна товщина зовнішнього несучого шару повинна бути 2,5мм, а товщина внутрішнього шару - 2мм.

4.2.8 Мінімальна товщина зашивки повітряних ящиків приймається рівною 2мм. У випадку коли вони одночасно є сидіннями, товщина зашивки збільшується на 1мм (див. [рис. 4.2](#)).

4.2.9 Для підвищення стійкості до впливу морської води і закінчування оброблення корпусу зовнішня поверхня повинна мати 2 ÷ 3 шари сітки, яка забезпечує підвищений вміст зв'язуючого, і бути покрита гелкоутом.

4.2.10 З'єднання обшивки борту з палубою або планширом виконується на болтах або на приформовочних косинцях відповідно до [3.2.6.3](#).

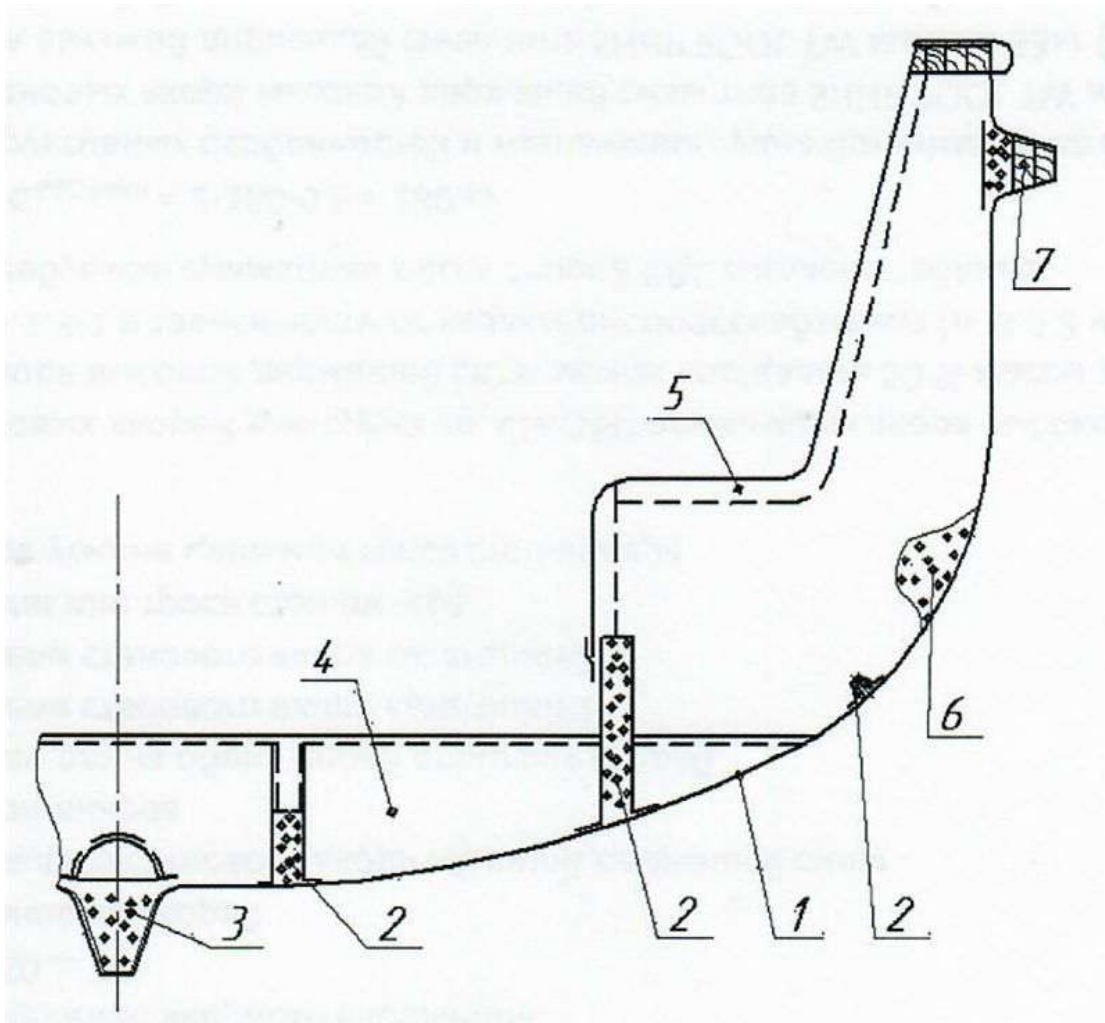


Рис. 4.2 Поперечний переріз (мідель-шпангоут) корпусу шлюпки:

1 - обшивка; 2 - стрингери; 3 - кільова балка; 4 - флор; 5 - зашивка повітряних ящиків;
6 - заповнювач повітряних ящиків (пінопласт); 7 - привальний брус

4.3 БАЛКИ НАБОРУ

4.3.1 Балки набору, що мають П-подібний (трапецієподібний) профіль, можуть виконуватися порожнистими або з заповнювачем («серцевиною»). При використанні для серцевини пінопласту з міцністю, еквівалентною міцності пінопласту для підкріпленої балкою ділянки обшивки судна (див. [3.2.4.4](#)), вимоги [3.2.4.7.2](#) до співвідношення розмірів елементів балки можуть не застосовуватися. Мінімальна товщина стінки і вільного пояса при цьому в будь-якому випадку не повинна бути менше 3 мм. Якщо балки набору виконують роль балок фундаменту для кріплення двигунів і обладнання, то вони можуть мати Т-подібний або Г-подібний профіль (див. [3.1.7](#) і [3.1.8](#)).

У корпусах шлюпок довжиною до 8 м роль набору можуть виконувати повітряні ящики.

4.3.2 Вибір матеріалів для виготовлення балок, схем армування їх елементів, визначення розмірів і оформлення вузлів їх з'єднання з обшивкою і іншими в'язями корпусу виконується згідно з вимогами [3.2.4](#).

4.3.3 Шпація повинна визначатися з умови забезпечення міцності з урахуванням необхідності зниження кількості балок набору і вузлів їх перетинів.

Мінімальна величина шпації повинна складати 400мм для одношарової обшивки і 800мм для тришарової обшивки.

4.4 КРІПЛЕННЯ ПІДЙІМАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.4.1 Кріплення корпусу шлюпки до деталей підйомального пристрою повинно забезпечувати можливість спуску завантаженої шлюпки з урахуванням виникнення динамічних зусиль, що

виникають внаслідок нерівномірної роботи підіймально-спускового пристрою, хитавиці судна, впливу хвиль і т.д.

4.4.2 Конструкція кріплення повинна забезпечувати передачу навантаження на посилені силові в'язі корпусу (кільова балка, рамні шпангоути, форштевень, транець). При цьому конструкція кріплення повинна переважно працювати на зсув і не повинна приводити до відриву в'язей корпусу від обшивки.

4.4.3 Металеві деталі підіймального пристрою кріпляться до корпусу за допомогою клеєболтових з'єднань. При цьому в місцях їх установки в'язі додатково посилюються за допомогою накладок і приформовочних косинців.

5 МІЦНІСТЬ КОРПУСУ ТА НАДБУДОВИ СУДНА

5.1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

5.1.1 Розрахунки міцності корпусних конструкцій суден з ПКМ носять перевірочний характер для остаточно встановлених значень зовнішніх навантажень, матеріалів і розмірів елементів і в'язей цих конструкцій, а також повинні підтвердити наявність необхідних запасів міцності і стійкості. Такі розрахунки повинні виконуватися в наступному обсязі:

- .1** визначення величин і характеру зовнішніх навантажень, що діють на корпус, а також їх розрахункових значень;
- .2** встановлення норм небезпечних (див. [5.3](#)) і допустимих напружень та деформацій, і також визначення необхідних запасів міцності і стійкості для в'язей і конструкцій корпусу;
- .3** визначення напружень у в'язях корпусу і їх деформації;
- .4** проведення перевірки виконання умов міцності, жорсткості і стійкості в'язей.

5.1.2 Розрахунки міцності повинні проводитися для найбільш несприятливих умов експлуатації судна, при яких у в'язях корпусу виникає найбільш високий рівень напруженості.

5.1.3 При виборі елементів еквівалентного бруса корпусу слід виконувати розрахунки в наступному порядку:

- визначення величини розрахункового згинального моменту i , виходячи з неї, визначення моменту опору еквівалентного бруса;
- після вибору перерізу поздовжніх в'язей, що входять до складу еквівалентного бруса, визначення в першому наближенні величини напружень, що виникають в них у результаті дії згинального моменту;
- визначення редуційних коефіцієнтів пластин і моменту опору еквівалентного бруса в другому наближенні;
- визначення величини напружень у в'язях корпусу від дії згинального моменту по моменту опору еквівалентного бруса в другому наближенні, а також перевірка виконання умов міцності для напружень, що діють в цих в'язях.

Якщо зазначені умови не виконуються, то проводиться коригування перерізів поздовжніх в'язей еквівалентного бруса, і потім розрахунок проводиться повторно.

5.1.4 При розрахунках міцності та стійкості в'язей корпусу і його окремих конструкцій з ПКМ необхідно враховувати наступне:

- відмінність у властивостях складових елементів цих в'язей, обумовлену використанням в них різних матеріалів, їх різними схемами армування, а також різним впливом умов експлуатації;
- деформації зсуву, як в площині армування, наприклад, в перегородках, стінах набору і т.д., так і міжшарові, особливо у в'язях, що мають тришарову (багатошарову) структуру;
- напруження відриву, що діють в поперечному напрямку в стикових, і особливо в кутових формованих з'єднаннях в'язей корпусу.

5.2 РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ

5.2.1 Визначення величин розрахункових навантажень, що діють на корпус і його окремі конструкції, проводиться незалежно від матеріалу корпусу згідно з правилами Регістра, згідно з якими був схвалений проєкт судна, з урахуванням класу судна і умов його експлуатації.

5.2.2 При призначенні розрахункових навантажень і нормуванні міцності і жорсткості корпусних конструкцій необхідно враховувати характер і тривалість цих навантажень з урахуванням фізичних особливостей ПКМ і роботи виконаних з них конструкцій в умовах впливу заданих умов експлуатації.

5.2.3 Відповідно до даного підходу зовнішні навантаження поділяються на:

- постійні, величина і напрямок дії яких не змінюються або слабо змінюються з часом;
- змінні, у яких змінюється величина і/або напрямок.

У свою чергу постійні навантаження поділяються на короткочасні і тривалі, час дії яких спів ставний

з тривалістю одного рейсу судна.

Змінні навантаження поділяються на:

- статичні змінні, повний час зміни яких, визначений періодом збільшення і зменшення, в три і більше разів перевищує період першого тону вільних коливань конструкції;
- статичні змінні, циклічні, при яких навантаження змінюється багаторазово по періодичному закону;
- динамічні, час зміни яких співставний або менше періоду першого тону вільних коливань.

5.3 НОРМИ НЕБЕЗПЕЧНИХ І ДОПУСТИМИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ

5.3.1 Небезпечним станом конструкції при оцінці її міцності вважається такий стан, при якому розрахункові деформації або/і напруження у в'язях конструкції, в їх елементах, а також шарах, якщо конструкція є тришаровою (багатошаровою), досягають небезпечних величин, і стає можливим поява пошкодження, його подальший розвиток і руйнування конструкції, або часткове або повне припинення відповідності характеристик цієї конструкції експлуатаційним вимогам.

5.3.2 Як небезпечні напруження приймаються границі міцності ПКМ (при розтягуванні, стисканні, міжшаровому зсуві і т.д.), величина яких зменшена відповідно до очікуваного впливу експлуатаційних факторів (зволоження, нагріву, сонячної радіації і т.д.) протягом всього терміну служби судна, а також технології виготовлення.

Для в'язей, які можуть втратити стійкість, за небезпечні напруження приймають критичні Ейлерові напруження. Ці напруження визначаються з урахуванням анізотропії пружних характеристик, розрахункова величина яких також знижується порівняно з їх вихідними значеннями, виходячи з можливого впливу зазначених вище факторів (див. [5.3.5](#)).

5.3.3 При призначенні небезпечних напружень і розрахункових значень пружних характеристик беруться до уваги найбільш несприятливі умови, які можуть виникнути в процесі експлуатації судна протягом його терміну служби.

5.3.4 Небезпечні напруження для в'язей, що не втрачають стійкість і знаходяться під дією статичних і статичних змінних навантажень, визначаються з наступних співвідношень:

$$\sigma_{ij}'' = k\sigma_{ij(\pm)},$$

де: σ_{ij}'' - небезпечні напруження;

$\sigma_{ij(\pm)}$ - вихідні границі міцності матеріалу при розтягуванні (+), стисненні (-), а також при зсуві ($i, j = 1, 2, 3$).

Значення коефіцієнта k для різних в'язей корпусу, що враховує зміну міцнісних властивостей ПКМ в результаті впливу вологи, нагрівання, старіння і технології виготовлення, наведені в табл. 5.3.4.

5.3.5 Розрахункові значення пружних характеристик визначаються з наступних співвідношень:

$$E_{pi} = nE_i, G_{pij} = nG_{ij},$$

де: E_{pi}, G_{pij} - розрахункові модулі нормальної пружності і зсуву відповідно;

E_i, G_{ij} - розрахункові модулі нормальної пружності і зсуву матеріалу в початковому стані ($i, j = 1, 2, 3$).

Значення коефіцієнта n наведені в [табл. 5.3.4](#). **5.3.6** Наведені в [табл. 5.3.4](#) значення коефіцієнтів k і n відносяться до одношарових і несучих шарів тришарових конструкцій, а також до балок набору, виконаним з ПКМ з застосуванням технологій закритого формування. Для заповнювача тришарових конструкцій і балок П-подібного профілю значення коефіцієнтів k і n повинні бути зменшені на 0,05.

У разі застосування для виготовлення корпусних конструкцій і їх окремих елементів методу контактного формування коефіцієнт k повинен бути зменшений на 0,1, а коефіцієнт n - на 0,05.

Таблиця 5.3.4 Значення коефіцієнтів k і n при визначенні небезпечних напружень і розрахункових значень пружних характеристик

В'язь корпусу	k	n
Настил верхньої палуби (у відкритій частині) Палубний стрингер	0,55	0,80
Палубний набор	0,70	0,90
Проміжні палуби, платформи	0,70	0,90

В'язь корпусу	<i>k</i>	<i>n</i>
Поперечні водонепроникні перегородки	0,70	0,90
Стояки перегородок	0,70	0,90
Обшивка борту вище ватерлінії Ширстрек	0,65	0,85
Обшивка борти нижче ватерлінії Обшивка днища Горизонтальний кіль	0,60	0,80
Бортовий і днищовий набір	0,65	0,85

5.3.6 Наведені в [табл. 5.3.4](#) значення коефіцієнтів *k* і *n* відносяться до одношарових і несучих шарів тришарових конструкцій, а також до балок набору, виконаним з ПКМ з застосуванням технологій закритого формування. Для заповнювача тришарових конструкцій і балок П-подібного профілю значення коефіцієнтів *k* і *n* повинні бути зменшені на 0,05.

У разі застосування для виготовлення корпусних конструкцій і їх окремих елементів методу контактного формування коефіцієнт *k* повинен бути зменшений на 0,1, а коефіцієнт *n* - на 0,05.

5.3.7 Величини допустимих напружень призначаються як деяка частина небезпечних напружень, величина якої визначається виходячи з необхідних запасів міцності:

- для нормальних напружень $\sigma_{ii} = k_n \sigma_{ii}^u$ ($i = 1, 2$);
- для дотичних напружень $\sigma_{ij} = k_c \sigma_{ij}^u$ ($i, j = 1, 2, 3, i \neq j$).

Величини коефіцієнтів k_n, k_c залежно від характеру діючих на корпус зовнішніх навантажень наведені в [табл. 5.3.7](#).

5.3.8 Нормування деформацій проводиться виходячи з умови, що обмежує роботу в'язі в лінійній області, а також виходячи з вимог до її жорсткості, обумовлених надійністю роботи суднового обладнання і систем.

При обчисленні деформацій в'язей вони вводяться в розрахунок зі своїми розрахунковими пружними характеристиками, визначеними відповідно до [5.3.5](#). При цьому повинна враховуватися складова, пов'язана з поперечним зсувом (див. [5.1.4](#)).

5.3.9 Допустимі прогини в'язей корпусних конструкцій визначаються за формулою

$$[w] = k_w^{-1} l_p,$$

де l_p - розрахунковий прогін балки (найменша сторона опорного контуру пластини, довжина корпусу судна між перпендикулярами).

Значення коефіцієнта k_w приймаються рівними:

- для пластин обшивки корпусу (настилів палуб) - $k_w = 80$;
- для поздовжніх балок набору (стрингерів, карлінгсів) - $k_w = 100$;
- для поперечних балок (флорів, шпангоутів, бімсів) - $k_w = 80$;
- для корпусу судна в цілому - $k_w = 300$.

Для в'язей конструкцій корпусу, що піддаються дії аварійних навантажень, встановлені такі норми прогинів:

- для пластин обшивки корпусу (полотнищ перегородок) $k_w = 50$;
- для балок набору, в тому числі стояків перегородок $k_w = 80$;
- для корпусу судна в цілому $k_w = 250$.

5.3.10 При розрахунках в'язей конструкції на стійкість запас призначається відносно критичних Ейлерових зусиль або напружень. При цьому у всіх випадках запас стійкості повинен бути не менше 1,5.

Рекомендації по призначенню запасів стійкості для окремих в'язей наведені нижче.

Таблиця 5.3.7 Значення коефіцієнтів k_n і k_c при визначенні допустимих напружень

Зовнішні навантаження	k_n	k_c
Тривалі, статичні змінні навантаження	0,6	0,5
Випадкові, аварійні навантаження	0,8	0,7
Навантаження від ваги обладнання	0,6	0,6

5.4 ПОЗДОВЖНЯ МІЦНІСТЬ КОРПУСУ

5.4.1 Розрахунок поздовжньої міцності корпусу повинен включати перевірку:

- по допустимим нормальним і дотичним напруженням;
- по допустимим прогинам поздовжніх в'язей і корпусу в цілому;
- по забезпеченню необхідних запасів стійкості поздовжніх в'язей.

5.4.2 Розрахункові згинальні моменти і перерізуючі сили, що викликають прогин і перегин корпусу судна, визначаються для заданих умов експлуатації та при найбільш несприятливих випадках завантаження судна.

Розрахункові згинальні моменти і перерізуючі сили визначаються як сума складової від вигину корпусу на тихій воді M_{sw} , N_{sw} і хвильової складової M_w , N_w :

$$M_T = M_{sw} + M_w;$$

$$N_T = N_{sw} + N_w.$$

Для високошвидкісних суден додатково до даних розрахункових значень визначається динамічна складова M_d , N_d , обумовлена виникненням гідродинамічного тиску при ударах хвиль.

Величини M_{sw} , M_w , N_{sw} , N_w , а також M_d і N_d , визначаються відповідно до частини II «Корпус» цих Правил та частиною II «Конструкція і міцність корпусу» Правил класифікації та побудови високошвидкісних суден.

5.4.3 Перевірка поздовжньої міцності корпусу повинна бути проведена для поперечних перерізів, що піддаються впливу найбільш несприятливих факторів, таких як максимально допустимі навантаження, розташування в районах різкої зміни жорсткості, в т.ч. в місцях розташування великих вирізів і т.п.

Розрахунки поздовжньої міцності виконуються для міделя і перерізів, в яких діють максимальні перерізуючі сили, а також в районах розташування вирізів у верхній розрахунковій палубі, ширина яких становить $B_o \geq 0,2B$, де B - ширина палуби в перерізі, що розглядається, а також в перерізі, де закінчується напівбак/бак.

5.4.4 При визначенні характеристик еквівалентного бруса для в'язей корпусу повинні розраховуватися редуційні коефіцієнти, що враховують різницю в розрахункових пружних характеристиках (див. [5.1.4](#)), а також конструктивні особливості цих в'язей.

Для n -ої в'язі величина редуційного коефіцієнта визначається за такою формулою:

$$\Psi_n = (E_{1p})_n / (E_{1p})_0,$$

де: $(E_{1p})_n$ - модуль нормальної пружності n -ої в'язі вздовж корпусу (напрямок осі 1);

$(E_{1p})_0$ - модуль нормальної пружності n -ої в'язі вздовж корпусу, прийнятої за основну, відносно якої виконується приведення геометричних параметрів n -ої в'язі, наприклад модуль нормальної пружності днищової обшивки.

5.4.5 Поздовжні балки (стрінгери, карлінгси і безперервні поздовжні комінгси) зараховуються при визначенні еквівалентного бруса за наступних умов:

- довжина балки перевищує висоту борту на міделі;
- кінці балки віддалені від поперечного перерізу корпусу, що розраховується, на величину не менше ніж дві шпациї.

5.4.6 При визначенні елементів еквівалентного бруса площа поперечного перерізу палуби в перерізі, де розташований виріз, ширина якого становить $B_o \geq 0,2B$ (див. [5.4.3](#)), повинна бути зменшена на величину площі поперечного перерізу палуби в вирізі. При цьому вирізи, розташовані в одному перерізі на відстані один від одного, виміряній між їхніми крайками, меншій 1,5 ширини найменшого з вирізів, вважаються як один виріз шириною, яка дорівнює сумі ширин всіх вирізів, які знаходяться в

перерізі.

У цьому випадку середні величини розрахункових напружень в палубі в районі вирізу визначаються за формулою:

$$(\sigma_{11})_{deck} = \frac{M}{10(W_0)_{deck}} \Psi_{deck}$$

де: M - величина згинального моменту, що діє в розрахунковому перерізі, кНм;

$(W_0)_{deck}$ - момент опору палуби, обчислений з урахуванням наявності вирізу, см²м;

Ψ_{deck} - редуційний коефіцієнт палуби, який визначається відповідно до [5.4.4.](#)

Якщо палуба (або інша в'язь) має тришарову конструкцію з несучими шарами товщиною δ_i ($i = 1, 2$) і заповнювачем товщиною $2h$, то її редуційний коефіцієнт Ψ_{deck} визначається за формулою:

$$\Psi_{deck} = (\Psi_{II} + \gamma \Psi_{core}) / (1 + \gamma),$$

де: $\gamma = 2h / (\delta_1 + \delta_2)$;

Ψ_{II} , Ψ_{core} - редуційні коефіцієнти, які визначаються згідно з [5.4.4.](#) для несучих шарів і заповнювача відповідно.

5.4.7 При визначенні елементів еквівалентного бруса в палубі, в якій розташований виріз шириною більше $0,2B$, з площі її поперечного перерізу виключається частина палуби поза вирізом (див. [рис. 5.4-1](#)).

5.4.8 У випадку якщо виріз підкріплений шляхом збільшення товщини настилу (несучих шарів) або шляхом установки комінгса відповідно до [3.2.5.](#) то площу поперечного перерізу палуби, що залишилася, (див. [5.4.6](#)) слід збільшити на площу поперечного перерізу в'язей, що підкріплюють виріз.

5.4.9 Якщо ширина вирізу в перерізі палуби, що розглядається, $B_o < 0,2B$, то наявність вирізу допускається не враховувати при визначенні елементів еквівалентного бруса.

При цьому середня величина розрахункових напружень в палубі в районі вирізу визначається за формулою:

$$(\sigma_{11})_{deck} = \frac{M}{10W_{deck}} \frac{F_{deck}}{(F_0)_{deck}} \Psi_{deck}$$

де: W_{deck} - момент опору палуби в перерізі, що розглядається, який визначається без врахування наявності вирізу, см²м;

F_{deck} - площа поперечного перерізу палуби, яка визначається без врахування наявності вирізу, см²;

$(F_0)_{deck}$ - площа поперечного перерізу палуби, яка визначається з урахуванням наявності вирізу, см².

5.4.10 Надбудова враховується при визначенні елементів еквівалентного бруса, якщо її довжина перевищує в 4 рази і більше її висоту і/або вона спирається, як мінімум, на три поперечні перегородки. При цьому в районах закінчень надбудови її поздовжні в'язі повинні визначатися відповідно до [рис. 5.4-2](#).

Рубки не повинні враховуватися при визначенні елементів еквівалентного бруса.

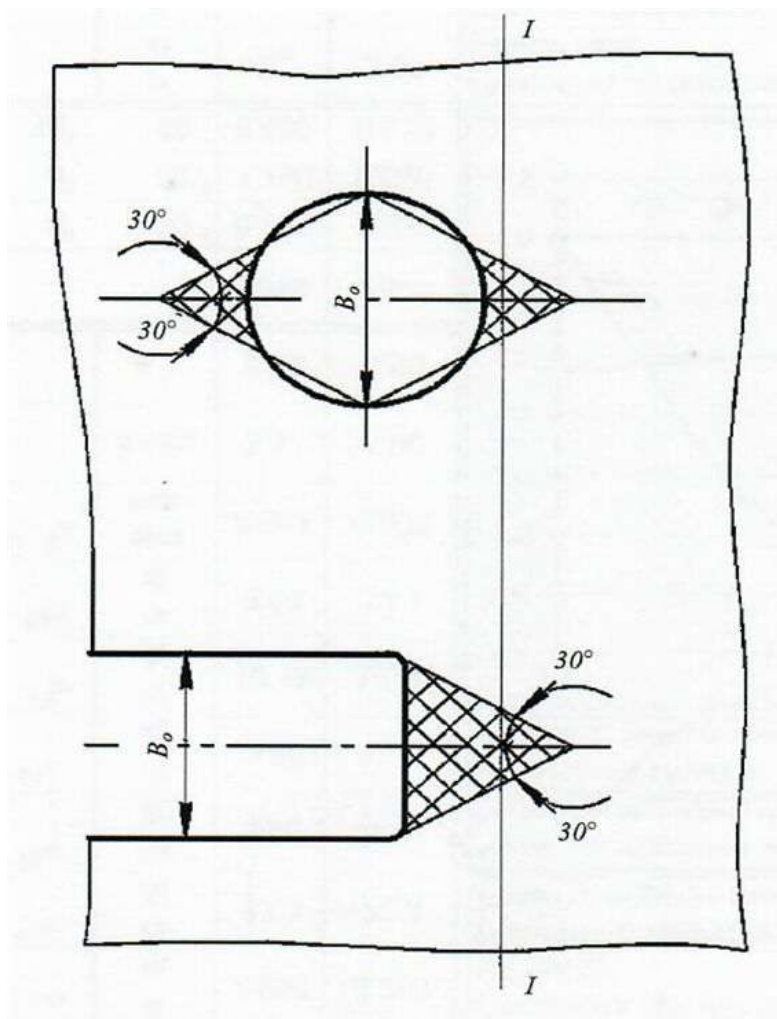


Рис. 5.4-1 Ділянки палуби (заштриховані), які виключаються з розрахункового поперечного перерізу ($I - I$) при визначенні елементів еквівалентного бруса

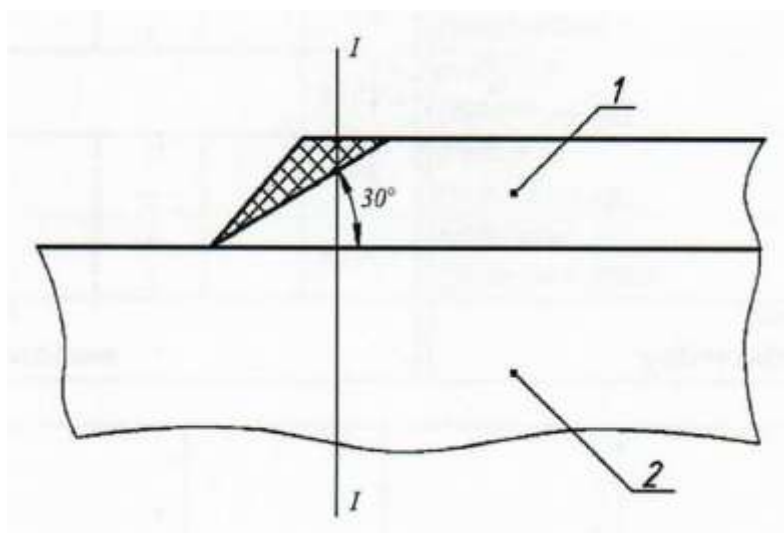


Рис. 5.4-2 Ділянка надбудови (заштрихована), яка виключається з розрахункового поперечного перерізу ($I - I$) при визначенні елементів еквівалентного бруса:

I - надбудова; 2 - корпус

5.4.11 Перевірці міцності на дію сумарних нормальних напружень повинні піддаватися всі в'язі, які беруть участь в забезпеченні поздовжньої міцності корпусу і знаходяться під дією місцевого

навантаження.

До цих в'язей перш за все відносяться в'язі днища, для яких місцевим навантаженням є тиск води p , величина якого визначається за формулою:

$$p = \rho g H \cdot 10^{-3},$$

де: p - тиск води, МПа;

$\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ - густина морської води;

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

H - висота водяного стовпа, що визначається за формулою $H = T + h/2 - z$, м,

де: T – осадка на міделі, м;

h - розрахункова висота хвилі, м (див. [4.2](#));

z - відстань в'язі, що розглядається, від основної площини, м.

5.4.12 Перевірка міцності корпусу на дію дотичних напружень виконується для обшивки борту і полотнища поздовжніх перегородок за такою формулою:

$$\delta_{12} = \frac{N_p S}{J s_{\Sigma}} \leq [\sigma_{12}] = 0,8 \sigma_{12}^0,$$

де: N_p - див. [5.4.2](#);

$s_{\Sigma} = 2 \sum_{n=1}^m s_n$ - сумарна товщина обшивки борту і полотнищ поздовжніх перегородок, розташованих по одну сторону від діаметральної площини (при їх симетричному розташуванні);

S - фактичний статичний момент частини площі поперечного перерізу корпусу відносно нейтральної осі, що знаходиться вище (або нижче) горизонтальної площини, на рівні якої визначаються дотичні напруження;

J - момент інерції поперечного перерізу корпусу, що розраховується, відносно нейтральної осі.

При визначенні s_{Σ} товщини в'язей і їх шарів розраховуються з урахуванням редуційних коефіцієнтів (див. [5.4.4](#)). При цьому модулі нормальної пружності E_{1p} замінюються на модулі зсуву G_{p12} ; σ_{12} приймається як величина напруження у в'язі (або в несучому шарі в'язі), відносно якої проводиться приведення.

5.4.13 При розрахунку поздовжньої міцності корпусу повинна визначатися його максимальна стрілка прогину при дії розрахункових зусиль (див. [5.4.2](#)). Максимальний прогин, який визначається з урахуванням зсуву, не повинен перевищувати допустимий рівень, зазначений в [5.3.8](#).

5.4.14 При перевірці поздовжньої міцності корпусу стійкість поздовжніх в'язей повинна відповідати таким вимогам:

- вертикальний кіль, стрингери, карлінгси, палубний стрингер і ширстрек не повинні втрачати стійкість до напружень, що дорівнюють потроєним розрахунковим (з урахуванням підсумовування напружень), або небезпечним, залежно від того, що менше;

- пластини обшивки днища і настилу верхньої (розрахункової) палуби не повинні втрачати стійкість до напружень, що дорівнюють подвоєним розрахунковим (з урахуванням підсумовування напружень), або небезпечним, залежно від того, що менше;

- пластини обшивки борту при зсуві не повинні втрачати стійкість до напружень, що дорівнюють подвоєним розрахунковим.

5.5 МІСЦЕВА МІЦНІСТЬ КОРПУСУ

5.5.1 Основні конструкції корпусу (днище, борти, палуби, перегородки, надбудова) повинні бути розраховані на дію всіх навантажень, що виникають в експлуатаційних і аварійних умовах експлуатації.

Розрахункові навантаження визначаються згідно з вимогами відповідних частин Правил Регістра, які регламентують міцність корпусу і на які було схвалено проєкт судна.

5.5.2 При розрахунку перекриттів, рам, нерозрізних балок повинно враховуватися наступне:

- розрахункова довжина прогону балки l_p , що входить до складу перекриття або рами, приймається рівною відстані між точками перетину з нейтральними осями сусідніх балок одного напрямку або

балок протилежного напрямку, якщо вони можуть розглядатися як опори, або рівною відстані між перегородками, палубами і т.п. .;

- при розрахунках статично невизначених нерозрізних балок наявність книць в опорних перетинах не враховується;

- балка змінного поперечного перерізу розраховується в першому наближенні як балка постійного перерізу, висота і площа якого дорівнює мінімальним значенням цих параметрів першої балки; якщо в результаті цього розрахунку вимоги до міцності і жорсткості не задовольняються, то проводиться розрахунок балки в другому наближенні з урахуванням фактичної зміни її поперечного перерізу.

5.5.3 При розрахунку балок перекриттів ширина приєднаного пояска обшивки або настилу, прилеглих до балок, визначається за такими залежностями:

- для поздовжніх балок (стрингерів, карлінгсів):

$$\frac{1}{6}L_p \geq \bar{b}_{ap} = B_p + \frac{1}{2}(b_f^r + b_f^l) \frac{(E_{p1})_{fp}}{(E_{1p})_{ffp}}.$$

- для поперечних балок (флорів, бімсів):

$$\frac{1}{6}L_p \geq \bar{b}_{ap} = B_b + l_f \frac{(E_{p2})_{fp}}{(E_{2p})_{ffp}}.$$

де: L_p - розрахункова довжина прогону балки, яка визначається для балок відповідно до [5.5.2](#);

b_f^r, b_f^l - відстань між поздовжніми балками (поперечна шпация), відповідно, праворуч і ліворуч від розрахункової балки;

l_f - відстань між поперечними балками (поздовжня шпация); B_b - ширина П-подібного профілю балки в основі; якщо балка має Т-подібний профіль, то $B_b = 0$; $(E_{pi})_{fp}$ - розрахунковий модуль нормальної пружності (див. [5.3.5](#)) приєднаного пояска обшивки (настилу) уздовж ($j = 1$) і поперек ($j = 2$) корпусу; $(E_{pi})_{ffp}$ - розрахунковий модуль нормальної пружності вільного пояска розрахункової балки.

При визначенні міцності вертикального кіля ширина приєднаного пояска приймається рівною повній ширині горизонтального кіля, помноженій на редукційний коефіцієнт

$$\Psi = \frac{(E_{p1})_{fp}}{(E_{1p})_{ffp}}.$$

5.5.4 При розрахунках міцності балок повинно враховуватися ослаблення їх стінок вирізами для проходів балок іншого напрямку (див. [3.2.4](#)).

5.5.5 Міцність обшивки корпусу повинна бути розрахована на дію гідростатичного тиску води, величина якого визначається згідно з вимогами Правил Регістра, на які був схвалений проєкт судна.

Розрахункове навантаження на пластини обшивки вважається рівномірно розподіленим. Пластини обшивки днища на опорному контурі, утвореному стрингерами (вертикальним кілем і стрингером) і флорами, вважаються жорстко защемленими.

Для пластин обшивки борту, опорний контур яких утворений шпангоутами, палубами і скуловим листом, приймається жорстке защемлення по вертикальних кромках пластини і вільне обпирання по її горизонтальних кромках. Величина рівномірно розподіленого навантаження, яке діє на пластину борту, приймається рівною середній величині інтенсивності навантажень, що діють на рівнях її нижньої і верхньої горизонтальних кромок.

5.5.6 У носовій кінцевій частині обшивка корпусу повинна бути перевірена на дію гідродинамічного тиску при ударах хвиль, величина якого визначається відповідно до **2.8.3.2** частини II «Корпус» Правил класифікації та побудови морських суден.

5.5.7 Поздовжня міцність і стійкість днищових перекриттів повинна визначатися при дії рівномірно розподіленого поперечного навантаження, що дорівнює величині гідростатичного тиску, і зусиль, що діють в площині перекриття від загального вигину, і з боку бортових перекриттів під дією тиску води.

При розрахунку поздовжньої міцності флори вважаються вільно опертими, стрингери і вертикальний кіль - жорстко защемленими на поперечних перегородках. У випадку коли довжини суміжних відсіків або величини діючих на них навантажень значно відрізняються один від одного, то коефіцієнт опорної

пари поздовжніх балок на перегородках визначається за наступною формулою:

$$\alpha = \frac{1 + \frac{1\bar{p}}{2p} \left(\frac{L_p}{L_p} \right)}{1 + \frac{1\bar{L}_p}{2L_p}}$$

де: $\bar{p}$ - величина середньої інтенсивності поперечного навантаження в двох відсіках, суміжних з розрахунковим перекриттям;

p - інтенсивність поперечного навантаження, що діє на дане перекриття з розрахунковою довжиною;

$\bar{L}_p$ - середнє значення розрахункової довжини двох суміжних відсіків.

5.5.8 Днищове перекриття, що є опорами для бортових перекриттів і перегородок, повинно бути перевірене на дію найбільших навантажень, що передаються від зазначених конструкцій. При цьому повинні бути забезпечені наступні запаси стійкості k_y відносно чинних напружень або зусиль:

- для поздовжніх балок - $k_y = 2,0$;

- для поперечних балок - $k_y = 1,5$;

При розрахунках стійкості в першому наближенні балки перекриття допускається приймати як ізольовані з приєднаним пояском, який визначається згідно з [5.5.3](#).

Якщо вищевказані вимоги до стійкості не виконуються, то повинен бути виконаний розрахунок всього перекриття.

5.5.9 При перевірці стійкості балок днищового перекриття обов'язково повинна бути перевірена стійкість плоскої форми вигину для балок Т-подібного профілю та місцева стійкість стінок балок П-подібного профілю. В обох випадках коефіцієнт запасу стійкості повинен бути $k_y \geq 1,5$.

5.5.10 Розрахунок міцності бортового перекриття повинен проводитися на дію гідростатичного тиску, розподіленого по висоті борту по трапецієподібному закону.

Шпангоути розглядаються як нерозрізні балки, вільно оперті на верхній палубі і скуловому листі. Розрахункова довжина шпангоутів визначається відповідно до [5.5.2](#).

Якщо в результаті розрахунку шпангоутів як нерозрізних балок зазначена вимога до допустимих напружень не виконується, то проводиться розрахунок шпангоутної рами, до складу якої входять флор днища, бімси верхньої і проміжних палуб, а також шпангоути.

5.5.11 Розрахунок стійкості бортового перекриття повинен проводитися на стискання і зсув. При цьому коефіцієнт запасу стійкості повинен бути $k_y \geq 1,5$ відносно найбільших зусиль, що передаються на розрахункове перекриття зі сторони палуб, платформ, поперечних перегородок і днищового перекриття, що спираються на нього.

5.5.12 У носовій кінцевій частині шпангоути, а також днищовий набір, повинні бути розраховані на дію гідродинамічних тисків при ударах хвиль.

Тиск визначається згідно з вимогами відповідних частин Правил Регістра, які регламентують міцність корпусу і на які було схвалено проєкт судна.

5.5.13 Міцність верхньої палуби, а також проміжних палуб і платформ, повинна бути перевірена на дію експлуатаційних навантажень:

- тиск від нахату хвиль на верхню палубу;

- вага вантажів, що знаходяться на палубах і платформах, з урахуванням інерційних сил, що виникають при хитах судна;

Навантаження від дії води, що накопчується, і розрахункові значення інерційної складової, виходячи з амплітуд і періодів бортової і кільової хитах, заданих в проєктній документації, визначаються згідно з вимогами відповідних частин Правил Регістра, що регламентують міцність корпусу і на які було схвалено проєкт судна.

5.5.14 Стійкість палуб і платформ повинна бути перевірена при дії найбільших зусиль від загального вигину і переданих від бортових перекриттів і перегородок, що обпираються на них.

Коефіцієнт запасу стійкості приймається рівним:

$k_y = 2,0$ - для карлінгсів;

$k_y = 1,5$ - для бімсів.

Балки набору палуб і платформ повинні обов'язково перевірятися на стійкість плоскої форми вигину і місцевої стійкості стінок П-подібного профілю (див. [5.5.9](#)).

5.5.15 Непроникні перегородки повинні перевірятися на міцність при дії аварійного напору води, величина якого визначається згідно з вимогами відповідних частин Правил Регістра, що регламентують міцність корпусу і на які було схвалено проєкт судна.

На це ж навантаження повинна бути перевірена міцність палуб і платформ, якщо вони забезпечують непроникність відсіків судна при їх аварійному затопленні.

5.5.16 Всі перегородки, що є опорами для палубних, бортових і днищових перекриттів, повинні перевірятися розрахунком на дію найбільших навантажень при стисканні в двох напрямках і зсуві в площині перегородки. При цьому повинен бути забезпечений запас стійкості не менше $k_y = 1,5$.

5.6 МІЦНІСТЬ НАДБУДОВИ

5.6.1 Якщо надбудова бере участь в загальному вигині корпусу, то її поздовжні в'язі (бортові стінки, палуби, поздовжні перегородки) розраховуються на дію зусиль, що виникають при загальному вигині корпусу, і місцевих навантажень, обумовлених впливом хвиль і обладнання, механізмів та інших вантажів, які знаходяться в надбудові, а також екіпажу.

5.6.2 Зусилля, які виникають в поздовжніх в'язях надбудови, яка бере участь в загальному вигині, можуть визначатися за такими формулами:

для бічних стінок і поздовжніх перегородок

$$T_{in} \approx \frac{\sigma_{ok}}{E_{ok}} A_{ii}$$

для карлінгсів

$$T_k \approx \frac{\sigma_{ok}}{E_{ok}} A_k$$

де: σ_{ok} - напруження в основному корпусі на рівні верхньої палуби;

E_{ok} - модуль (або приведений модуль) нормальної пружності матеріалу основного корпусу;

A_{ii} - приведена осьова жорсткість панелі зазначених в'язей в поздовжньому напрямку;

$A_k = \Sigma A_j$ - приведена осьова жорсткість карлінгса з приєднаним пояском (див. [5.5.3](#)).

5.6.3 Величина навантаження на стінки надбудови визначається відповідно до вимог Правил Регістра, на які було схвалено проєкт судна.

Міцність стінок надбудов другого ярусу повинна бути перевірена на дію навантажень, величина яких складає 50% від навантажень, що діють на відповідні стінки першого ярусу.

5.6.4 У місцях установки на в'язі надбудови (палуби, перегородки і т.п.) обладнання ці в'язі додатково розраховуються на дію локальних або зосереджених навантажень, величина яких визначається за формулою:

$$P_p^M = k_d^M M,$$

де: M - вага встановленого обладнання;

k_d^M - коефіцієнт динамічності, який повинен бути не менше $k_d^M \geq 2$ і уточнюється з проєктної документації на судні.

5.6.5 При розрахунку міцності в'язей надбудови (рубки) для пластин і балок набору коефіцієнти k_n , k_c для визначення допустимих напружень (див. [5.3.7](#)) приймаються рівними $k_n = 0,7$, $k_c = 0,8$ незалежно від характеру діючого навантаження.

У в'язях надбудови, яка бере участь в загальному вигині, напруження від вигину корпусу і дії місцевих навантажень повинні підсумовуватися.

5.6.6 При перевірці стійкості в'язей надбудови (рубки) повинен бути забезпечений запас стійкості не менше $k_y \geq 1,5$.

5.6.7 Окремо повинна бути перевірена міцність з'єднання бортових стінок надбудови з корпусом в районах її закінчень на дію напружень при зсуві і відриві. В цьому випадку коефіцієнти k_n , k_c повинні прийматися рівними $k_n = k_c = 0,6$.

5.6.8 Панелі стінок, палуб і перегородок надбудови розраховуються як вільно обперті або/і жорстко закріплені на опорному контурі. Опорний контур для пластин бічних, лобової і задньої стінок створюється горизонтальними в'язями, до яких відносяться верхня палуба корпусу, проміжні палуби надбудови і її палуба (дах), і вертикальними в'язями - перегородками і шпангоутами (стояками). Для пластин палуб опорними в'язями є стінки, перегородки, бімси і карлінгси.

Пластини бічних, лобової і задньої стінок, а також палуб і даху, вважаються жорстко защемленими по всіх чотирьох кромках, за винятком пластин стінок і даху, з'єднаних між собою по одній з кромок. У цих пластинах кромки, що обпираються одна на одну, вважаються вільно обпертими, а решта кромок - жорстко защемленими.

5.6.9 У місцях установки на палубі обладнання пластина палуби розраховується як вільно обперта по всіх чотирьох кромках, при дії місцевого або зосередженого навантаження, величина якої визначається відповідно до [5.6.4](#). Визначені напруження в елементах пластини підсумовуються з напруженнями в цих же елементах при дії рівномірного навантаження.

5.6.10 Балки набору (шпангоути, бімси, карлінгси і стояки) повинні бути розраховані на міцність і жорсткість при дії навантажень, зазначених в [5.6.3](#) і [5.6.4](#).

Якщо шпангоути і бімси лежать в одній площині і утворюють раму або напівраму, то такі балки розраховуються як елементи рами з нерухомими і/або рухомими вузлами.

В іншому випадку шпангоути і бімси, а також карлінгси і стояки, розраховуються як однопрогонові (або багатопрогонові) балки з жорстко защемленими або вільно обпертими кінцями. В останньому випадку балка закінчується, не переходячи в своїй площині в іншу в'язь, наприклад в перегородку.

Опорами є:

- для шпангоутів і стояків лобової і задньої стінок - палуби і дах;
- для бімсів - борти, поздовжні перегородки, пілерси;
- для карлінгсів - лобова і задня стінки, поперечні перегородки, пілерси.

5.6.11 При визначенні геометричних і жорсткісних характеристик балки набору ширина приєднаного пояса пластини приймається (залежно від того, що менше) рівною $1/6l_d$ або $7H$, якщо пластина має тришарову структуру (де l_d - розрахункова довжина прогону, H - сумарна товщина тришарової пластини).

Розрахункова довжина прольоту l_d приймається рівною відстані між точками перетину нейтральної осі розрахункової балки з площинами, що проходять через нейтральні осі балок, або з серединними поверхнями панелей в'язей (борта, перегородок і т.п.), які вона перетинає.

5.6.12 При розрахунку балок набору змінність перерізу в районі опорних закріплень, викликана установкою книць або зміною висоти профілю в місці стиковки балки з в'яззю, яка перетинає, не враховується. Також не враховується кривизна балок, якщо її величина не перевищує 20%.

5.6.13 Тришарові пластини стінок, палуб, перегородок і т.д., а також їх набір, повинні бути перевірені на загальну і місцеву стійкість при найбільш несприятливому поєднанні навантажень, діючих на них. При цьому під місцевою втратою стійкості розуміється:

- в тришарових пластинах - втрата стійкості несучих шарів;
- в балках - втрата стійкості стінок для П-подібного профілю (плоскої форми вигину для Т-подібних балок).

Коефіцієнт запасу місцевої стійкості повинен бути не менше $k_y \geq 1,5$ відносно розрахункових напружень, що діють відповідно в несучих шарах і стінках П-подібного профілю.

5.6.14 Пластини бічних стінок надбудови, а також поздовжніх перегородок повинні бути перевірені на стійкість при спільній дії найбільших за величиною напружень від загального вигину і зусиль,

викликаних дією навантажень на конструкції, що знаходяться вище, їх вагою, а також вагою встановленого на них обладнання. Коефіцієнт запасу загальної стійкості повинен бути $k_y \geq 1,7$.

5.6.15 Шпангоути і стояки носової і кормової стінок перевіряються на стійкість при дії зазначених в **5.6.14** зусиль. Коефіцієнт запасу на загальну стійкість шпангоутів і стояків повинен бути не менше $k_y \geq 2,0$.

5.6.16 Пластини палуб повинні перевірятися на стійкість при спільній дії найбільших за величиною напружень від загального вигину (див. [5.6.1](#) і [5.6.2](#)) і напружень, викликаних обпиранням на них перекриттів бічних стінок. Коефіцієнт запасу загальної стійкості пластин палуб, а також даху повинен бути не менше $k_y \geq 1,5$.

5.6.17 Бімси палуб і даху повинні перевірятися на стійкість при дії найбільших за величиною зусиль, переданих від бортів, що спираються на них, а карлінгси - при дії напружень від загального вигину. Коефіцієнт запасу загальної стійкості балок набору палуб і даху повинен бути не менше $k_y \geq 1,7$.

5.6.18 Стійкість поперечних перегородок, а також носової і кормової стінок, повинна бути перевірена при дії найбільших за величиною зусиль, що передаються від перекриттів бічних стінок і вище розташованих конструкцій, які спираються на них. Коефіцієнт запасу загальної стійкості повинен бути не менше $k_y \geq 2,0$.

5.6.19 Міцність і стійкість пілерсів повинні перевірятися при дії найбільших за величиною зусиль, переданих від вищестоящих конструкцій. Коефіцієнт запасу загальної стійкості повинен бути також не менше $k_y \geq 2,0$.

МІЦНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ БАЛОК І ПЛАСТИН КОРПУСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

(Рекомендації щодо розрахунків)

1 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛОК

1.1 Розрахунок характеристик жорсткості проводиться для балок набору, профіль яких показаний на [рис. 1.1](#). Рекомендований приєднаний поясик обшивки корпусу (настилу палуб, полотнища перегородок) має тришарову структуру із суцільним або конструктивно-ортотропним заповнювачем з приведеними пружними характеристиками. Під балкою середній шар тришарового приєднаного пояска має посилення у вигляді заповнювача підвищеної густини.

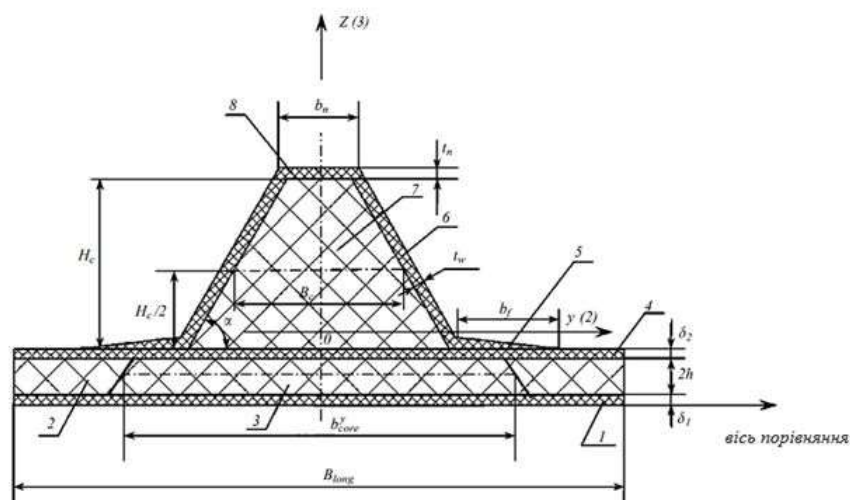


Рис. 1.1 Розрахункова схема балки П-подібного (трапецієподібного) профілю:

1, 4 - несучі шари; 2 - заповнювач середнього шару; 3 - посилення у вигляді заповнювача підвищеної густини; 5 - фланець; 6 - стінка балки; 7 - сердечник балки; 8 - вільний поясик

Приведені геометричні параметри поперечного перерізу профілю, а саме статичний момент і момент інерції відносно осі порівняння визначається за формулами, наведеними в [табл. 1.1](#).

Таблиця 1.1 Визначення приведених геометричних параметрів поперечного перерізу профілю

i- елемент (див. рис 1.1)	Площа поперечного перерізу елемента F_i	Модуль нормальної пружності елемента E_i	Відстань центра ваги елемента від осі порівняння z_i	Приведена площа поперечного перерізу елемента $E_i F_i$	Приведений статичний момент елемента $E_i F_i z_i$	Приведений момент інерції	
						переносний $E_i F_i z_i^2$	власний i_i
1	$\delta_1 B_{long}$	$E_{il}^{(1)}$	$\delta_1/2$	$\delta_1 B_{long} E_{il}^{(1)}$	$\frac{1}{2} \delta_1^2 B_{long} E_{il}^{(1)}$	$\frac{1}{4} \delta_1^3 B_{long} E_{il}^{(1)}$	-
2	$2h(B_{long}-b_{core}^y)$	E_{core}	δ_1+h	$2h(B_{long}-b_{core}^y) E_{core}$	$2h(B_{long}-b_{core}^y) E_{core}(\delta_1+h)$	$2h(B_{long}-b_{core}^y) E_{core}(\delta_1+h)^2$	-
3	$2h \cdot b_{core}^y$	E_{core}^y	δ_1+h	$2h/b_{core}^y E_{core}^y$	$2h/b_{core}^y E_{core}^y (\delta_1+h)$	$2h/b_{core}^y E_{core}^y \times (\delta_1+h)^2$	-
4	$\delta_2 B_{long}$	$E_{il}^{(2)}$	$\delta_1+2h+\delta_2/2$	$E_{il}^{(2)} \delta_2 B_{long}$	$E_{il}^{(2)} \delta_2 B_{long} \times (\delta_1+2h+\delta_2/2)$	$E_{il}^{(2)} \delta_2 B_{long} \times (\delta_1+2h+\delta_2/2)^2$	-
5	$t_w b_f$	E_w	$\delta_1+2h+\delta_2+t_w/3$	$E_w t_w b_f$	$E_w t_w b_f (\delta_1+2h+\delta_2+t_w/3)$	$E_w t_w b_f (\delta_1+2h+\delta_2+t_w/3)^2$	
6	$2t_w \frac{H_c}{\sin \alpha}$	E_w	$\delta_1+2h+\delta_2+H_c/2$	$2E_w t_w \frac{H_c}{\sin \alpha}$	$2E_w t_w \frac{H_c}{\sin \alpha} \times (\delta_1+2h+\delta_2+H_c/2)$	$2E_w t_w \frac{H_c}{\sin \alpha} \times (\delta_1+2h+\delta_2+H_c/2)^2$	$\frac{E_w t_w H_c^3}{6}$
7	$B_c H_c$	E_c	$\delta_1+2h+\delta_2+H_c/2$	$E_c B_c H_c$	$E_c B_c H_c \times (\delta_1+2h+\delta_2+H_c/2)$	$E_c B_c H_c \times (\delta_1+2h+\delta_2+H_c/2)^2$	$\frac{E_c B_c H_c^3}{6}$
8	$b_n t_n$	E_n	$\delta_1+2h+\delta_2+H_c+t_n/2$	$E_n b_n t_n$	$E_n b_n t_n (\delta_1+2h+\delta_2+H_c+t_n/2)$	$E_n b_n t_n (\delta_1+2h+\delta_2+H_c+t_n/2)^2$	
				$\sum_{i=1}^8 E_i F_i$	$\sum_{i=1}^8 E_i F_i z_i$	$\sum_{i=1}^8 (E_i F_i z_i^2 + i_i)$	

Згинальна жорсткість балки П-подібного профілю відносно власної осі O_y визначається за такою формулою

$$D_{11} = \sum_{i=1}^8 (E_i F_i z_i^2) - e^2 \sum_{i=1}^8 E_i F_i$$

де: e – відстань між віссю порівняння і віссю y , яка визначається за формулою

$$e = \frac{\sum_{i=1}^8 E_i F_i z_i}{\sum_{i=1}^8 E_i F_i}$$

E_i, F_i, z_i - див. [табл. 1.1](#).

Осьова жорсткість балки обчислюється за формулою

$$B_{11} = \sum_{i=1}^8 E_i F_i$$

Жорсткість поперечного перерізу балки на зсув визначається за формулою:

$$K_{11} = (2G_{13}^w + G^c B_c) H$$

де $H = H_c + t_n$.

1.2 Нормальні напруження, що виникають в елементах балки при дії згинального моменту M_1 і осьової сили T_1 визначаються за формулою

$$\sigma_{11}^{(i)} = E_i \left(\frac{M_1 z_i}{D_{11}} + \frac{T_1}{B_{11}} \right) \quad (1.2)$$

Для найбільш характерних елементів профілю балки ці напруження, що визначаються за формулою (1.2), дорівнюють:

- у вільному пояску балки

$$\sigma_{11}^{(8)} = \max \sigma_{11}^{(8)} = E_{11} \left[\frac{M_1}{D_{11}} (z_8 + t_n/2 - e) + \frac{T_1}{B_{11}} \right]$$

- у «сердечнику» профілю

$$\sigma_{11}^{(7)} = \max \sigma_{11}^{(7)} = E_c \left[\frac{M_1}{D_{11}} (z_1 + H_c/2 - e) + \frac{T_1}{B_{11}} \right].$$

- у нижньому несучому шарі приєднаного пояска балки

$$\sigma_{11}^{(1)} = \max \sigma_{11}^{(1)} = E_{HC}^{(1)} \left[-\frac{M_1 e}{D_{11}} + \frac{T_1}{B_{11}} \right].$$

де z_7, z_8 - див. [табл. 1.1](#).

1.3 Дотичні напруження, що виникають в елементах балки під дією перерізуючої сили N_1 , визначаються в двох розрахункових перерізах:

на рівні середини висоти профілю

$$z = z^c;$$

в з'єднанні балки з приєднаним пояском (див. [рис. 1.3](#))

$$z = z^f.$$

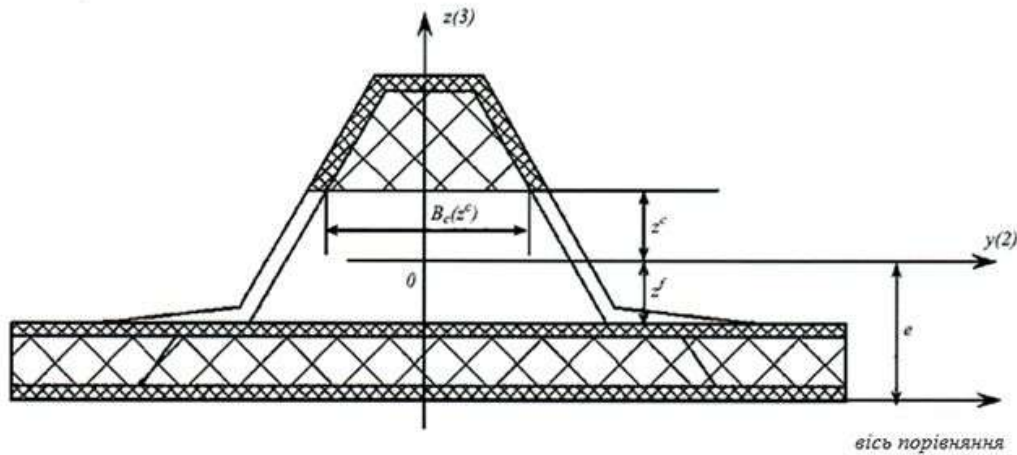


Рис. 1.3 Розрахункова схема визначення дотичних напружень

Дотичні напруження в перерізі $z = z^c$ визначаються за такими формулами:

- в «сердечнику»

$$\sigma_{13}^{(c)} = \frac{Q}{2t_w G_{13}^w / G^c + B_c(z^c)};$$

- в стінках обформовки профілю балки

$$\sigma_{13}^{(w)} = \frac{Q}{2t_w G^c / G_{13}^w + B_c(z^c)};$$

де: G^c – модуль зсуву матеріалу «сердечника»;

G_{13}^w – модуль зсуву матеріалу стінки в площині армування

$$B_c(z^c) = B_c + 2(z_7 - e - z^c) \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha},$$

$$Q = \frac{N_1}{D_{11}} \sum_{j=1}^k E_j \bar{F}_j \bar{z}_j; \quad (1.3)$$

Статичний момент частини поперечного перерізу профілю балки, розташованого вище $z = z^c$ (див. [рис. 1.3](#)) визначається за формулою

$$\sum_{j=1}^k E_j \bar{F}_j \bar{z}_j = E_n \bar{F}_n \bar{z}_n = E_w \bar{F}_w \bar{z}_w + E_c \bar{F}_c \bar{z}_c,$$

де: $\bar{F}_n \bar{z}_n = b_n t_n (z_8 - e)$;

$$\bar{F}_w \bar{z}_w = \frac{t_w}{\sin \alpha} [(z_7 + H_c/2 - e)^2 - (z^c)^2];$$

$$\bar{F}_c \bar{z}_c = \frac{1}{2} \left[B_c + 2 \left(z_4 + \frac{1}{2} \delta_2 - z - e \right) \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \right] \cdot \left[z_7 + \frac{1}{2} H_c - e \right)^2 - (z^c)^2 \right].$$

Дотичні напруження в перерізі $z = z^f$ (див. [рис. 1.3](#)) визначаються за такими формулами:

- в «сердечнику» профілю

$$\sigma_{13}^c = \frac{Q}{2(t_w G_{13}^w / G^c + b_f G_{13}^f / G^c + B_c(z^f))};$$

- по лінії контакту верхнього несучого шару з фланцями балки

$$\sigma_{13}^f = \frac{Q}{2(t_w + b_f) + B_c(z^f) G^c / G_{13}^f},$$

де: G_{13}^f – модуль міжшарового зсуву фланця, що дорівнює модулю міжшарового зсуву матеріалу стінки;

$$B_c(z^f) = (B_c + H_c) \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

Q - визначається за формулою (1.3), при цьому:

$$\sum_{j=1}^k E_j \bar{F}_j \bar{z}_j = E_{ll}^{(1)} \bar{F}_{ll}^{(1)} \bar{z}_{ll}^{(1)} + E_{core} \bar{F}_{core} \bar{z}_{core} + E_{core}^y \bar{F}_{core}^y \bar{z}_{core}^e + E_{ll}^{(2)} \bar{F}_{ll}^{(2)} \bar{z}_{ll}^{(22)};$$

$$E_{ll}^{(1)} \bar{F}_{ll}^{(1)} \bar{z}_{ll}^{(1)} = E_{ll}^{(1)} B_{long} \delta_1 (e - \delta_1/2);$$

$$E_{core} \bar{F}_{core} \bar{z}_{core} = 2E_{core} (B_{long} - b_{core}^y) h (e - z_2);$$

$$E_{core}^y \bar{F}_{core}^y \bar{z}_{core}^e = 2E_{core}^y b_{core}^y h (e - z_3);$$

$$E_{ll}^{(2)} \bar{F}_{ll}^{(2)} \bar{z}_{ll}^{(22)} = E_{ll}^{(2)} B_{long} \delta_2 (e - z_4).$$

1.4 Прогини балки w , вигинаючий момент M_1 і перерізуюча сила N_1 визначаються залежно від умов її навантаження і закріплення в опорних перетинах. Формули для визначення параметрів для найбільш характерних випадків, що виникають при розрахунках корпусних конструкцій з ПКМ, визначаються на підставі загально-інженерних підходів з будівельної механіки корабля.

2. СТІЙКІСТЬ БАЛОК

2.1 При дії на балку поздовжніх (осьових) стискаючих напружень T_1 ($T_1 < 0$), які можуть викликати її втрату стійкості, критичне напруження визначається за наступною формулою:

$$T_{1 buck} = \frac{T_{1 eu}}{1 + T_{1 eu}/K_{11}},$$

де: $T_{1 eu}$ – теоретичне Ейлерове напруження;

K_{11} – жорсткість на зсув (див. [1.3](#))

2.2 Теоретичне Ейлерове напруження втрати стійкості визначається за такими формулами:

- для балок з вільно обпертими кінцями

$$T_{1 eu} = \frac{\pi^2 D_{11}}{l^2};$$

- для балок з жорстко защемленими кінцями

$$T_{1 eu} = \frac{4\pi^2 D_{11}}{l^2};$$

для балок, один кінець яких жорстко защемлений, а другий шарнірно обпертий

$$T_{1 eu} = \frac{2\pi^4 D_{11}}{l^2}.$$

де D_{11} – див. [1.1](#).

l – прогін балки, відстань між опорними перерізами балки.

3 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ОДНОШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ ВИГІНІ

Напружено-деформований стан одношарових пластин (розрахункова схема див. [рис. 3](#)) при вигині визначається за такими формулами:

$$w = k_1 \frac{pb^4}{E_1 t^3};$$

$$M_1 = k_1 pb^2;$$

$$M_2 = k_3 pb^2;$$

$$M_2' = k_5 pb^2.$$

де: p — інтенсивність рівномірно розподіленого розрахункового навантаження;

M_1 - згинальний момент у центрі пластини в перерізі, паралельному осі y , що припадає на одиницю довжини перерізу;

M_2 — згинальний момент у центрі пластини в перерізі, паралельному осі x , що припадає на одиницю довжини перерізу;

M_2' — згинальний момент в середині довгої сторони опорного контуру в перерізі, паралельному осі x , що припадає на одиницю довжини перерізу;

E_2 і E_1 — модулі нормальної пружності несучого шару в напрямку основного армування (напрямок 0°) і в напрямку 90° до основного армування;

t — товщина пластини.

Значення коефіцієнтів k_i для ізотропних і ортотропних пластин з співвідношеннями модулів пружності в напрямку короткої і довгої сторін пластини, що дорівнюють 1,0 і 1,5, наведені в [табл. 3-1](#) і [3-2](#) для жорстко зашкелених опорних кромки і для пластин з вільно обертими кромками відповідно.

У випадку якщо обшивки або настили виконані з паралельно-діагональними схемами армування $[(0^\circ/90^\circ)/(+45^\circ/-45^\circ)/(0^\circ/90^\circ)/\dots/(+45^\circ/-45^\circ)/(0^\circ/90^\circ)]$, пластини розглядаються як ізотропні, а в якості розрахункових пружних характеристик приймаються середні значення, що дорівнюють півсумі відповідних характеристик у напрямках основи і утку паралельних шарів:

$$E_{au} = \frac{E_1 + E_2}{2},$$

$$\nu_{au} = \frac{\nu_{12} + \nu_{21}}{2}.$$

де ν_{12} і ν_{21} — коефіцієнти Пуассона матеріалу пластини (див. рис.3).

Приведені дані для ортотропних пластин відносяться до ПКМ з паралельним армуванням $[(0^\circ/90^\circ)]$ ($E_1/E_2=1,0$; $E_1/G_{12}=5$) і ($E_1/E_2=1,5$; $E_1/G_{12}=6$), орієнтованих напрямком 1 - (0°) вздовж короткої сторони.

Найбільші нормальні напруження в пластині визначаються за формулою:

$$\sigma_{ii} = \pm 6M_i/t^2$$

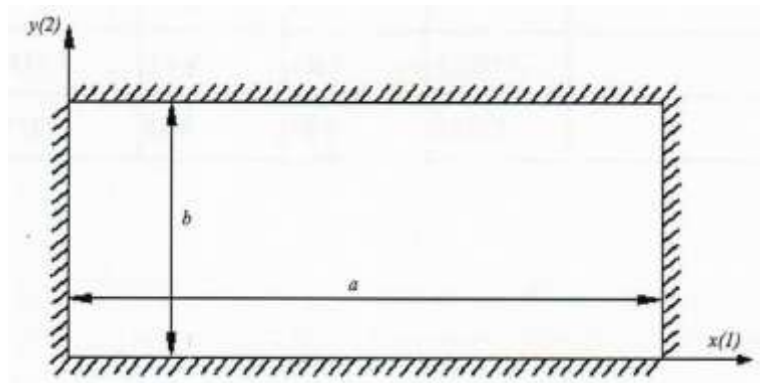


Рис. 3 Розрахункова схема одношарових пластин

Таблиця 3.1 Значення коефіцієнтів k_i для пластин з жорстко зашкеленими кромками

k_i	Тип пластини	a/b							
		1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	∞
k_1	Ізотропна	0,0138	0,02	0,0241	0,0263	0,0276	0,0278	0,0279	0,0284
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,0$	0,0153	0,021	0,0255	0,0275	0,029	0,0307	0,0312	0,032
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,0168	0,0227	0,0266	0,0283	0,0299	0,0299	0,0309	0,032
k_2	Ізотропна	0,0229	0,0228	0,0201	-	-	-	-	-
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,0$	0,024	0,0235	0,021	-	-	-	-	-
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,0213	0,0196	0,0174	-	-	-	-	-
k_3	Ізотропна	0,0229	0,0315	0,0368	0,0383	0,0399	0,0404	0,0405	0,0417
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,0$	0,024	0,033	0,0375	0,0395	0,0408	0,0415	0,0418	0,0425
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,0259	0,0344	0,0384	0,04	0,041	0,0415	0,0419	0,0425
k_5	Ізотропна	0,0517	0,064	0,0753	0,0814	0,0829	0,083	0,0832	0,0833
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,0$	0,054	0,067	0,0783	0,082	0,083	0,0833	0,0838	0,085
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,058	0,0698	0,0794	0,0825	0,0832	0,0835	0,084	0,085

Таблиця 3.2 Значення коефіцієнтів k_i для пластин з вільно обертими кромками

k_i	Тип пластини	a/b							
		1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	∞
k_1	Ізотропна	0,0443	0,0656	0,0843	0,099	0,1106	0,1221	0,1336	0,1422
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,0762	0,1062	0,1225	0,1381	0,1469	0,1542	0,1562	0,1563
k_2	Ізотропна	0,0479	0,0503	0,05	0,0482	0,0464	0,434	0,0404	0,0375
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,0493	0,0444	0,0414	0,0292	0,0246	0,0188	0,0134	0,0125
k_3	Ізотропна	0,0479	0,0659	0,0812	0,0928	0,1017	0,1101	0,1185	0,125
	Ортотропна, $E_1/E_2=1,5$	0,0661	0,0876	0,1069	0,1135	0,1201	0,126	0,13	0,133

4 СТІЙКІСТЬ ОДНОШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ СТИСНЕННІ

4.1 Оцінка стійкості вільно опертих одношарових пластин при стисненні (рис. 4.1) виконується з урахуванням величини відношення сторін пластини $\gamma = a/b$.

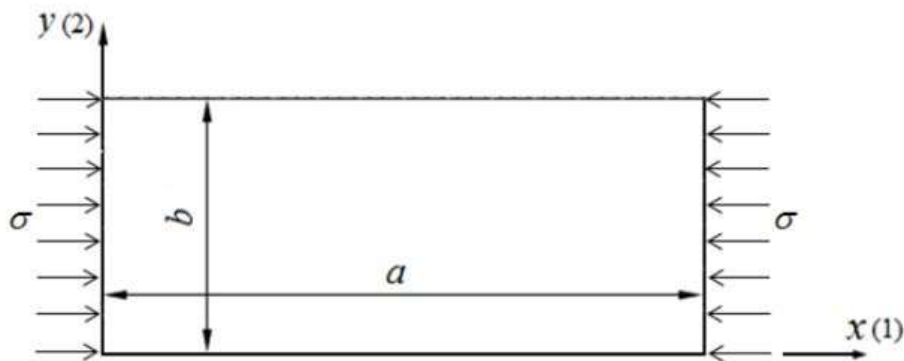


Рис. 4.1 Розрахункова схема одношарових пластин при стисненні

4.2 ПКМ з паралельною структурою армування [(0°/90°)].

Критичне напруження визначається за формулою

$$\sigma_{buck} = E_I B (t/b)^2,$$

де: E_I - модуль пружності в напрямку стиснення;

B - коефіцієнт, що залежить від співвідношення сторін пластин:

$$B = \frac{(m/\gamma)^2 + \left[v_{21} + 2 \frac{G_{12}}{E_1} (1 - v_{12} v_{21}) \right] + \frac{E_2}{E_1} (\gamma/m)^2}{12(1 - v_{12} v_{21})} \pi^2,$$

де: $\gamma = a/b$ - співвідношення сторін пластини;

m - число півхвиль при втраті стійкості;

t - товщина пластини.

E_1 і E_2 - модулі нормальної пружності в напрямку основного армування (напрямок 0°) і в напрямку 90° до основного армування;

G_{12} - модуль зсуву в площині пластини;

v_{12} і v_{21} - коефіцієнти Пуассона матеріалу пластини (див. рис. 4.1).».

4.3 ПКМ з паралельно-діагональними схемами армування [(0°/90°)/(+45°/-45°)/(0°/90°)/...../(+45°/-45°)/(0°/90°)].

При розрахунку пластин кінцевої жорсткості з ПКМ паралельно-діагональної схеми армування допускається застосування методики розрахунку відповідних ізотропних пластин. При цьому середні значення модуля нормальної пружності та коефіцієнта Пуассона визначаються за такими формулами:

$$E_{au} = \frac{E_1 + E_2}{2};$$

$$v_{au} = \frac{v_{12} + v_{21}}{2}.$$

Критичне напруження визначається за формулою:

$$\sigma_{buck} = E_{av} B (t/b)^2.$$

Значення коефіцієнта B для $0,4 \leq \gamma \leq 3,0$ наведені в [табл. 4.2](#) и [рис. 4.1÷4.3](#).

Таблиця 4.2 Значення коефіцієнта B залежно від співвідношення сторін пластини

E_1	m	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
	γ G_{12}	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
15	5	6,57	3,99	3,44	3,57	4,06	4,78	3,44	3,45	3,57	3,78	4,06	3,43	3,48	3,57
	8,5	6,96	4,38	3,82	3,96	4,44	5,16	3,82	3,83	3,96	4,16	4,44	3,82	3,86	3,96
	12	7,34	4,76	4,21	4,34	4,82	5,54	4,21	4,22	4,34	4,55	4,82	4,20	4,25	4,34
20	5	6,44	3,86	3,30	3,44	3,92	4,64	3,30	3,31	3,44	3,64	3,92	3,30	3,34	3,44
	8,5	6,73	4,14	3,59	3,72	4,21	4,93	3,59	3,60	3,72	3,93	4,21	3,58	3,63	3,72
	12	7,01	4,43	3,88	4,01	4,49	5,21	3,88	3,89	4,01	4,22	4,49	3,87	3,92	4,01
25	5	6,36	3,77	3,22	3,35	3,84	4,56	3,22	3,23	3,35	3,56	3,84	3,21	3,26	3,35
	8,5	6,59	4,00	3,45	3,58	4,07	4,79	3,45	3,46	3,58	3,79	4,07	3,44	3,49	3,58
	12	6,82	4,23	3,68	3,81	4,30	5,02	3,68	3,69	3,81	4,02	4,30	3,67	3,72	3,81
30	5	6,30	3,72	3,17	3,30	3,78	4,50	3,17	3,18	3,30	3,51	3,78	3,16	3,21	3,30
	8,5	6,49	3,91	3,36	3,49	3,97	4,69	3,36	3,37	3,49	3,70	3,97	3,35	3,40	3,49
	12	6,68	4,10	3,55	3,68	4,17	4,89	3,55	3,56	3,68	3,89	4,17	3,54	3,59	3,68
35	5	6,26	3,68	3,13	3,26	3,74	4,46	3,13	3,14	3,26	3,47	3,74	3,12	3,17	3,26
	8,5	6,43	3,84	3,29	3,43	3,91	4,63	3,29	3,30	3,43	3,63	3,91	3,29	3,33	3,43
	12	6,59	4,01	3,46	3,59	4,07	4,79	3,46	3,47	3,59	3,80	4,07	3,45	3,50	3,59
40	5	6,23	3,65	3,10	3,23	3,71	4,43	3,10	3,11	3,23	3,44	3,71	3,09	3,14	3,23
	8,5	6,38	3,79	3,24	3,38	3,86	4,58	3,24	3,25	3,38	3,58	3,86	3,24	3,28	3,38
	12	6,52	3,94	3,39	3,52	4,00	4,72	3,39	3,40	3,52	3,73	4,00	3,38	3,43	3,52
50	5	6,19	3,61	3,06	3,19	3,67	4,39	3,06	3,07	3,19	3,40	3,67	3,05	3,10	3,19
	8,5	6,31	3,72	3,17	3,31	3,79	4,51	3,17	3,18	3,31	3,51	3,79	3,17	3,21	3,31
	12	6,42	3,84	3,29	3,42	3,90	4,62	3,29	3,30	3,42	3,63	3,90	3,28	3,33	3,42
60	5	6,16	3,58	3,03	3,16	3,65	4,37	3,03	3,04	3,16	3,37	3,65	3,02	3,07	3,16
	8,5	6,26	3,68	3,13	3,26	3,74	4,46	3,13	3,14	3,26	3,47	3,74	3,12	3,17	3,26
	12	6,36	3,77	3,22	3,35	3,84	4,56	3,22	3,23	3,35	3,56	3,84	3,21	3,26	3,35

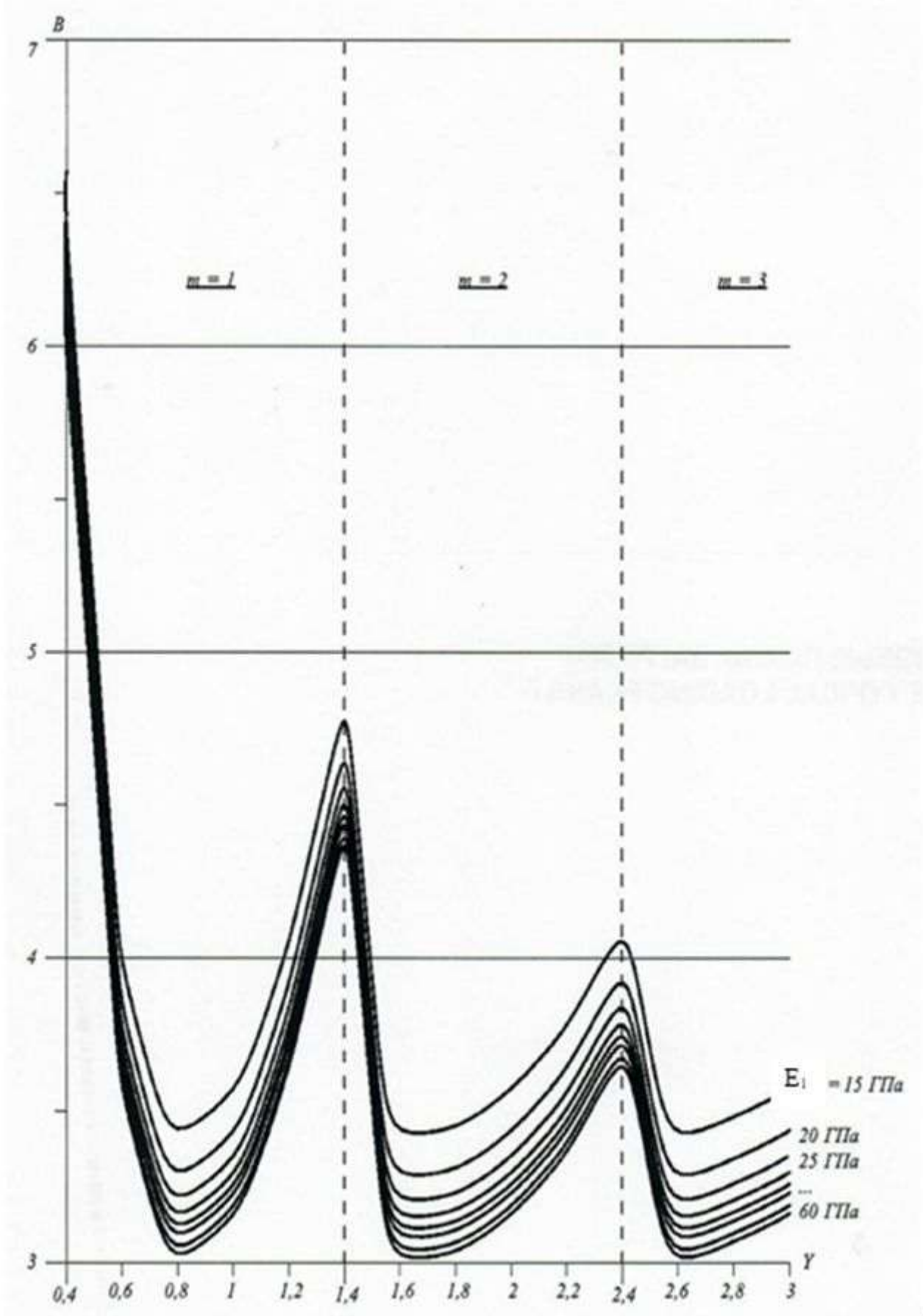
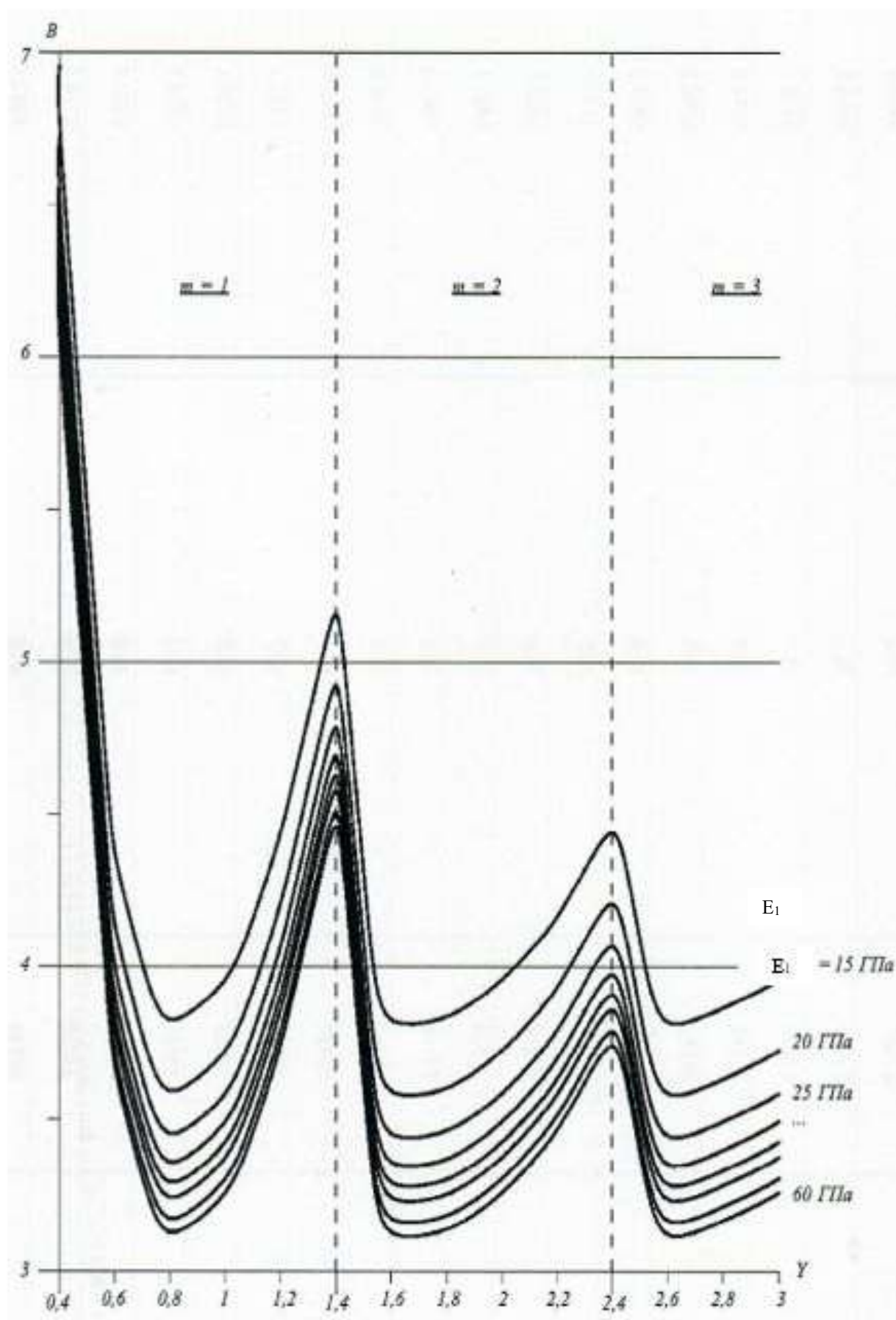
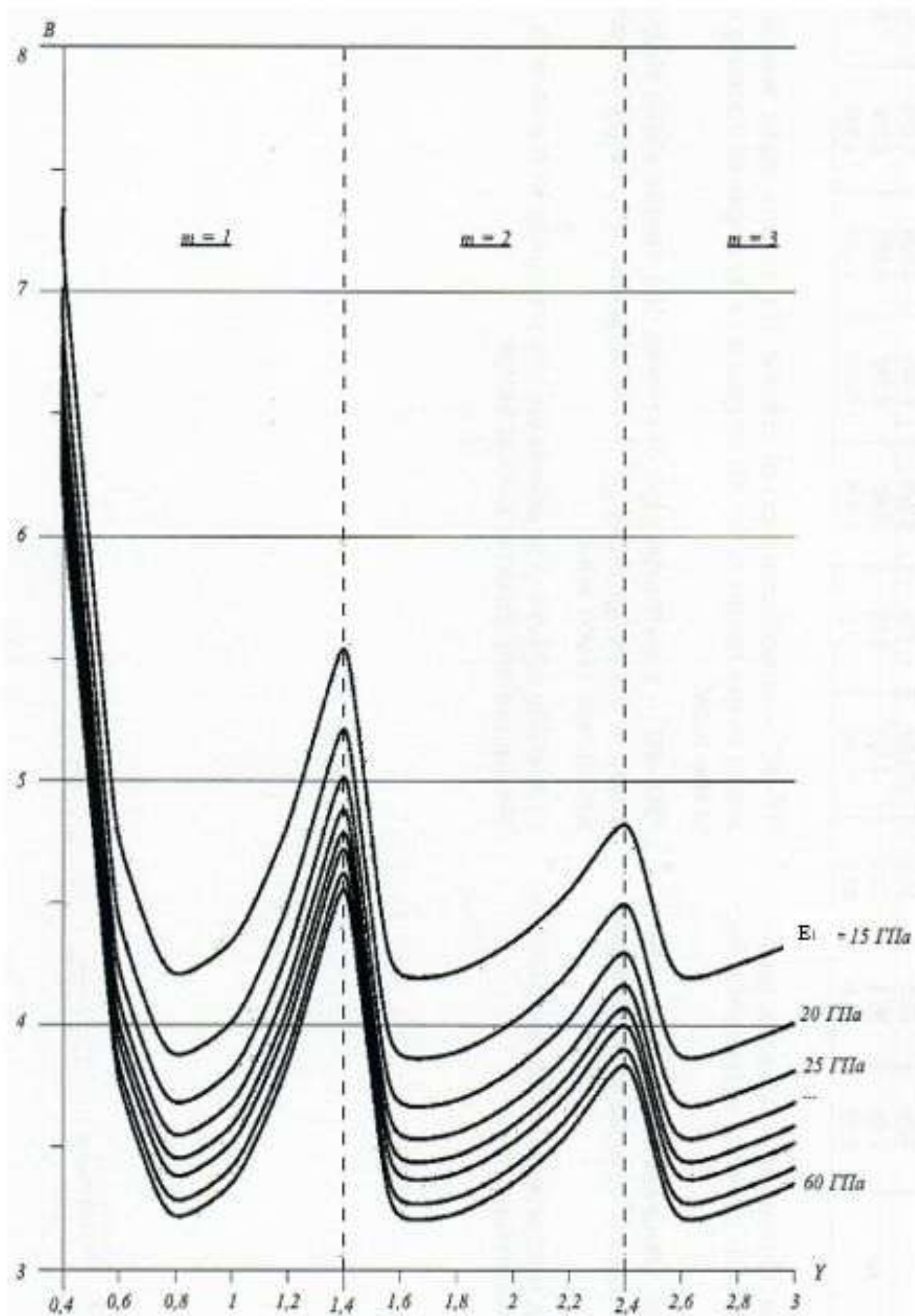


Рис. 4.1 Значення коефіцієнта B при $G_{12} = 5$ ГПа

Рис. 4.2 Значення коефіцієнта B при $G_{12} = 8,5$ ГПа

Рис. 4.3 Значення коефіцієнта B при $G_{12} = 12$ ГПа

5 СТІЙКІСТЬ ОДНОШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ ЗСУВІ

5.1 Оцінка стійкості вільно опертих одношарових пластин з ПКМ з паралельною структурою армування $[(0^\circ/90^\circ)]$ при зсуві (рис. 5.1) виконується з урахуванням величини відношення сторін пластини $\gamma = a/b$.

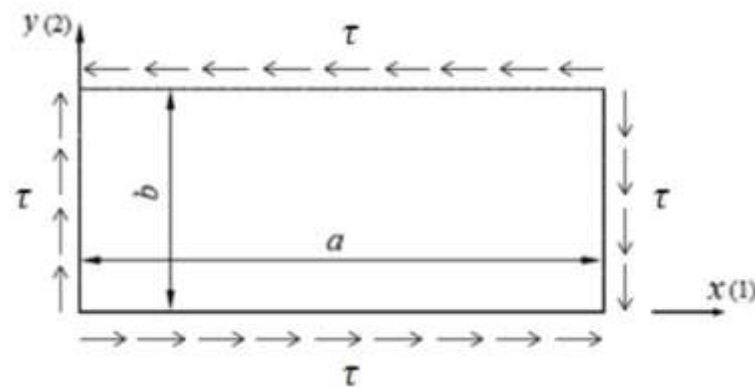


Рис. 5.1 Розрахункова схема одношарових пластин при зсуві».

5.2 При $\gamma \geq 1$ дотичне критичне напруження визначається за формулою

$$\tau_{buck} = \left(E_1/\gamma^4 + 2E_3/\gamma^4 + E_2 \right) B(t/b)^2,$$

$$\text{де } E_3 = E_1\nu_{21} + 2(1 - \nu_{12}\nu_{21})G_{12};$$

$$B = \frac{\pi^4\gamma}{384(1-\nu_{21}\nu_{12})} \sqrt{\frac{100}{1,395+4(k_1+k_2)}};$$

$$\text{де } k_1 = \frac{1+2\gamma^2A+\gamma^4\xi}{81+18\gamma^2A+\gamma^4\xi}; k_2 = \frac{1+2\gamma^2A+\gamma^4\xi}{1+18\gamma^2A+81\gamma^4\xi};$$

$$A = \nu_{21} + 2\frac{G_{12}}{E_1}(1 - \nu_{12}\nu_{21}); \gamma = a/b; \xi = \frac{E_2}{E_1};$$

$E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}, \nu_{21}$ див. 4.2.

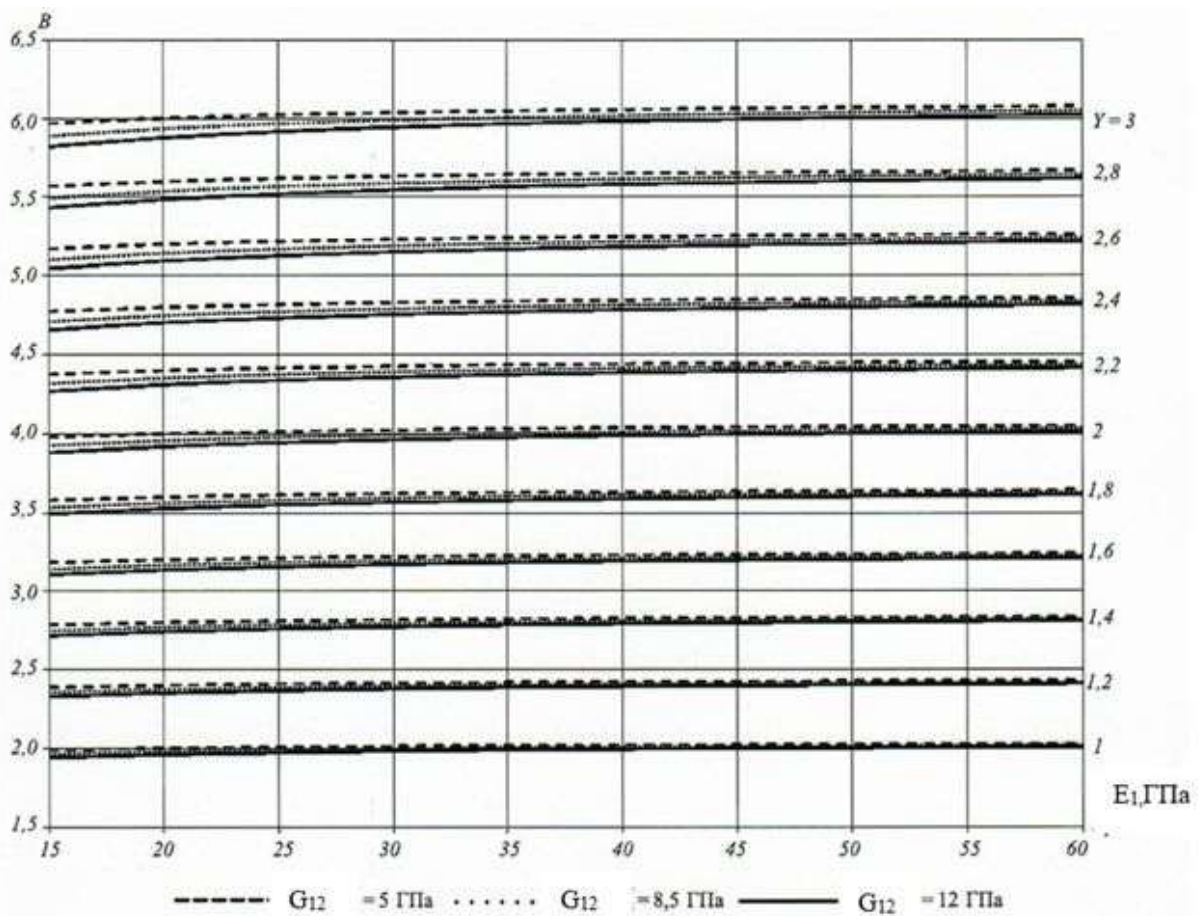
Примітка. Напрямок армування (0°) - уздовж сторони довжиною a .

Значення коефіцієнта B для $\gamma \geq 1$ наведені в табл. 5.1.1 і на рис. 5.1-1;

Таблиця 5.1.1 Значення коефіцієнта B залежно від співвідношення сторін пластини при $\gamma \geq 1$

E_1 , ГПа	γ G_{12} , ГПа	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
15	5	1,99	2,39	2,79	3,18	3,58	3,98	4,38	4,78	5,17	5,57	5,97
	8,5	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,93	4,32	4,71	5,10	5,50	5,89
	12	1,94	2,33	2,72	3,11	3,49	3,88	4,27	4,66	5,05	5,44	5,82
20	5	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20	5,60	6,00
	8,5	1,98	2,37	2,77	3,17	3,56	3,96	4,35	4,75	5,14	5,54	5,94
	12	1,96	2,35	2,74	3,14	3,53	3,92	4,31	4,70	5,10	5,49	5,88
25	5	2,01	2,41	2,81	3,21	3,61	4,02	4,42	4,82	5,22	5,62	6,02
	8,5	1,99	2,39	2,78	3,18	3,58	3,98	4,38	4,77	5,17	5,57	5,97
	12	1,97	2,37	2,76	3,16	3,55	3,94	4,34	4,73	5,13	5,52	5,92
30	5	2,01	2,42	2,82	3,22	3,62	4,03	4,43	4,83	5,23	5,64	6,04
	8,5	2,00	2,40	2,79	3,19	3,59	3,99	4,39	4,79	5,19	5,59	5,99
	12	1,98	2,38	2,77	3,17	3,57	3,96	4,36	4,76	5,15	5,55	5,95
35	5	2,02	2,42	2,82	3,23	3,63	4,03	4,44	4,84	5,24	5,65	6,05
	8,5	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20	5,61	6,01
	12	1,99	2,39	2,78	3,18	3,58	3,98	4,38	4,77	5,17	5,57	5,97
40	5	2,02	2,42	2,83	3,23	3,63	4,04	4,44	4,85	5,25	5,65	6,06

E_1 , ГПа	γ G_{12} , ГПа	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
	8,5	2,01	2,41	2,81	3,21	3,61	4,01	4,41	4,81	5,22	5,62	6,02
	12	1,99	2,39	2,79	3,19	3,59	3,99	4,39	4,79	5,18	5,58	5,98
	5	2,02	2,43	2,83	3,24	3,64	4,05	4,45	4,85	5,26	5,66	6,07
50	8,5	2,01	2,41	2,82	3,22	3,62	4,02	4,43	4,83	5,23	5,63	6,04
	12	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,81	5,21	5,61	6,01
60	5	2,03	2,43	2,84	3,24	3,65	4,05	4,46	4,86	5,27	5,67	6,08
	8,5	2,02	2,42	2,82	3,23	3,63	4,03	4,44	4,84	5,24	5,65	6,05
	12	2,01	2,41	2,81	3,21	3,61	4,02	4,42	4,82	5,22	5,62	6,02

Рис. 5.1-1 Значення коефіцієнта B залежно від співвідношення сторін пластини при $\gamma \geq 1$

5.3 При $\gamma = 0,5$ дотичне критичне напруження визначається за формулою:

$$\tau_{buck} = B \left(\frac{t}{b} \right)^2,$$

$$\text{де: } B = 0,00952 \frac{\pi^4}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \sqrt{D - \sqrt{D^2 - 9,58C}};$$

де:

$$C = E' \cdot \bar{E} \cdot \hat{E} \cdot \tilde{E}$$

$$D = 4,82E' \cdot \bar{E} + 1,31E' \cdot \tilde{E} + 0,64\hat{E} \cdot \tilde{E} + 0,101\bar{E}\tilde{E};$$

$$E' = E_1 + 2E_3 + E_2;$$

$$\bar{E} = 16E_1 + 18E_3 + 5,06E_2;$$

$$\hat{E} = E_1 + 8E_3 + 16E_2;$$

$$\tilde{E} = 16E_1 + 50E_3 + 39E_2.$$

Значення коефіцієнта B для $\gamma = 0,5$ наведені в [табл. 5.1.2](#) і на [рис. 5.1-2](#).

Таблиця 5.1.2 Значення коефіцієнта B , ГПа, залежно від співвідношення сторін пластини при $\gamma = 0,5$

$E_1 \backslash G_{12}$	15	20	25	30	35	40	50	60
5	347,76	426,46	505,05	583,58	662,07	740,54	897,41	1054,25
8,5	425,38	504,45	583,32	662,06	740,71	819,31	976,39	1133,37
12	502,45	581,89	661,05	740,02	818,87	897,63	1054,96	1212,13

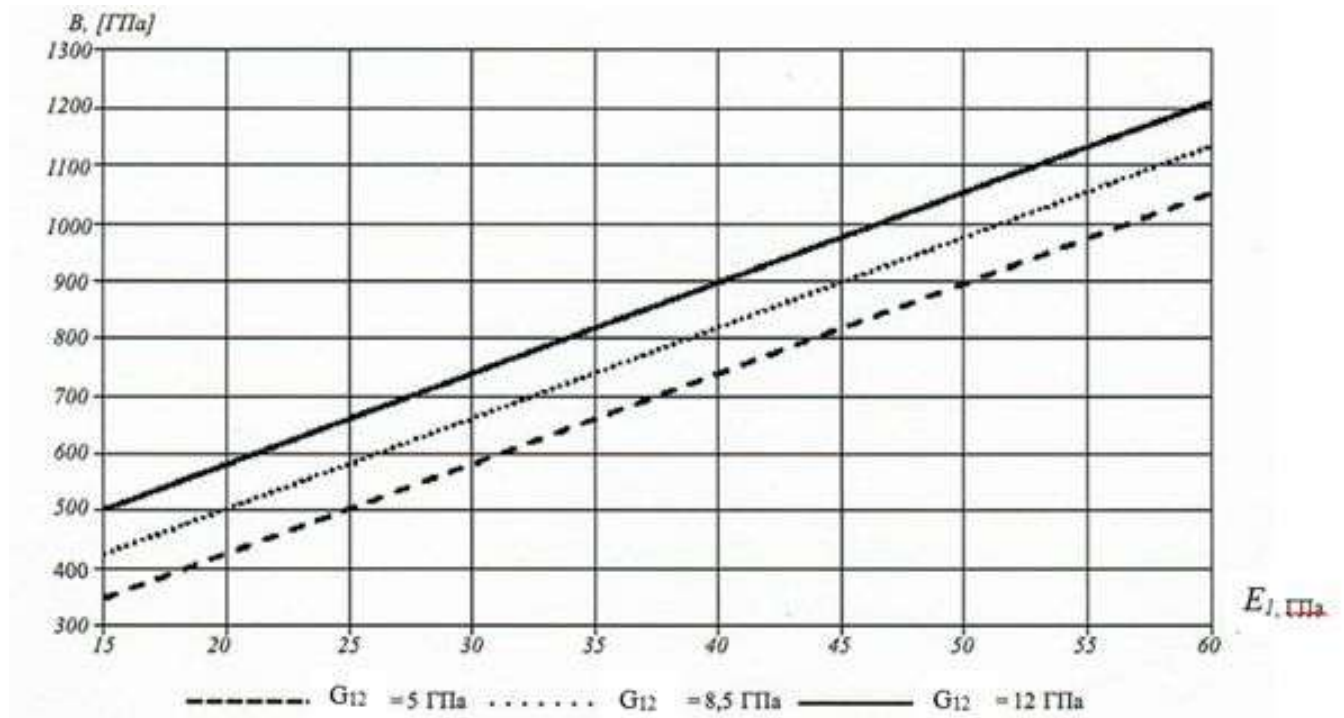


Рис. 5.1-2 Значення коефіцієнта B , ГПа, залежно від співвідношення сторін пластини при $\gamma = 0,5$

6 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ ЦИЛІНДРИЧНОМУ ЗГІНІ

У цьому розділі наведені формули для розрахунку максимальних прогинів, максимальних нормальних напружень в несучих шарах і максимальних дотичних напружень в заповнювачі для тришарових пластин з ізотропним заповнювачем корпусних конструкцій суден з ПКМ.

Розглядається поперечний прогин пластин (рис. 6), коли $\gamma = a/b > 3$ при циліндричному вигині з урахуванням різних умов кріплення країв. У всіх випадках навантаження прикладено перпендикулярно до площини пластини.

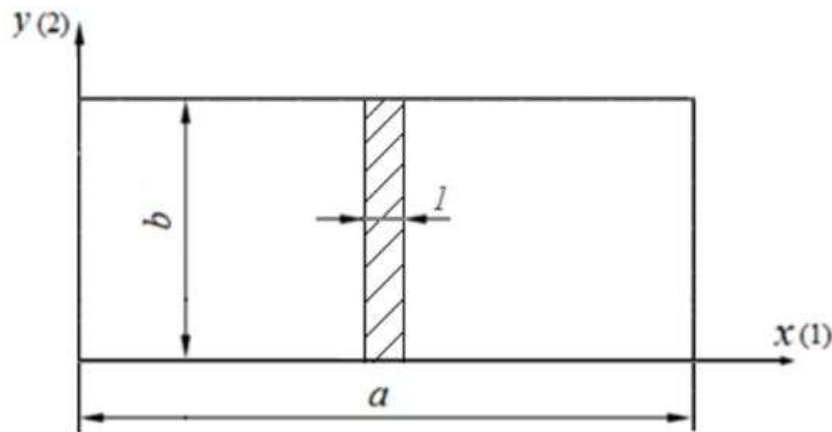


Рис. 6 Циліндричний вигин тришарових пластин

Позначення.

У цьому розділі прийняті наступні позначення:

δ - товщина кожного несучого шару, м;

h - половина товщини заповнювача тришарової пластини, м;

E_{II} - модуль нормальної пружності несучих шарів з ізотропного матеріалу, Па;

G_{II} - модуль зсуву несучих шарів, Па;

μ_{II} - коефіцієнт Пуассона несучих шарів;

E_{core} - модуль нормальної пружності ізотропного заповнювача, Па;

G_{core} - модуль зсуву ізотропного заповнювача, Па;

μ_{core} - коефіцієнт Пуассона ізотропного заповнювача;

q - рівномірно розподілене поперечне навантаження на одиницю площі, Н/м²;

p - рівномірно розподілене поперечне навантаження на одиницю довжини, Н/м;

W - максимальний прогин несучих шарів пластини, м;

σ_x - максимальні нормальні напруження в несучих шарах, Па;

τ_{xz} - максимальні дотичні напруження в ізотропному заповнювачі, Па.

Якщо несучі шари виконані з одного і того ж ізотропного матеріалу і мають однакову товщину, то повинні виконуватися наступні умови:

$$E_i^1 = E_i^2 = E_{II}, \mu_{ij}^1 = \mu_{ij}^2 = \mu_{II}, \delta_1 = \delta_2 = \delta,$$

де: $i, j = 1, 2, 3$ - напрямки осей системи координат;

E_i^1, E_i^2 - модулі нормальної пружності несучих шарів;

μ_{ij}^1, μ_{ij}^2 - коефіцієнти Пуассона несучих шарів;

δ_1, δ_2 - товщини несучих шарів.

Для заповнювача з ізотропного матеріалу виконуються наступні умови:

$$E_i^{core} = E_{core}, \mu_{ij} = \mu_{core},$$

де: E_i^{core} - модуль нормальної пружності заповнювача;

μ_{ij} - коефіцієнти Пуассона заповнювача.

Формули, наведені в цьому розділі, можуть використовуватися при виконанні наступних умов:

$$2,0 \cdot 10^{-4} \leq G_{core}/\bar{E} \leq 2,0 : 10^{-2}, 0,1 \leq \delta/h \leq 0,25$$

де

$$\bar{E} = E_{ll} / (1 - \mu_{ll}^2).$$

Формули можуть використовуватися при проведенні розрахунків для тришарових пластин з ортотропними несучими шарами, якщо їх модулі нормальної пружності відрізняються не більше ніж на 20% (відносно більшого з них), тобто при виконанні наступної умови:

$$(1 - E_2/E_1) \cdot 100 < 20\% \text{ при } E_1 > E_2,$$

де E_1 і E_2 – модулі нормальної пружності несучого шару в напрямку основного армування (напрямок 0°) і в напрямку 90° до основного армування.

У цьому випадку як модуль нормальної пружності для проведення розрахунків слід приймати середнє арифметичне значення.

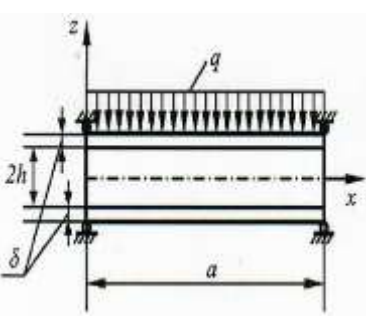
Величини, що використовуються в формулах, наведених в [табл. 6](#), визначаються за такими формулами:

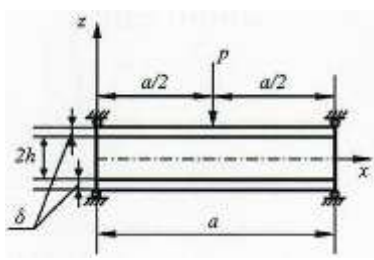
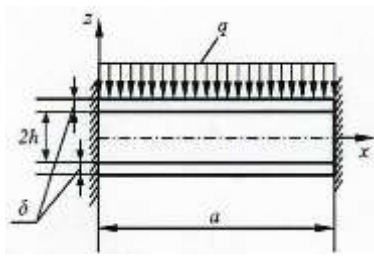
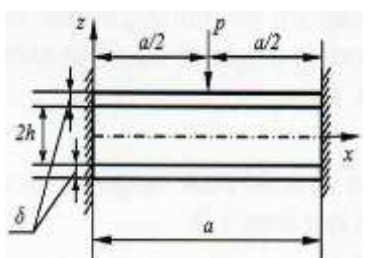
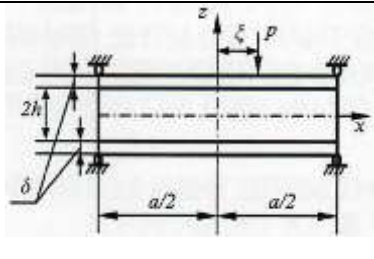
$$B_{ll} = \frac{E_{ll}\delta}{1 - \mu_{ll}^2}, B_{core} = \frac{2E_{core}h}{1 - \mu_{core}^2}, D_{ll} = \frac{E_{ll}\delta^3}{12(1 - \mu_{ll}^2)}, D_{core} = B_{core} \frac{h_2}{3},$$

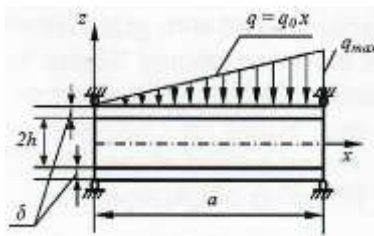
$$k = \frac{\pi^2 B_{ll} h_{long}}{G_{core} a^2}, \gamma = \frac{\pi}{a} \sqrt{\frac{1}{k \frac{2D_{ll}\eta}{D_{pl}}}}, h_{long} = h(1 + \frac{D_{core}}{2B_{ll}h^2}),$$

$$\eta = 1 + \frac{D_{core}\delta^2}{8h_{long}hD_{ll}}, D_{pl} = 2(D_{ll} + B_{ll}(h + \delta/2)^2) + D_{core}, \bar{E} = \frac{E_{ll}}{1 - \mu_{ll}^2}.$$

Таблиця 6 Розрахунок напружено-деформованого стану тришарових пластин при циліндричному вигині

Вид навантаження	Напруження	Прогини
 Кромки пластини вільно оберті, поперечне навантаження рівномірно розподілене	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = a/2$; $z = \pm(h + \delta)$: $ \sigma_x = \left \frac{qa^2}{8D_{pl}} \cdot \frac{B_{ll}(h + \delta)}{\delta} m_2 \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $x = 0, a$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{qa}{4(h_{long} + \delta/2)} \cdot \frac{h_{long}}{h} m_3 \right ,$ де: $m_2 = 1 - \frac{4k}{\pi^2} \left(\frac{\delta}{h_{long}} + \frac{4D_{ll}\eta}{D_{pl}} - \frac{2 + \delta/h_{long}}{1 + \delta/h} \times \left(\frac{\delta}{h} + \left[\frac{2D_{ll}}{D_{pl}} \left(1 - \frac{D_{core}\delta}{4hD_{ll}} \right) - \frac{\delta}{h(2 + \delta/h_{long})} \left(1 - \frac{2D_{ll}\eta}{D_{pl}} \right) \right] \operatorname{sch} \left(\frac{\gamma a}{2} \right) \right) \right),$ $m_3 = \left(1 - \frac{2D_{ll}\eta}{D_{pl}} \right) \left(1 - \frac{4k}{\pi^2} \cdot \frac{2D_{ll}\eta}{D_{pl}} \cdot \frac{\gamma a}{2} \cdot \operatorname{th} \left(\frac{\gamma a}{2} \right) \right).$	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $x = a/2$: $W = \left \frac{5}{384} \cdot \frac{qa^4}{D_{pl}} m_1 \right$ де $m_1 = 1 + \frac{48k}{5\pi^2} \left(1 - \frac{2D_{ll}\eta}{D_{pl}} \right) \times \left(1 - \frac{8k}{\pi^2} \cdot \frac{2D_{ll}\eta}{D_{pl}} \left(1 - \operatorname{sch} \left(\frac{\gamma a}{2} \right) \right) \right).$

Вид навантаження	Напруження	Прогини
 Кромки пластини вільно оберті, поперечне навантаження прикладене в центральному перерізі	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = a/2$; $z = \pm(h+\delta)$: $ \sigma_x = \left \frac{pa}{4} \cdot \frac{B_{II}(h+\delta)}{\delta D_{pl}} m_2 \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $0 \leq x \leq a$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{p}{4(h_{long} + \delta/2)} \cdot \frac{h_{long}}{h} m_3 \right ,$ де $m_2 = 1 - \frac{1}{(1 + \delta/h)\eta} \cdot \frac{2th(\gamma a/2)}{\gamma a} \times$ $\times \left(\left(1 + \frac{\delta}{2h_{long}}\right) \left(1 - \frac{D_{core}\delta}{4hD_{II}}\right) + \frac{\delta}{2h} \left(\eta - \frac{D_{pl}}{2D_{II}}\right) \right),$ $m_3 = \left(1 - \frac{2D_{II}\eta}{D_{pl}}\right) \left(1 - \operatorname{sch}\left(\frac{\gamma a}{2}\right)\right).$	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $x = a/2$: $ W = \left \frac{pa^3}{48D_{pl}} m_1 \right ,$ де $m_1 = 1 + \frac{12k}{\pi^2} \left(1 - \frac{2D_{II}\eta}{D_{pl}}\right) \times$ $\times \left(1 - \frac{2th(\gamma a/2)}{\gamma a}\right).$
 Кромки пластини жорстко защемлені, поперечне навантаження рівномірно розподілене	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = 0, a$; $z = \pm(h+\delta)$: $ \sigma_x = \left \frac{\bar{E}qa^2}{12D_{pl}} (h+\delta) \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $x = 0, a$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{p}{4hD_{pl}} qa \right ,$ де $\bar{D} = 2B_{II}h(h + \delta/2) + D_{core}$.	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $x = a/2$: $ W = \left \frac{1}{384} \cdot \frac{qa^4}{D_{pl}} m_1 \right ,$ де $m_1 = 1 + \frac{48k_1}{\pi^2}$, $k_1 = \frac{\pi^2 B_0 h}{2G_{core} a^2}$ $B_0 = 2B_{II} + B_{core}/3$
 Кромки пластини жорстко защемлені, поперечне навантаження рівномірно розподілене в центральному перерізі	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = a/2$; $z = \pm(h+\delta)$: $ \sigma_x = \left \frac{pa}{8} \cdot \frac{B_{II}(h+\delta)}{\delta D_{pl}} m_2 \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $0 \leq x \leq a$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{p}{4(h_{long} + \delta/2)} \cdot \frac{h_{long}}{h} m_3 \right ,$ де $m_2 = 1 - \frac{th(\gamma a/4)}{\eta(1 + \delta/h)(\gamma a/4)} \times$ $\times \left(\left(1 - \frac{D_{core}\delta}{4hD_{II}}\right) \left(1 + \frac{\delta}{2h_{long}}\right) - \frac{\delta D_{pl}}{4hD_{II}} \left(1 - \frac{D_{II}\eta}{D_{pl}}\right) \right),$ $m_3 = \left(1 - \frac{2D_{II}\eta}{D_{pl}}\right) \left(1 - \operatorname{sch}\left(\frac{\gamma a}{4}\right)\right).$	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $x = a/2$: $ W = \left \frac{1}{192} \cdot \frac{pa^3}{D_{pl}} m_1 \right ,$ де $m_1 = 1 + \frac{48k_1}{\pi^2} \left(1 - \frac{2D_{II}\eta}{D_{pl}}\right) \times$ $\times \left(1 - \frac{4th(\gamma a/4)}{\gamma a}\right).$
 Кромки пластини вільно оберті, поперечне	У даному випадку для розрахунку напружень для G_{core}/E повинна виконуватися така умова: $2,0 \cdot 10^4 \leq G_{core}/\bar{E} \leq 2,0 \cdot 10^{03}$ Формули можуть бути використані при виконанні наступної умови: $-a/2 \leq x \leq \xi.$ Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = \xi$; $z = \pm$	Прогин пластини визначається за формулою $ W = \left \frac{p}{D_{pl}} \left[C_2 - C_1 x + \right. \right.$ $\left. C_3 \left(\frac{2B_{II}(h+\delta/2)}{G_{core}} - \frac{x^2}{3} \right) x - \frac{C_4 x^2}{2} + \right.$

Вид навантаження	Напруження	Прогини
навантаження рівномірно розподілене в будь-якому перерізі	$(h+\delta)$: $ \sigma_x = \left \frac{p}{D1_{pl}} \cdot \frac{E_{II}}{1-\mu_{II}^2} (h+\delta) \left[2C_3\xi + C_4 + \frac{k1^2}{h+\delta} \times \left(\frac{D_{II}}{B_{II}(h+\delta/2)} - \delta/2 \right) (C_5 \cdot \text{sh}(k1\xi) + C_6 \cdot \text{ch}(k1\xi)) \right] \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $a/2 \leq x \leq \xi$; $z = 0$ (при $\xi \leq 0$): $ \tau_{xz} = \frac{p}{D1_{pl}} 2B_2(h+\delta/2) \left[C_3 + \frac{D_{II} k1^3}{2B_{II}(h+\delta/2)^2} \times (C_5 \cdot \text{ch}(-k1 a/2) + C_6 \cdot \text{sh}(-k1 a/2)) \right],$ д $D1_{pl} = 2(D_{II} + B_{II}(h+\delta/2)^2)$, $k1 = \sqrt{\frac{G_{core} D1_{pl}}{2B_{II} D_{II} h}}$, $C_3 = \frac{a/2 - \xi}{2a}, C_4 = \frac{a/2 - \xi}{2},$ $C_5 = \frac{B_{II}(h+\delta/2)^2 \cdot \text{sh}(k1(a/2 - \xi))}{2D_{II} k1^3 \cdot \text{sh}(k1 a/2)},$ $C_6 = \frac{B_{II}(h+\delta/2)^2 \cdot \text{sh}(k1(a/2 - \xi))}{2D_{II} k1^3 \cdot \text{ch}(k1 a/2)}.$	$C_5 \text{sh}(k1 \cdot x) + C_6 \text{ch}(k1 \cdot x) \Big ,$ де: $C_1 = \frac{a/2 - \xi}{2a} \left(\frac{2B_{II}(h+\delta/2)^2}{D_{II} k1^2 d} - \frac{\xi}{2} (a - \xi) \right),$ $C_2 = \frac{a/2 - \xi}{4} \left(\frac{2B_{II}(h+\delta/2)^2}{D_{II} k1^2} + \frac{\xi}{3} (a - \xi) + \frac{a^2}{6} \right),$ $C_3 = \frac{a/2 - \xi}{2a}, C_4 = \frac{a/2 - \xi}{2},$ $C_5 = \frac{B_{II}(h+\delta/2)^2 \cdot \text{sh}(k1(a/2 - \xi))\xi}{2D_{II} k1^3 \cdot \text{sh}(k1 a/2)},$ $C_6 = -\frac{B_{II}(h+\delta/2)^2 \cdot \text{sh}(k1(a/2 - \xi))}{2D_{II} k1^3 \cdot \text{ch}(k1 a/2)},$ $D1_{pl} = 2(D_{II} + B_{II}(h+\delta/2)^2),$ $k1 = \sqrt{\frac{G_3 D1_{pl}}{2B_{II} D_{II} h}},$ $d = \frac{B_{II} h (h+\delta/2)}{D_{II} + (B_{II} d/2)(h+\delta/2)},$ Прогин пластини має максимальне значення в перерізі, координата якого задовольняє умові $\partial W / \partial x = 0$ і знаходиться в діапазоні $-a/2 \leq x \leq \xi$; (прогин пластини при $x = \xi$ відрізняється від максимального не більше ніж на 10%)
 Кромки пластини вільно оберті, поперечне навантаження розподілене по закону трикутника	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = x_2 = \sqrt{\frac{a^2}{3} + \frac{hB_{II}\delta}{G_{core}(h+\delta)}},$ $z = \pm(h+\delta)$ і визначаються за формулою $ \sigma_x = \left \frac{q_0 x_2}{2h+\delta} \times \left(\frac{2(h+d)}{d(2h+\delta)} \left(\frac{hB_{II}}{G_{core}} + \frac{a^2 - x_2^2}{6} \right) - \frac{hB_{II}}{\delta G_{core}} \right) \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $x = a$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{q_0 a^2}{3(2h+\delta)} \right ,$ де: $q_0 = \frac{q_{\max}}{a},$ $q_{\max}$ - максимальне розподілене поперечне навантаження на одиницю площі.	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при і визначається за формулою $x = x_1 = \sqrt{\frac{3m_1(10a^2 + m_2) - \sqrt{m_3}}{30m_1}},$ $ W = \left \frac{q_0 x_1}{180B_{II}(2h+\delta)^3} \times \left(7a^4 - 10a^2 x_1^2 + 3x_1^4 + 60 \frac{hB_{II}}{G_{core}} (a^2 - x_1^2) \right) \right ,$ д $m_1 = \frac{q_0}{180B_{II}(2h+\delta)^2},$ $m_2 = \frac{60hB_{II}}{G_{core}},$ $m_3 = (3m_1(10a^2 + m_2))^2 - 60m_1^2(7a^4 + m_2a^2),$ д $q_0 = \frac{q_{\max}}{a},$ $q_{\max}$ - максимальне розподілене поперечне навантаження на одиницю площі.

7 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ ЦИЛІНДРОЧНОМУ ЗГІНІ ПРИ ДІЇ МІСЦЕВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У цьому розділі наведені формули для розрахунку максимальних прогинів, максимальних нормальних напружень в несучих шарах і максимальних дотичних напружень в заповнювачі для тришарових пластин симетричної будови з ізотропним заповнювачем корпусних конструкцій суден з ПКМ.

Розглядається циліндричний вигин тришарових пластин (рис. 6) під впливом місцевих навантажень.

Позначення.

У цьому розділі прийняті наступні позначення.

δ - товщина кожного несучого шару, м;

h - половина товщини заповнювача тришарової пластини, м;

E_{II} - модуль нормальної пружності несучих шарів з ізотропного матеріалу, Па;

μ_{II} - коефіцієнт Пуассона несучих шарів;

E_{core} - модуль нормальної пружності ізотропного заповнювача, Па;

μ_{core} - коефіцієнт Пуассона ізотропного заповнювача;

q - рівномірно розподілене поперечне навантаження на одиницю площі, Н/м²;

p - рівномірно розподілене поперечне навантаження на одиницю довжини, Н/м;

M - інтенсивність рівномірно розподіленого моменту на одиницю довжини, Н;

W - максимальний прогин несучих шарів пластини, м;

σ_x - максимальні нормальні напруження в несучих шарах, Па;

τ_{xz} - максимальні дотичні напруження в ізотропному заповнювачі, Па.

Якщо несучі шари виконані з одного і того ж ізотропного матеріалу і мають однакову товщину, то повинні виконуватися наступні умови:

$$E_i^1 = E_i^2 = E_{II}, \mu_{ij}^1 = \mu_{ij}^2 = \mu_{II}, \delta_1 = \delta_2 = \delta,$$

де: $i, j = 1, 2$ - напрямки осей системи координат;

E_i^1, E_i^2 - модулі нормальної пружності несучих шарів;

μ_{ij}^1, μ_{ij}^2 - коефіцієнти Пуассона несучих шарів;

δ_1, δ_2 - товщини несучих шарів.

Для заповнювача з ізотропного матеріалу виконуються наступні умови:

$$E_i^{core} = E_{core}, \mu_{ij} = \mu_{core},$$

де: E_i^{core} - модуль нормальної пружності заповнювача;

μ_{ij} - коефіцієнти Пуассона заповнювача.

Формули, наведені в цьому розділі, можуть використовуватися при проведенні розрахунків для тришарових пластин з ортотропними несучими шарами, якщо їх модулі нормальної пружності відрізняються не більше ніж на 20% (відносно більшого з них), тобто при виконанні наступної умови:

$$(1 - E_2/E_1) \cdot 100 < 20\% \text{ при } E_1 > E_2,$$

де E_1 і E_2 – модулі нормальної пружності несучого шару в напрямку основного армування (напрямок 0°) і в напрямку 90° до основного армування.

У цьому випадку як модуль нормальної пружності для проведення розрахунків слід приймати середнє арифметичне значення.

Величини, що використовуються в формулах, наведених в табл. 7, можуть застосовуватися при виконанні наступних умов:

- при розрахунку максимальних нормальних напружень, які діють у верхньому несучому шарі пластини

$$\sqrt[3]{E_{core}/E_{II}} \cdot (2h/\delta) \leq 8,0;$$

- при розрахунку максимальних прогинів пластини

$$\sqrt[3]{E_{core}/E_{II}} \cdot (2h/\delta) \leq 1,6$$

Коефіцієнт жорсткості пружної основи визначається за наступною формулою

$$C = \frac{1}{f} \frac{2(1-\mu_{core})}{(1+\mu_{core})(3-4\mu_{core})} \lambda \sqrt{E_{core}},$$

$$\text{де: } f = \frac{(sh(\varepsilon_1))^2 - (\varepsilon_2)^2}{\varepsilon_2 + sh(\varepsilon_1)ch(\varepsilon_1)},$$

$$\varepsilon_1 = \lambda 2h,$$

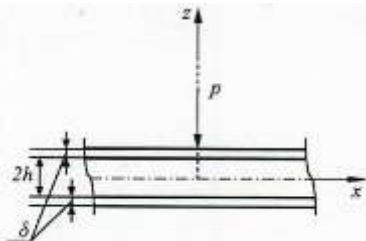
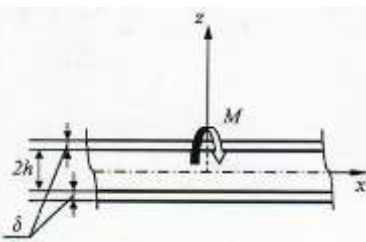
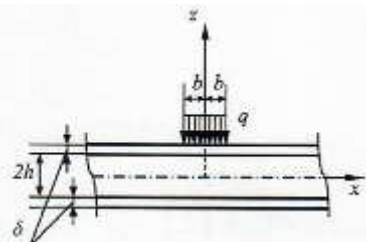
$$\varepsilon_2 = \frac{\lambda 2h}{3 - 4\mu_{core}},$$

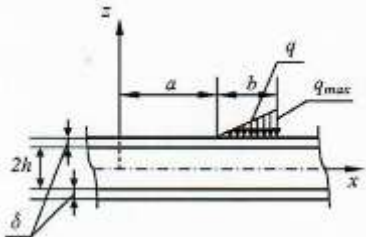
$$\lambda = \pi/a_x, \quad a_x = \pi^3 \sqrt{2 D_{II}/k_1},$$

$$D_{II} = \frac{E_{II}\delta^3}{12(1-\mu_{II}^2)},$$

$$k_1 = \frac{2(1-\mu_{core})E_{core}}{(1+\mu_{core})(3-4\mu_{core})}.$$

Таблиця 7 Розрахунок напружено-деформованого стану тришарових пластин при циліндричному вигині при дії місцевих навантажень

Вид навантаження	Напруження	Прогини
 Поперечне навантаження рівномірно розподілене по ширині пластини в будь-якому перерізі	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = 0$; $z = h + \delta$: $ \sigma_x = \left \frac{3p}{2\delta^2} \sqrt[4]{\frac{E_{II}\delta^3}{3C}} \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $x = 0$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{3p}{8h} \right .$	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $x = 0$: $ W = \left \frac{p}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{C^3 E_{II} \delta^3}} \right .$
 Пластина навантажена моментом, рівномірно розподіленим по ширині пластини в будь-якому перерізі	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = 0$; $z = h + \delta$: $ \sigma_x = \left \frac{3M}{\delta^2} \right ,$ дотичні напруження в заповнювачі мають максимальні значення при $x = 0$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{3M}{8h} \sqrt[4]{\frac{3C}{E_{II}\delta^3}} \right .$	Прогин пластини визначається за формулою $ W = \left M \sqrt[4]{\frac{3}{CE_{II}\delta^3}} e^{-mx} \sin(mx) \right ,$ $m = \sqrt[4]{\frac{3C}{E_{II}\delta^3}}$ Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $\partial W / \partial x = 0$
 Поперечне навантаження рівномірно розподілене в обмеженій області пластини на будь-якій ділянці	Нормальні напруження в несучих шарах мають максимальні значення при $x = 0$; $z = h + \delta$: $ \sigma_x = \left \frac{3qE_{II}''}{2} \sqrt[4]{\frac{E_{II}}{3C\delta^3}} \right ,$ дотичні напруження мають максимальні значення при $x = \pm b$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{3q}{4h} \sqrt[4]{\frac{E_{II}\delta^3}{3C}} (-0,25E_{II}C_{\varphi}''' - 0,25E_{II}''C_{\varphi}') \right ,$ де: $C_{\varphi}' = sh(\varphi) \cos(\varphi) - ch(\varphi) \sin(\varphi),$ $C_{\varphi}'' = -2(sh(\varphi) \cos(\varphi) + ch(\varphi) \sin(\varphi)),$ $C_{\beta} = ch(\beta) \cos(\beta),$ $C_{\beta}' = sh(\beta) \cos(\beta) - ch(\beta) \sin(\beta),$ $C_{\beta}'' = -2sh(\beta) \sin(\beta),$ $C_{\beta}''' = -2(sh(\beta) \cos(\beta) + ch(\beta) \sin(\beta)),$ $E_{\beta} = C_{\beta} - 0,5C_{\beta}' + 0,25C_{\beta}''',$ $E_{\beta}' = -C_{\beta}' + C_{\beta}'' - 0,5C_{\beta}''',$ $\varphi = xm, \beta = bm, m = \sqrt[4]{\frac{3C}{E_{II}\delta^3}}.$	Прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $x = 0$: $ W = \left \frac{q(1-E_{\beta})}{c} \right ,$ де $C_{\beta} = ch(\beta) \cos(\beta)$, $C_{\beta}' = sh(\beta) \cos(\beta) - ch(\beta) \sin(\beta)$, $C_{\beta}'' = -2(sh(\beta) \cos(\beta) + ch(\beta) \sin(\beta))$, $E_{\beta} = C_{\beta} - 0,5C_{\beta}' + 0,25C_{\beta}'''$, $\beta = bm, m = \sqrt[4]{\frac{3C}{E_{II}\delta^3}}.$
	Значення розподіленого навантаження залежно від координати перерізу визначається за формулою $q = q_{max}(x - a)/b$, при цьому a слід вибирати таким чином, щоб виконувалася умова $20\delta \leq a \leq 30\delta$.	

Вид навантаження	Напруження	Прогини
 Поперечне навантаження, розподілене за законом трикутника, прикладене в обмеженій області пластини на будь-якій ділянці	Значення нормальних напружень на ділянці дії навантаження визначаються за наступною формулою $ \sigma_x = \left \frac{6q_{\max}}{\beta m^2 \delta^2} \times \right. \\ \left. \times (0,25A2 \cdot C''_{\varphi} + 0,25B2 \cdot C'''_{\varphi} - C2C'_{\varphi} - D2C''_{\varphi}) \right ,$ нормальні напруження мають максимальне значення в перерізі при $\partial \sigma_x / \partial x = 0$, якщо $z = h + \delta$; дотичні напруження мають максимальні значення при $x = a + b$; $z = 0$: $ \tau_{xz} = \left \frac{3q_{\max}}{4\beta m h} \times \right. \\ \left. \times (0,25A2 \cdot C''_{\varphi} + B2 \cdot C'_{\varphi} - C2C'_{\varphi} - D2C''_{\varphi}) \right ,$ де $C_{\varphi} = \operatorname{ch}(\varphi) \cos(\varphi),$ $C'_{\varphi} = \operatorname{sh}(\varphi) \cos(\varphi) - \operatorname{ch}(\varphi) \sin(\varphi),$ $C''_{\varphi} = -2\operatorname{sh}(\varphi) \sin(\varphi),$ $C'''_{\varphi} = -2\operatorname{sh}(\varphi) \cos(\varphi) + \operatorname{ch}(\varphi) \sin(\varphi),$ $C_{\alpha} = \operatorname{sh}(\alpha) \cos(\alpha) - \operatorname{ch}(\alpha) \sin(\alpha),$ $C'_{\alpha} = -2\operatorname{sh}(\alpha) \sin(\alpha),$ $C_{\alpha\beta} = \operatorname{ch}(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta),$ $C'_{\alpha\beta} = \operatorname{sh}(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) - \operatorname{ch}(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta),$ $C''_{\alpha\beta} = -2\operatorname{sh}(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta),$ $C'''_{\alpha\beta} = -2\operatorname{sh}(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) + \operatorname{ch}(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta),$ $E'_{\alpha\beta} = -C_{\alpha\beta} + C'_{\alpha\beta} - 0,5C''_{\alpha\beta},$ $E''_{\alpha\beta} = -C_{\alpha\beta} + C'_{\alpha\beta} - 0,5C'''_{\alpha\beta},$ $E'''_{\alpha\beta} = 2C_{\alpha\beta} - C'_{\alpha\beta} + C''_{\alpha\beta},$ $A2 = 0,5(-\beta E'''_{\alpha\beta} + E'_{\alpha\beta} + C'_{\alpha} - C''_{\alpha}),$ $B2 = 0,25C''_{\alpha},$ $C2 = -0,25C'_{\alpha},$ $D2 = 0,25(\beta E'_{\alpha\beta} - E'_{\alpha\beta} + C'_{\alpha} - 0,5C''_{\alpha}),$ $\alpha = am, \beta = bm, m = \sqrt[4]{\frac{3C}{E_{II}\delta^3}},$ при визначенні нормальних напружень $\varphi = xm$, при визначенні дотичних напружень $\varphi = (a + b)m$	Прогин пластини на ділянці, на якій прикладене навантаження, визначається за формулою $ W = \left \frac{q_{\max}}{\beta C} \times \right. \\ \left. \times (F + [A2 \cdot C_{\varphi} + B2 \cdot C'_{\varphi} + C2 \cdot C''_{\varphi} + D2 \cdot C'''_{\varphi}]) \right ,$ прогин пластини має максимальне значення в перерізі при $\partial W / \partial x = 0$; де: $C_{\varphi} = \operatorname{cp}(\varphi) \cos(\varphi),$ $C'_{\varphi} = \operatorname{sh}(\varphi) \cos(\varphi) - \operatorname{ch}(\varphi) \sin(\varphi),$ $C''_{\varphi} = -2\operatorname{sh}(\varphi) \sin(\varphi),$ $C'''_{\varphi} = -2(\operatorname{sh}(\varphi) \cos(\varphi) + \operatorname{ch}(\varphi) \sin(\varphi)),$ $C_{\alpha} = \operatorname{sh}(\alpha) \cos(\alpha) - \operatorname{ch}(\alpha) \sin(\alpha),$ $C'_{\alpha} = -2\operatorname{sh}(\alpha) \sin(\alpha),$ $C_{\alpha\beta} = \operatorname{ch}(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta),$ $C'_{\alpha\beta} = \operatorname{sh}(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) - \operatorname{ch}(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta),$ $C''_{\alpha\beta} = -2\operatorname{sh}(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta),$ $C'''_{\alpha\beta} = -2(\operatorname{sh}(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) + \operatorname{ch}(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \beta)),$ $E'_{\alpha\beta} = -C_{\alpha\beta} + C'_{\alpha\beta} - 0,5C''_{\alpha\beta},$ $E''_{\alpha\beta} = -C_{\alpha\beta} + C'_{\alpha\beta} - 0,5C'''_{\alpha\beta},$ $E'''_{\alpha\beta} = 2C_{\alpha\beta} + C'_{\alpha\beta} + C''_{\alpha\beta},$ $A2 = 0,5(-\beta E'''_{\alpha\beta} + E'_{\alpha\beta} + C'_{\alpha} - C''_{\alpha}),$ $B2 = 0,25C''_{\alpha},$ $C2 = 0,25C'_{\alpha},$ $D2 = 0,25(\beta E'_{\alpha\beta} - E'_{\alpha\beta} + C'_{\alpha} - 0,5C''_{\alpha}),$ $\alpha = am, \beta = bm, \varphi = xm,$ $m = \sqrt[4]{\frac{3C}{E_{II}\delta^3}},$ $F = \varphi - \alpha.$

8 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ ВИГІНІ

8.1 Краї пластини вільно оперти, поперечне навантаження рівномірно розподілене. У 8.2 наведено формули для розрахунку максимальних прогинів, максимальних нормальних напружень в несучих шарах і максимальних дотичних напружень в заповнювачі для тришарових пластин симетричної конструкції з ізотропними зовнішніми шарами однакової товщини і трансверсально-ізотропним заповнювачем, у якого площа ізоотропії збігається з площиною пластини. Розглядається поперечний вигин тришарових пластин. Навантаження прикладено перпендикулярно до площини пластини.

За цими формулами можна розраховувати також і пластини з ізотропним заповнювачем.

Позначення.

У цьому розділі прийняті наступні позначення:

a – довжина пластини, м;

b – ширина пластини, м;

δ – товщина кожного несучого шару, м;

h – половина товщини заповнювача тришарової пластини;

E_{bl} – модуль нормальної пружності несучих шарів тришарової пластини;

$\nu_{12(bl)}$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу несучих шарів тришарової пластини;

E_{core} – модуль нормальної пружності заповнювача в площині ізотропії тришарової пластини;

G_{core} – модуль зсуву заповнювача в площині, нормальній до площини ізотропії тришарової пластини, Па;

ν_{core} – коефіцієнт Пуассона заповнювача тришарової пластини;

p – рівномірно розподілене навантаження, Н/м²;

w – максимальний прогин несучих шарів пластини, м;

σ_x, σ_y – максимальні нормальні напруження в несучих шарах, Па;

τ_{xz}, τ_{yz} – максимальні дотичні напруження в заповнювачі, Па.

Розрахунки за формулами 8.2 можуть виконуватися за таких умов:

$$\frac{G_{core}}{G_{bl}} (1 - \nu_{12(bl)}^2) > 0,005 \text{ при } \frac{2h}{a} \sqrt{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2} \leq 0,3 \text{ і } 0,01 \leq \frac{\delta}{h} \leq 0,5.$$

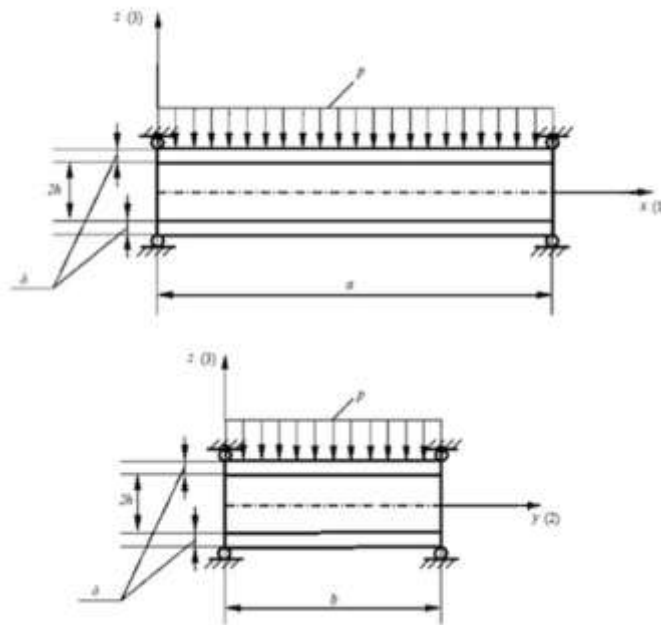


Рис. 8.1 Від навантаження тришарової пластини».

8.2 Прогин пластини має максимальне значення при $x = a/2, y = b/2$ і визначається за формулою

$$|W|_{x=a/2, y=b/2} = \frac{8p}{\pi^2 G_{core}} m_1,$$

$$\text{де: } m_1 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (-1)^{(m-1)/2} (-1)^{(n-1)/2} \frac{1}{d \cdot m \cdot n \cdot r} \left(k_1 ch \left((r_1 h) \right) + \frac{B_{ll} r}{G_{core}} sh(r_1 h) \right);$$

$$B_{ll} = \frac{E_{bl} \delta}{1 - \nu_{12(bl)}^2};$$

$2h$ - товщина заповнювача тришарової пластини;

$$m = 2i + 1, n = 2j + 1, \alpha = m\pi/a, \beta = n\pi/b;$$

$$r^2 = \alpha^2 + \beta^2, r_l = rk_l;$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{E_{core}}{(1 - \nu_{core}^2) G_{core}}};$$

$$d = \left(h + \frac{B_{ll}\delta^2 r^2}{3G_{core}} r_1 ch(r_1 h) - \left(1 - \frac{B_{ll}r^2}{G_{core}} \left(h + \delta + \frac{B_{ll}\delta^2 r^2}{12G_{core}} \right) \right) sh(r_1 h) \right)$$

Нормальні напруження в несучих шарах σ_x і σ_y мають максимальні значення при $x = a/2$, $y = b/2$ і обчислюються за формулами:

$$|\sigma_x|_{x=a/2, y=b/2} = \frac{8pE_{bl}}{(1-v_{12}^2(b))\pi^2 G_{core}} m_2,$$

$$m_2 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (-1)^{(m-1)/2} (-1)^{(n-1)/2} \frac{1}{d \cdot m \cdot n \cdot r} (\alpha^2 + v_{12(b)} \beta^2) (\delta r_1 ch(r_1 h) + \left(1 + \frac{B_{ll}\delta r^2}{2G_{core}} sh(r_1 h) \right));$$

$$|\sigma_y|_{x=a/2, y=b/2} = \frac{8pE_{bl}}{(1-v_{12}^2(b))\pi^2 G_{core}} m_3,$$

$$m_3 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (-1)^{\frac{m-1}{2}} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{1}{d \cdot m \cdot n \cdot r} (\beta^2 + v_{12(b)} \alpha^2) (\delta r_1 ch(r_1 h) + \left(1 + \frac{B_{ll}\delta r^2}{2G_{core}} sh(r_1 h) \right)).$$

Дотичні напруження в заповнювачі τ_{xz} мають максимальні значення при $x = 0$; a , $y = b/2$; і визначаються за формулою

$$|\tau_{xz}|_{x=0; a, y=b/2} = \frac{8pB_{ll}}{\pi a G_{core}} m_4,$$

$$\text{де: } m_4 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (-1)^{(n-1)/2} \frac{1}{d \cdot n} \left(sh(r_1 h) + \frac{r_1 \delta}{2} + \frac{r_1 G_{core}}{B_{ll} r^2} (ch(r_1 h) - 1) \right).$$

Дотичні напруження в заповнювачі τ_{yz} мають максимальні значення при $x = 0$, $y = b/2$ і визначаються за формулою

$$|\tau_{yz}|_{x=a/2; y=0; b} = \frac{8pB_{ll}}{\pi b G_{core}} m_5,$$

де:

$$m_5 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (-1)^{(m-1)/2} \frac{1}{d \cdot m} \left(sh(r_1 h) + \frac{r_1 \delta}{2} + \frac{r_1 G_{core}}{B_{ll} r^2} (ch(r_1 h) - 1) \right).$$

Н приймається таким чином, щоб різниця між значеннями сусідніх членів числового ряду становила не більше 5 %.

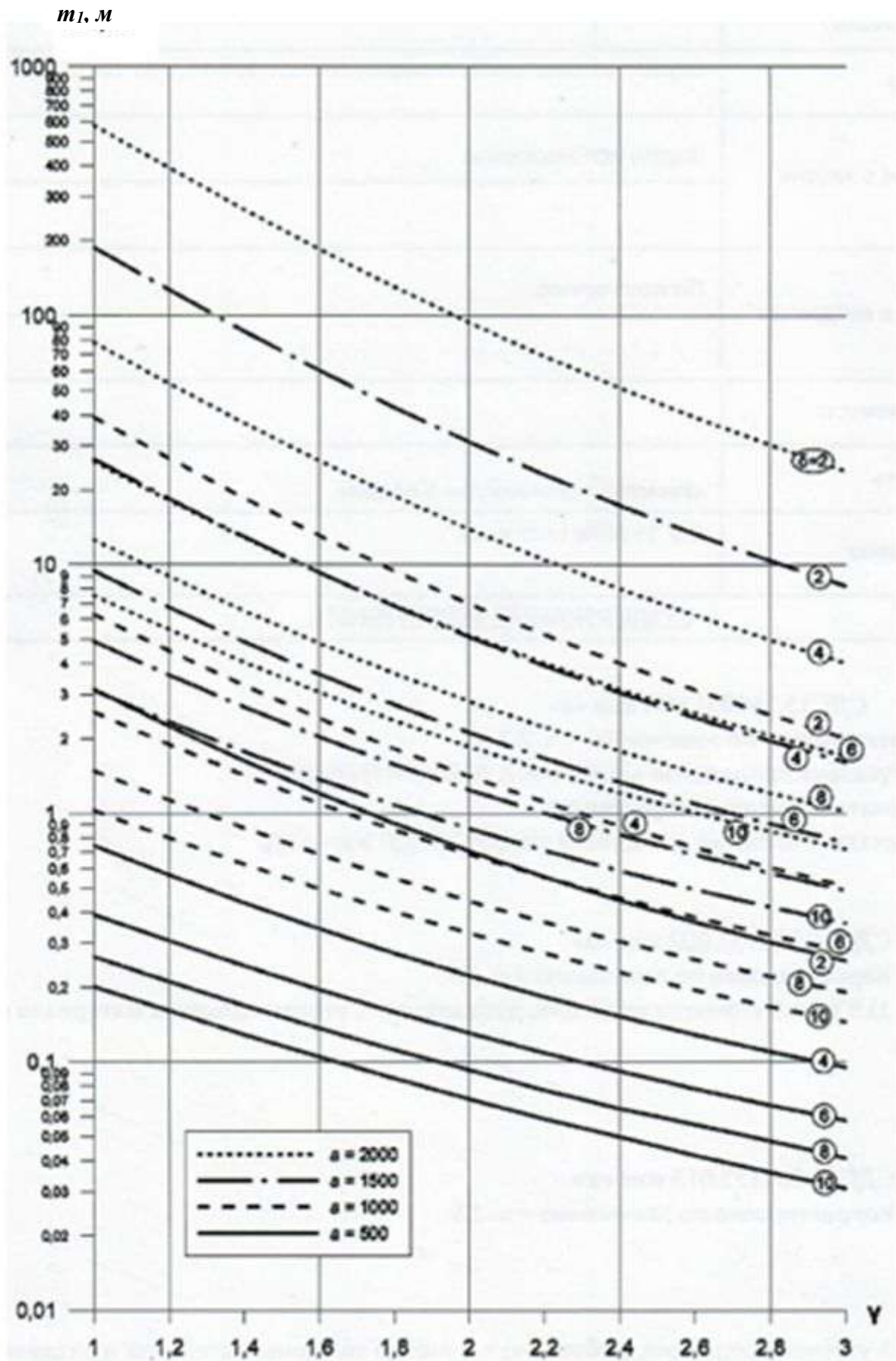
Значення коефіцієнтів m_i , $i = 1, 5$ для тришарових пластин з найбільш раціональними геометричними та фізичними характеристиками $h/\delta = 5$ і $v_{core} = 0,38 \div 0,4$ наведені на [рис.8.2-1](#) — [8.2-15](#).

Для інших значень h/δ і v_{core} коефіцієнти m_i , $i = 1, 5$ визначаються за наведеними в цьому розділі формулами.

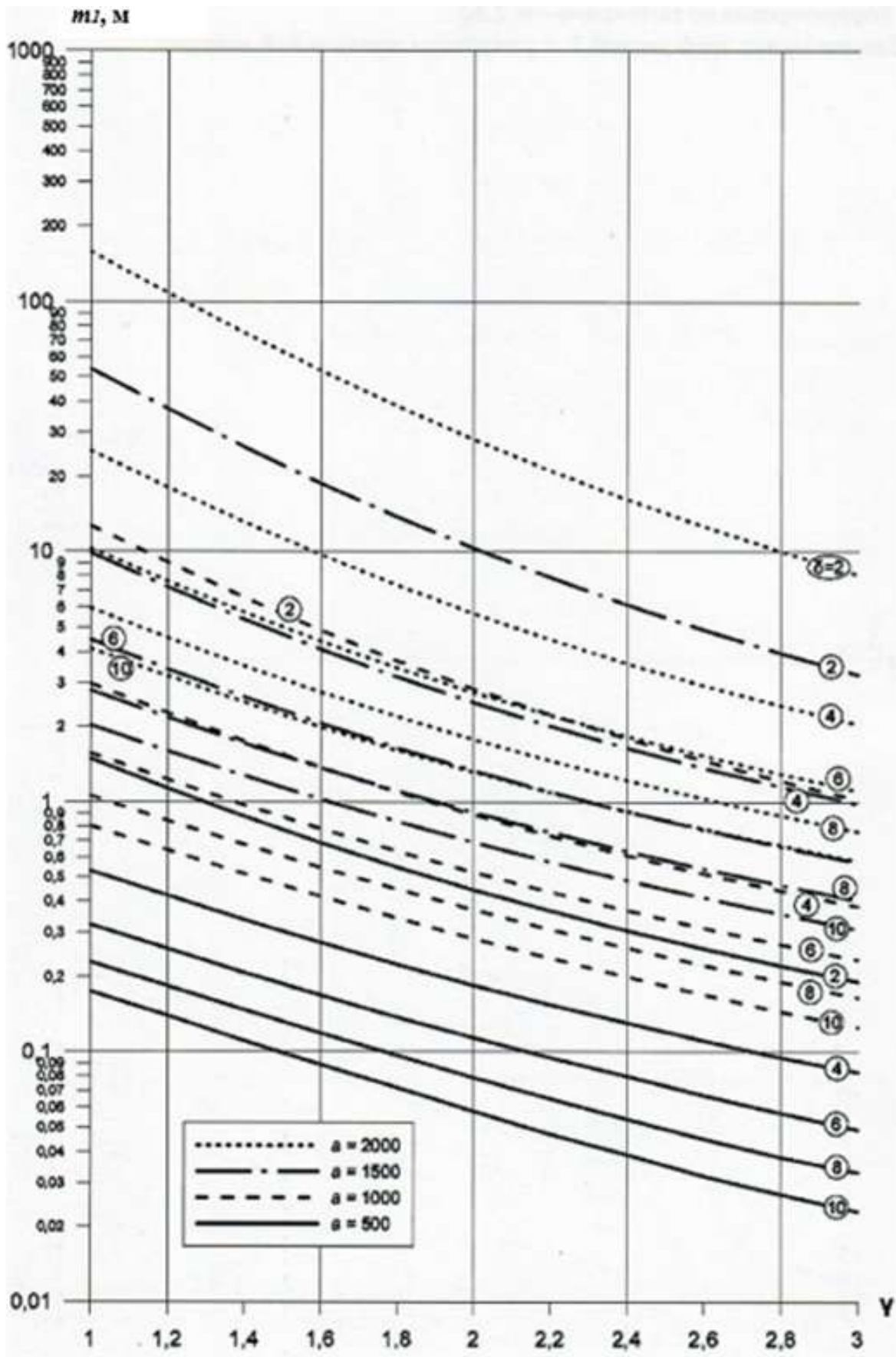
На [рис.8.2-1](#) — [8.2-15](#) величини γ і η визначаються за такими формулами:

$$\gamma = a/b;$$

$$\eta = E_{bl}/E_{core}.$$

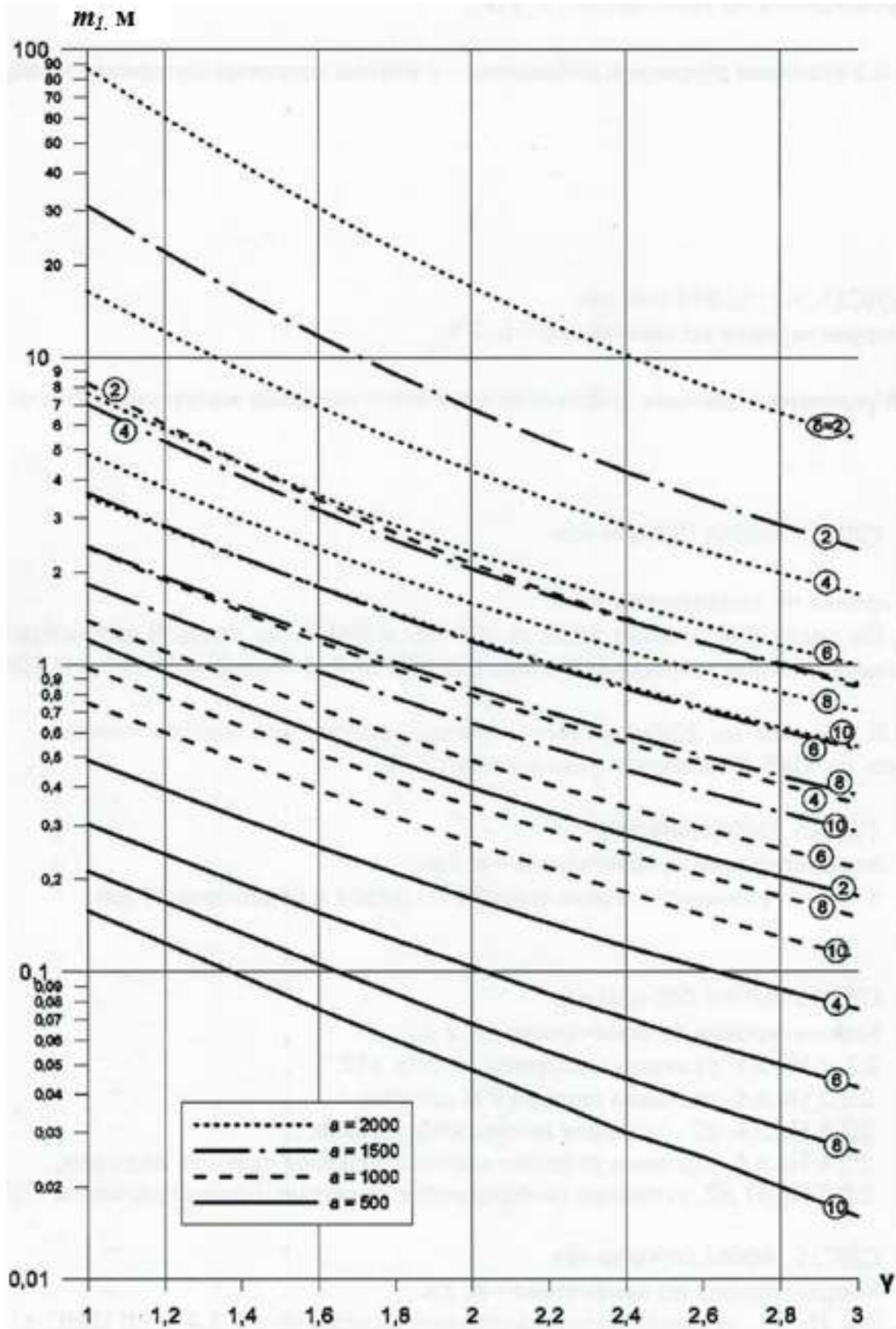


Примітка: У кружочках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини
 Рис. 8.2-1 Значення коефіцієнта t_1 при $\eta = 100$ для тришарових пластин новожиною a , мм



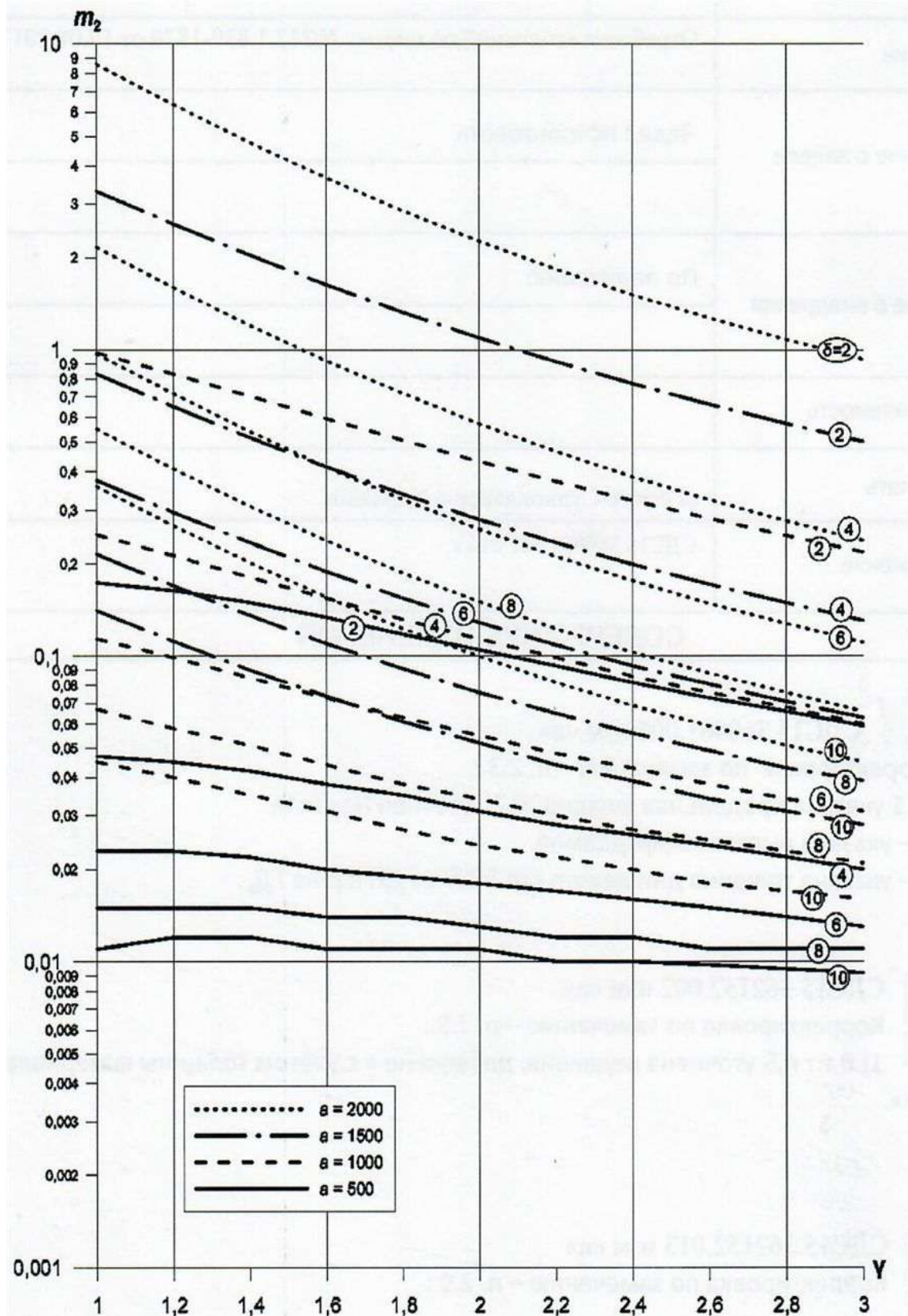
Примітка: У кружочках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини

Рис. 8.2-2 Значення коефіцієнта m_1 при $\eta = 400$ для тришарових плавтин довжиною a , мм



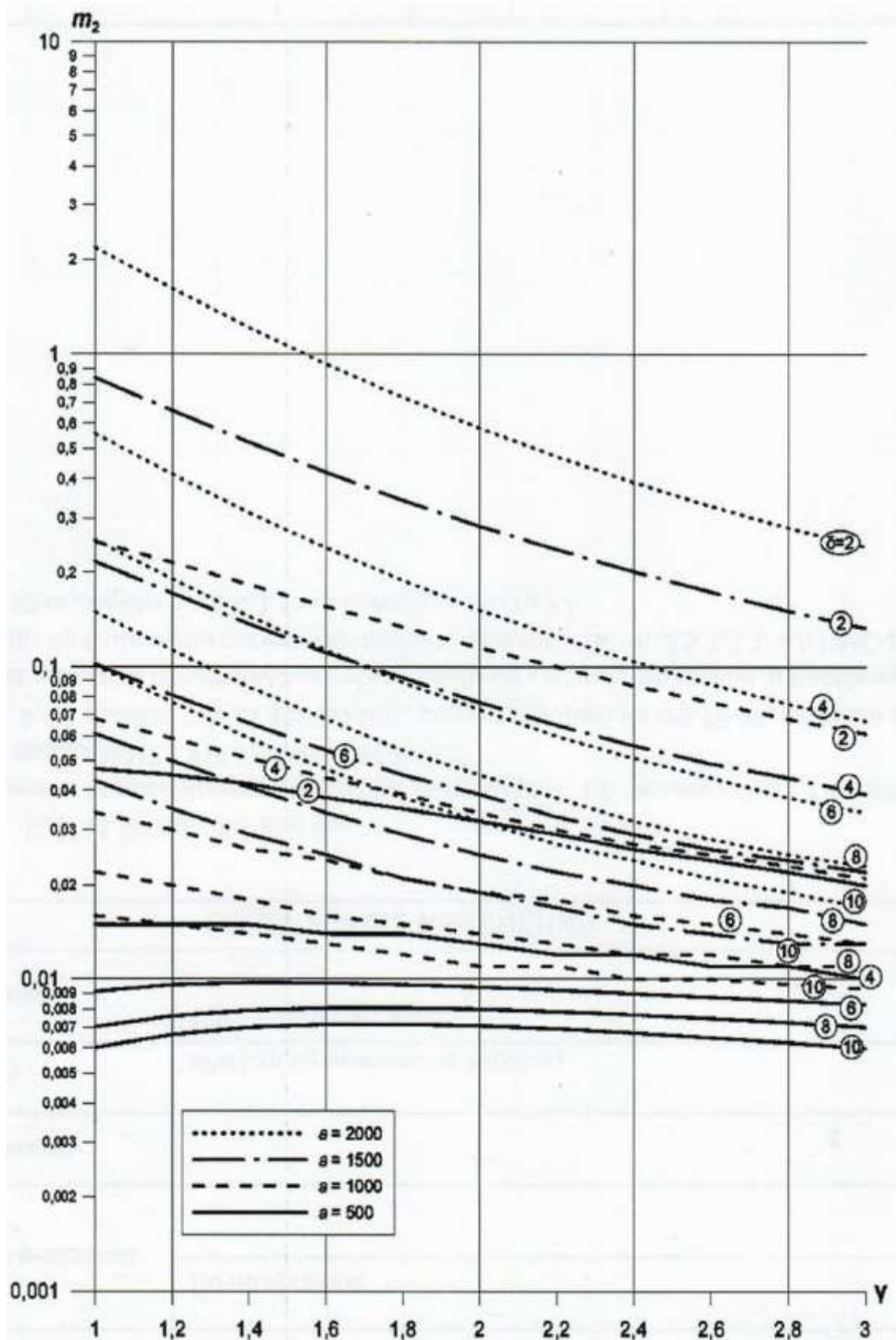
Примітка: У кружочках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини

Рис. 8.2-3 Значення коефіцієнта m_1 при $\eta = 800$ для тришарових пластин довжиною a , мм



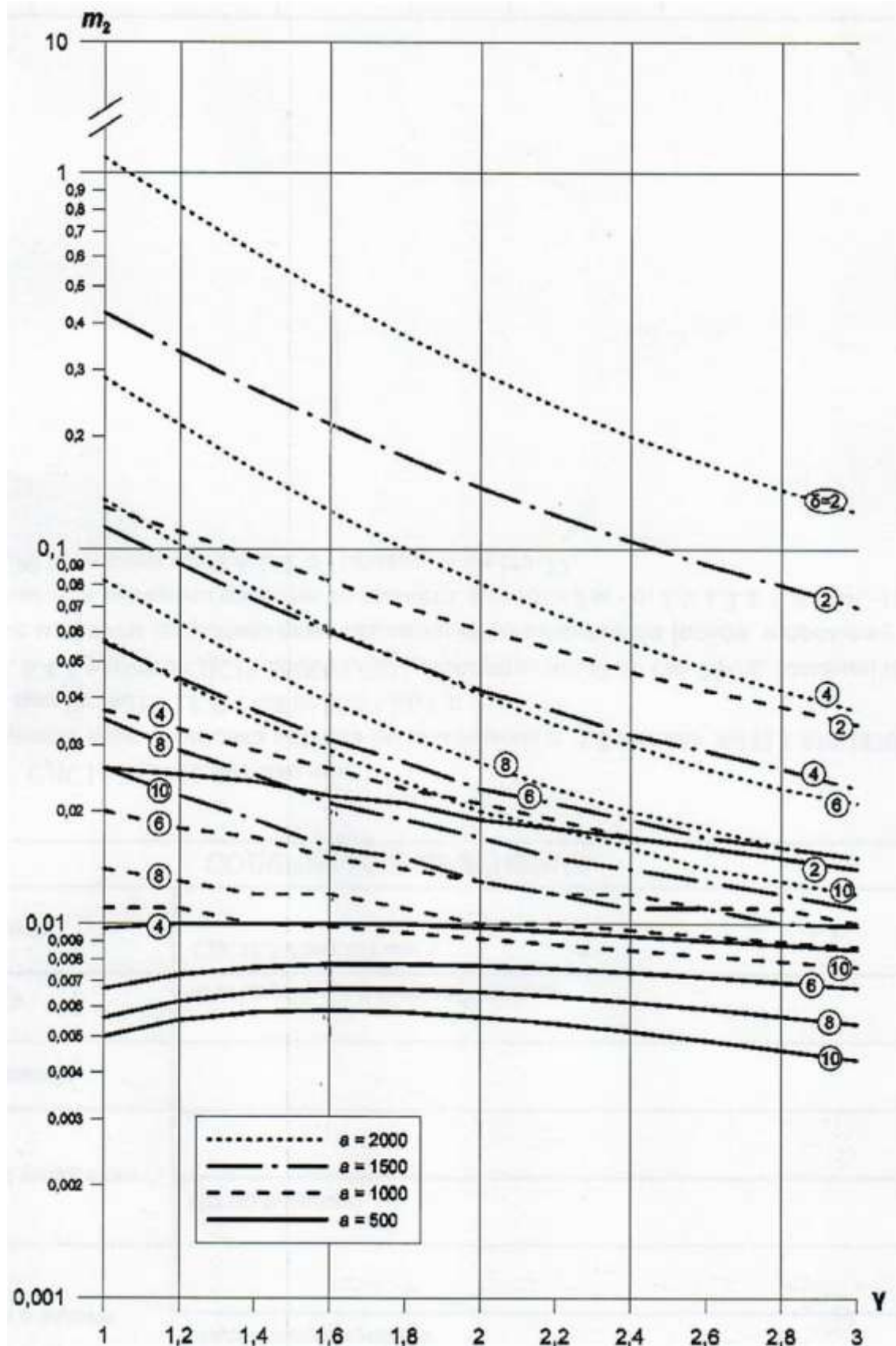
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_2 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-4 Значення коефіцієнта m_2 при $\eta = 100$ для тришарових пластин довжиною a , мм



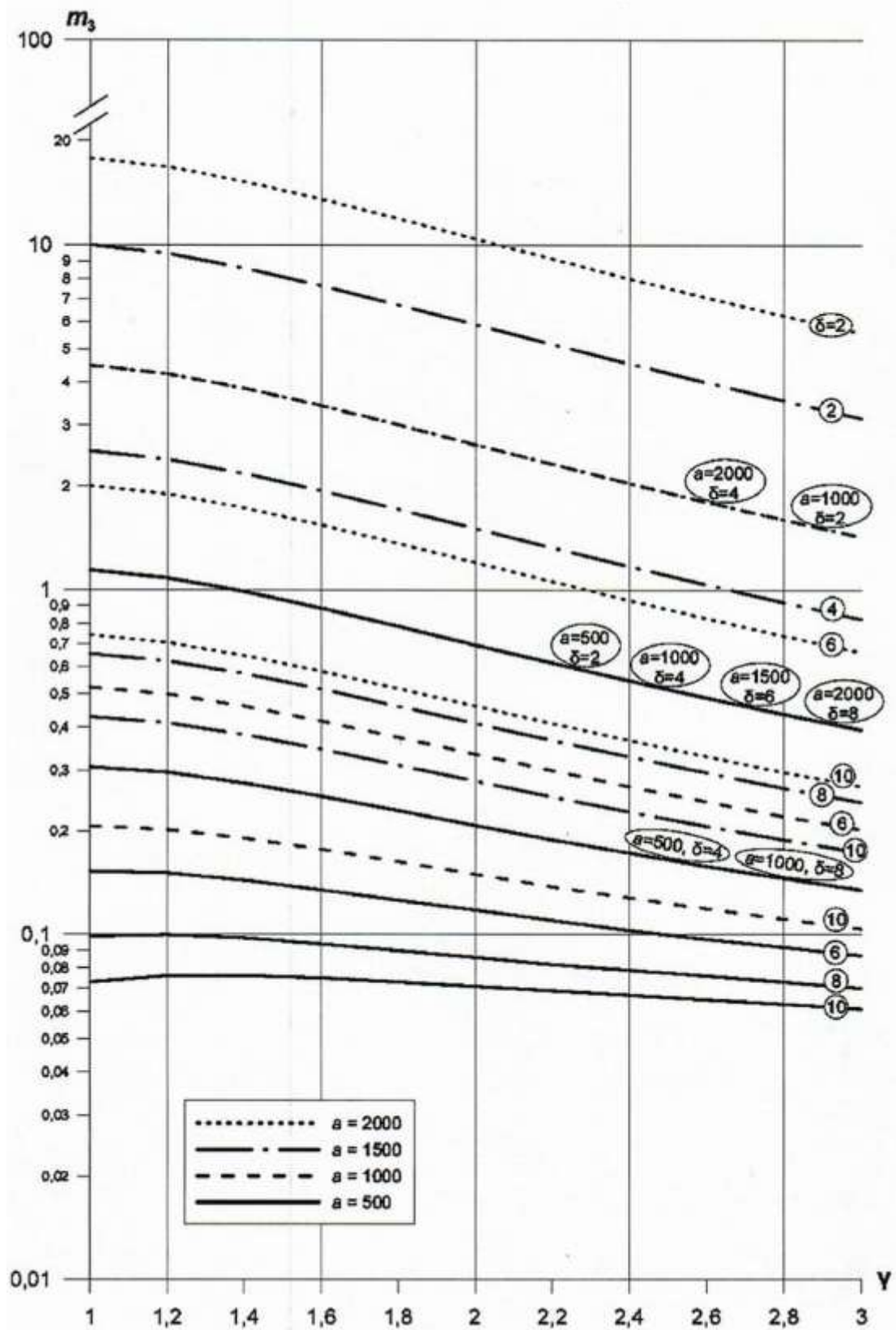
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_2 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-5 Значення коефіцієнта m_2 при $\eta = 400$ для тришарових пластин довжиною a , мм



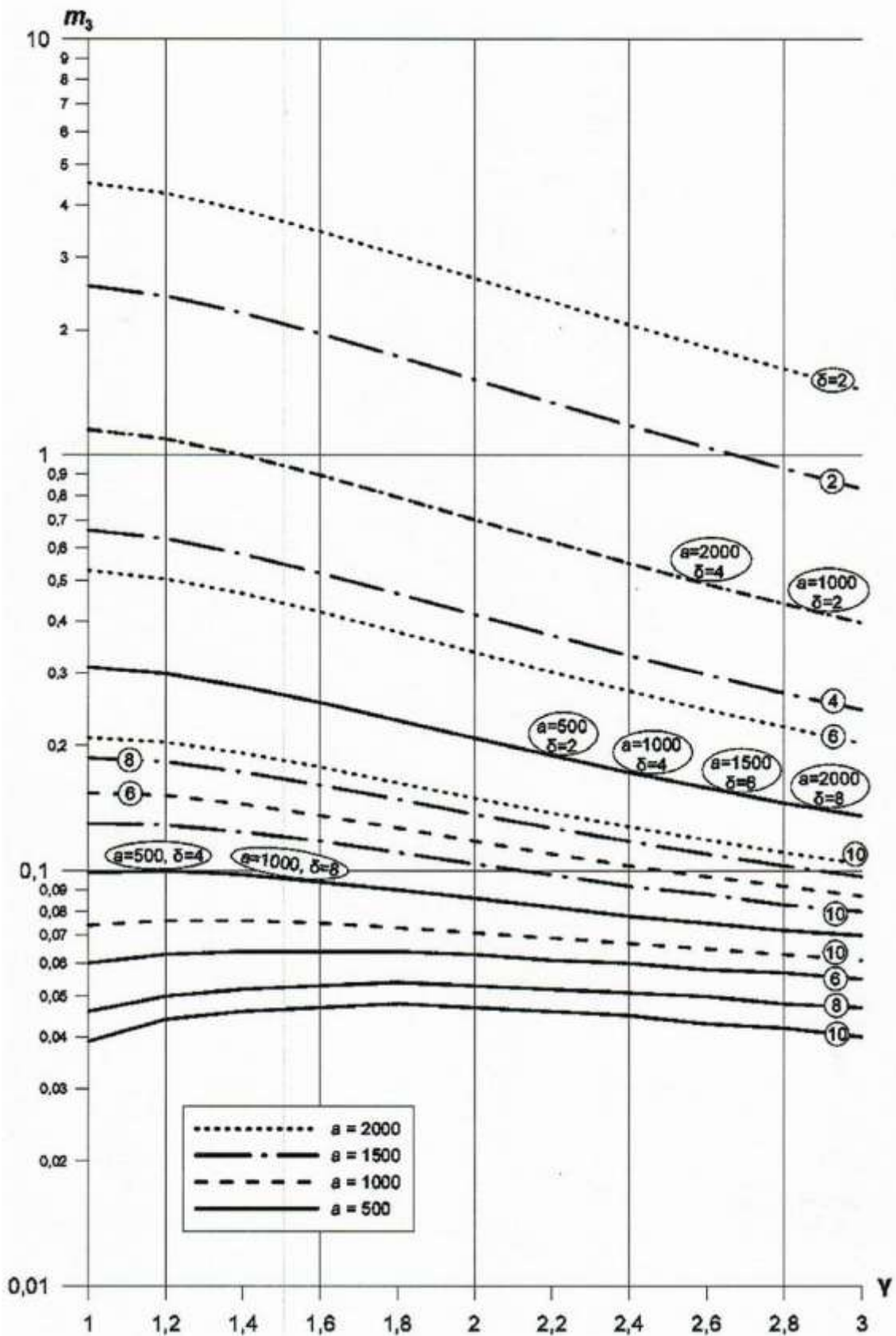
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_2 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-6 Значення коефіцієнта m_2 при $\eta = 800$ для тришарових пластин довжиною a , мм



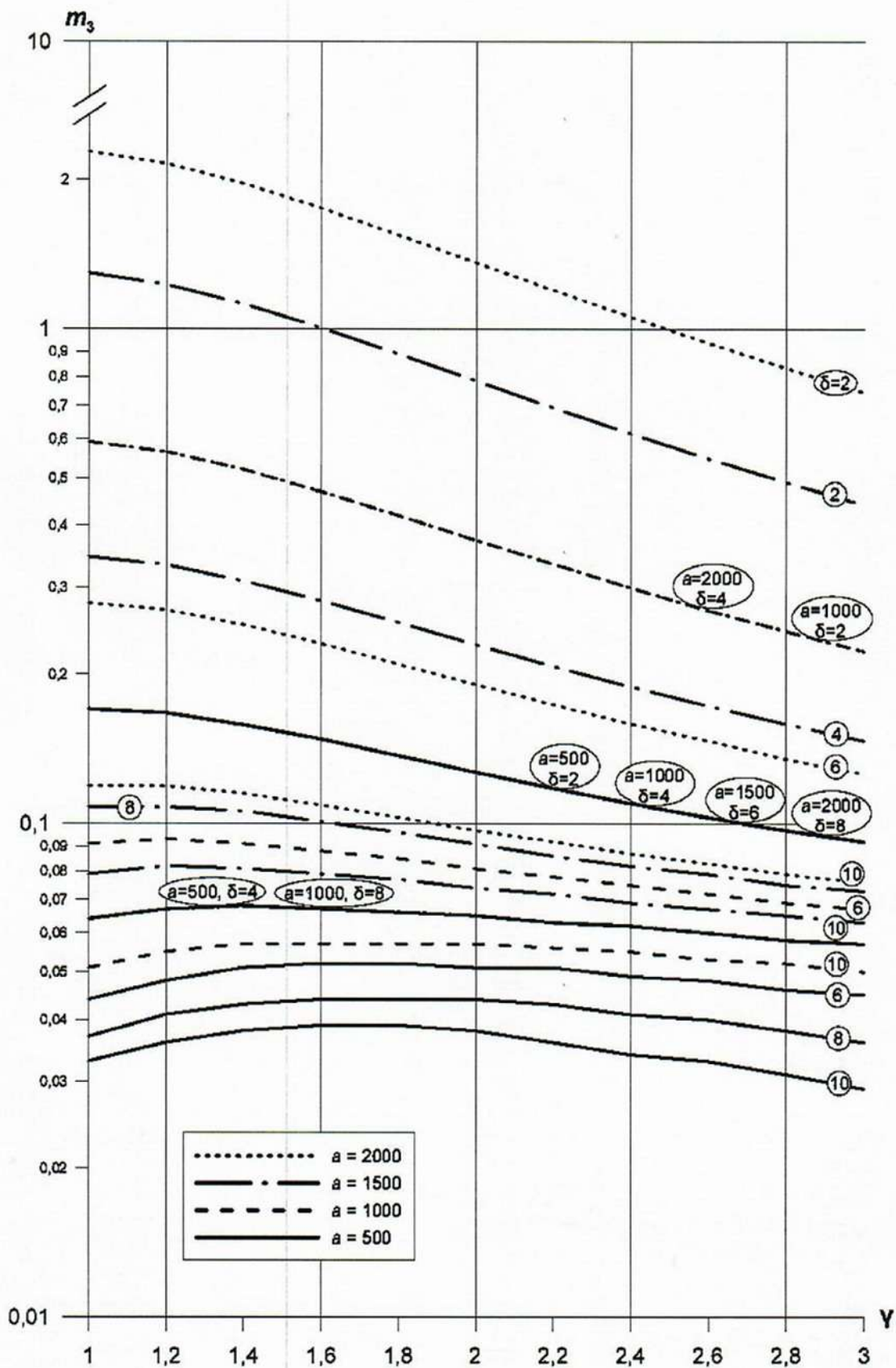
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_3 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-7 Значення коефіцієнта m_3 при $\eta = 100$ для тришарових пластин довжиною a , мм



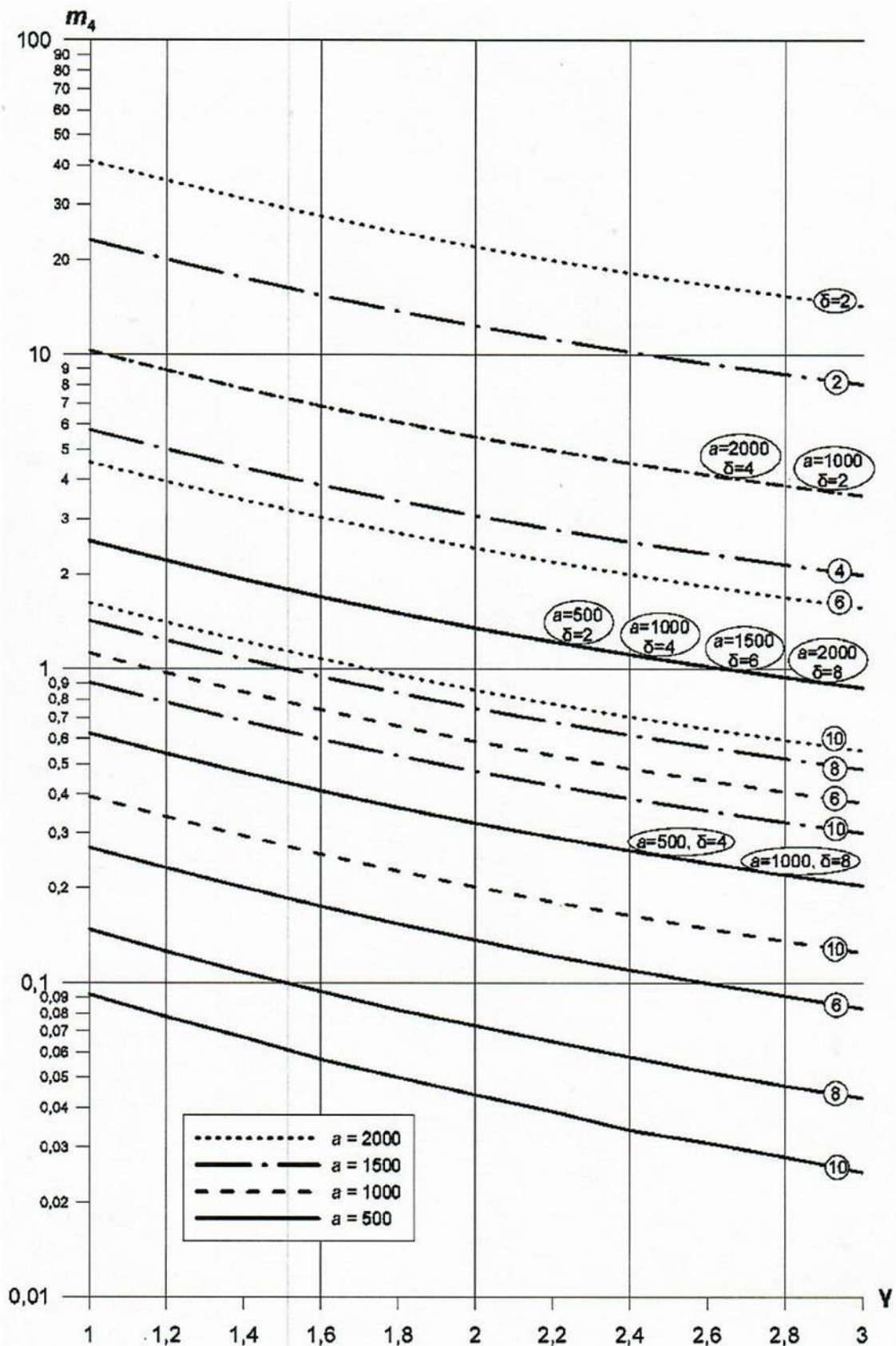
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_3 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-8 Значення коефіцієнта m_3 при $\eta = 400$ для тришарових пластин довжиною a , мм



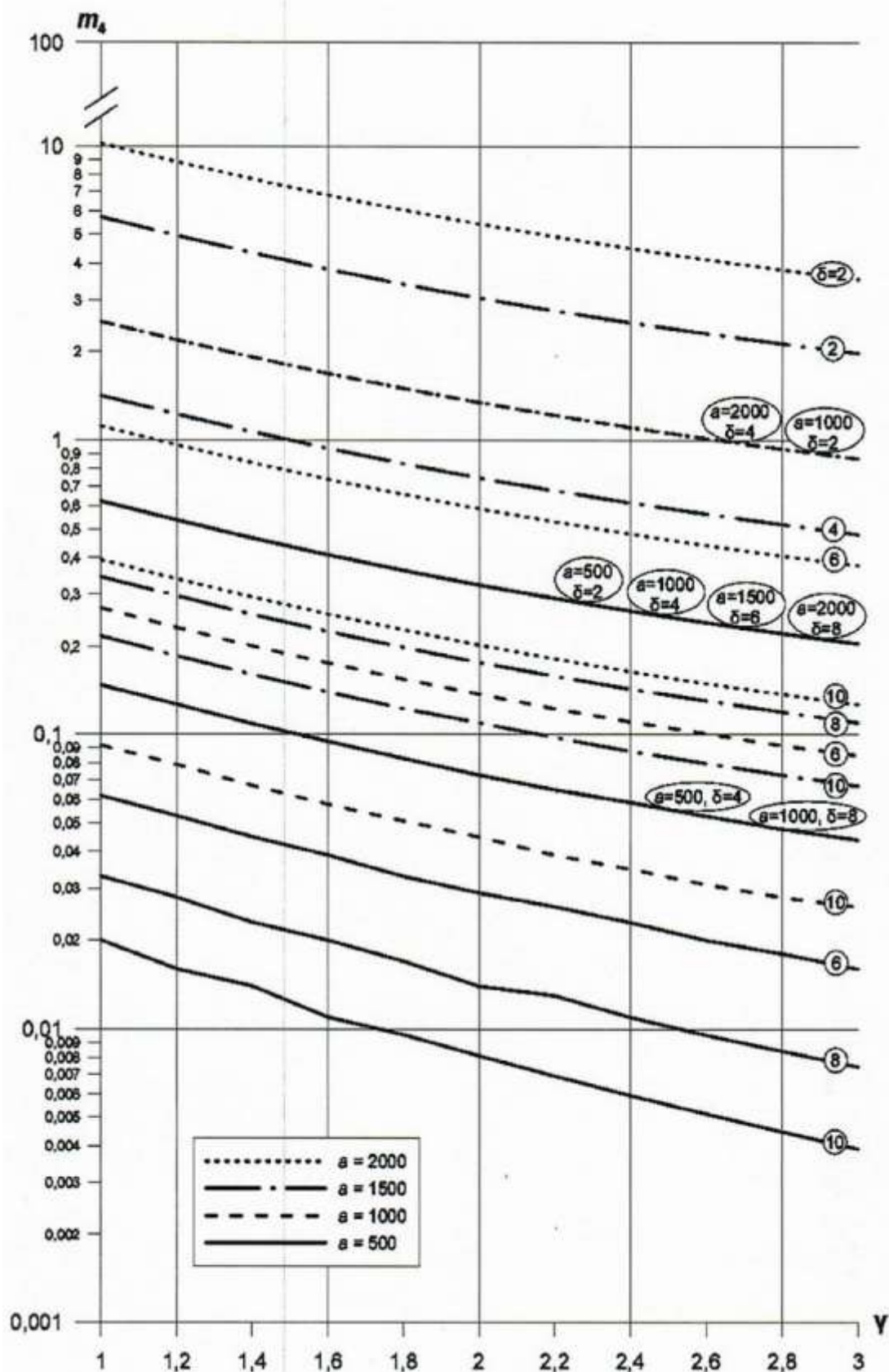
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_3 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-9 Значення коефіцієнта m_3 при $\eta = 800$ для тришарових пластин довжиною a , мм



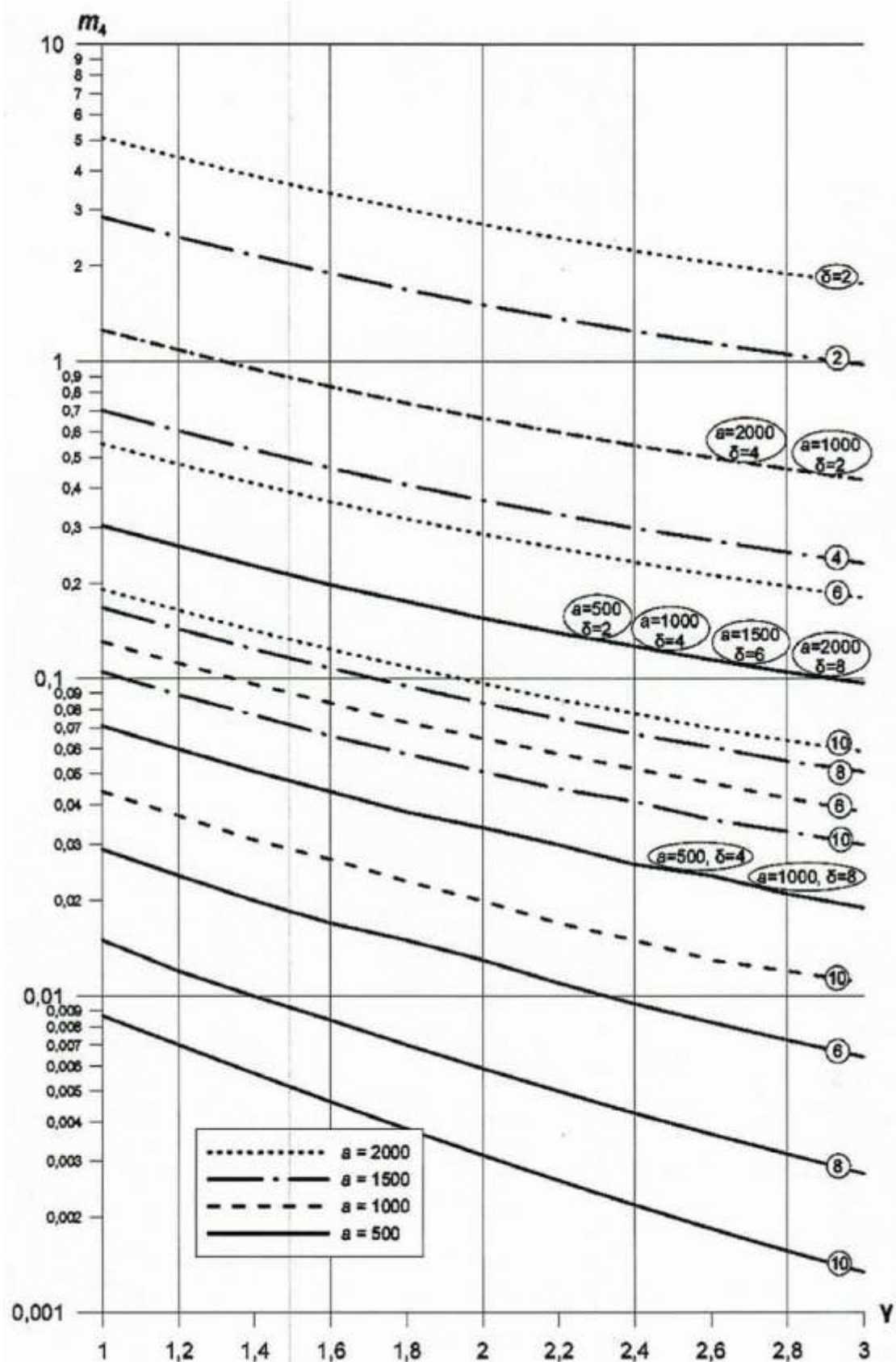
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_2 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-10 Значення коефіцієнта m_4 при $\eta = 100$ для тришарових плавтин довжиною a , мм



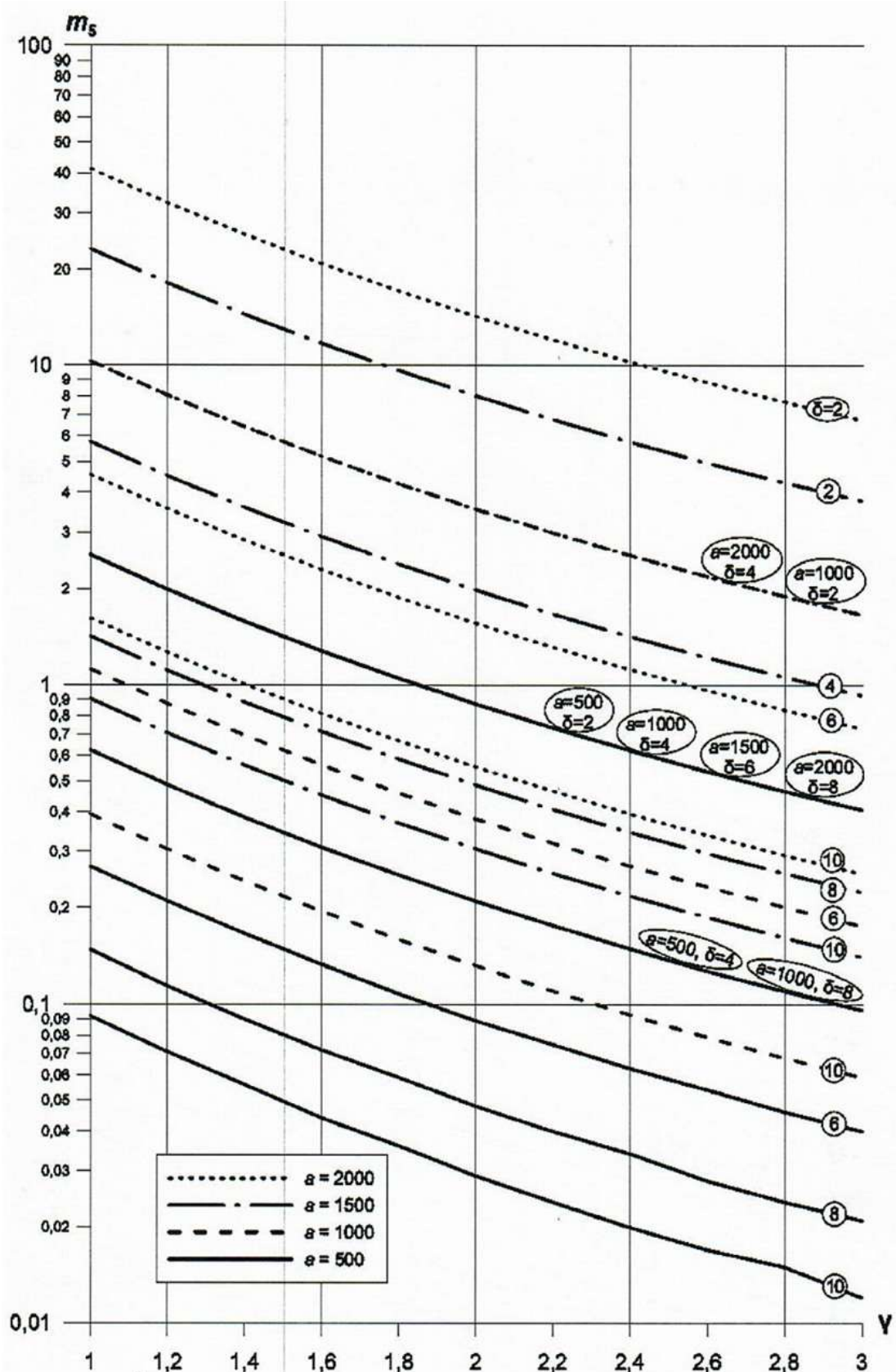
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_4 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-11 Значення коефіцієнта m_4 при $\eta = 400$ для трислойних пластин довжиною a , мм



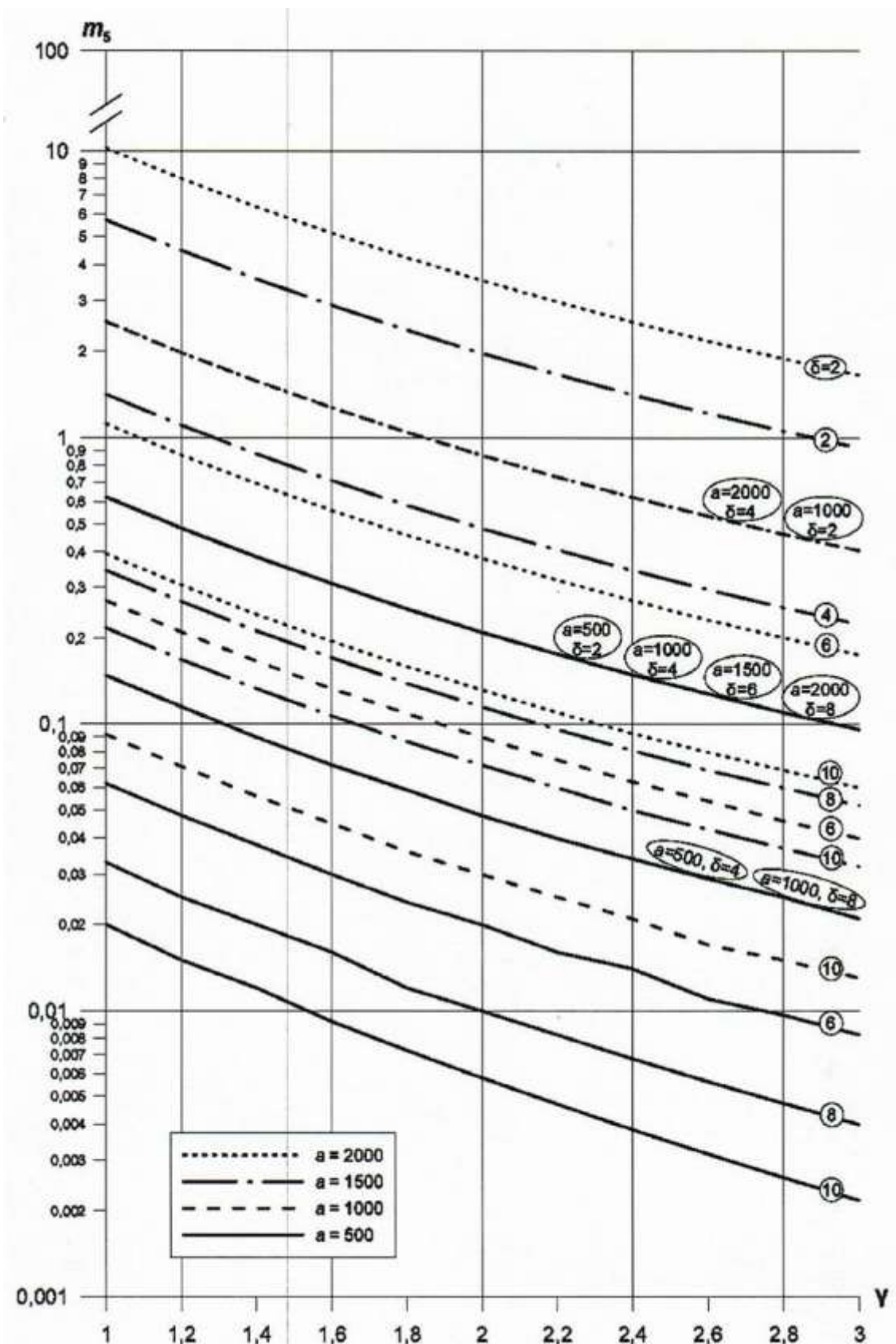
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_4 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-12 Значення коефіцієнта m_4 при $\eta = 800$ для трислойних пластин довжиною a , мм



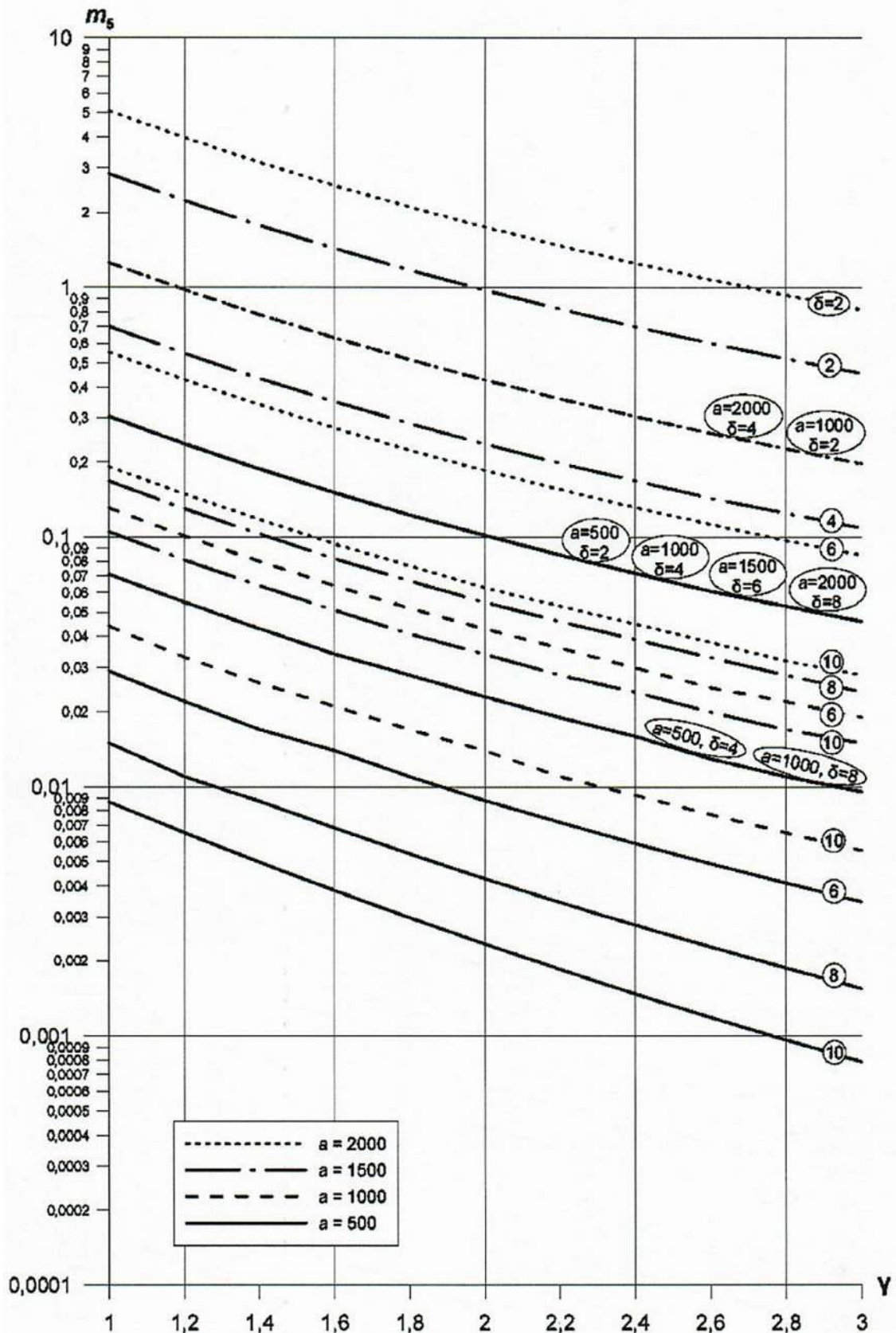
Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_5 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-13 Значення коефіцієнта m_5 при $\eta = 100$ для тришарових пластин довжиною a , мм



Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_s при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-14 Значення коефіцієнта m_s при $\eta = 400$ для тришарових пластин довжиною a , мм



Примітка: У кружечках позначені значення товщини δ , мм несучого шару тришарової пластини. В овалах позначені значення геометричних характеристик тришарових пластин, для яких графіки коефіцієнта m_5 при різних співвідношеннях a і δ збігаються

Рис. 8.2-15 Значення коефіцієнта m_5 при $\eta = 800$ для тришарових пластин довжиною a , мм

8.3 Кромки пластини жорстко защемлені на опорному контурі

У 8.4 наведено формули для розрахунку максимальних прогинів і максимальних нормальних напружень у несучих шарах для тришарових пластин симетричної конструкції з ізотропними зовнішніми шарами однакової товщини. Розглядається поперечний вигин тришарових пластин. Навантаження прикладено перпендикулярно до площини пластини.

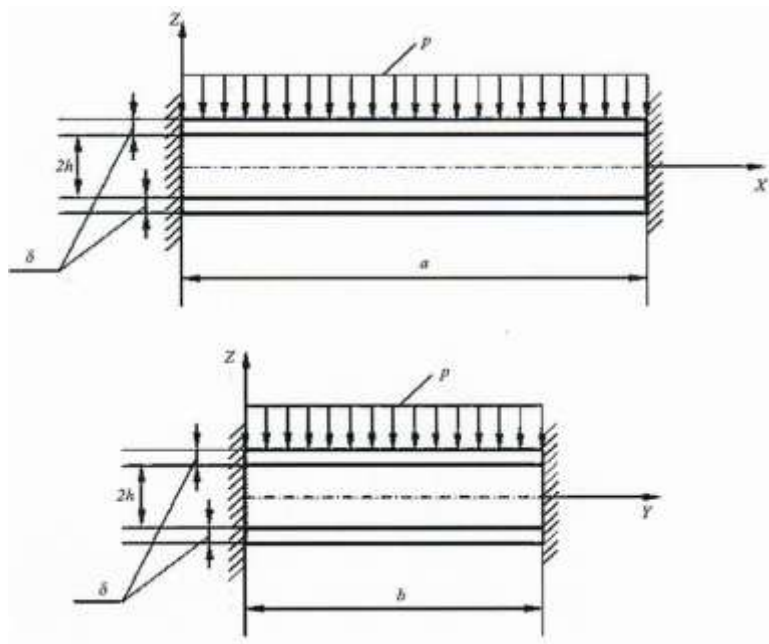


Рис. 8.3-1 Вид навантаження тришарової пластини

8.4 Прогин пластини має максимальне значення при $x = a/2$, $y = b/2$ і визначається за формулою

$$|W|_{x=a/2, y=b/2} = \frac{pb^2}{10^3(2h+\delta)} \left[\frac{m_1 b^2}{E_{bl}\delta(2h+\delta)} + \frac{\bar{m}_1}{G_{core}} \right],$$

де: a - довжина тришарової пластини;

b - ширина тришарової пластини, м;

$2h$ - товщина заповнювача тришарової пластини, м;

δ - товщина несучого шару тришарової пластини, м;

p - рівномірно розподілене навантаження Па;

E_{bl} - модуль нормальної пружності несучих шарів тришарової пластини Па;

G_{core} - модуль зсуву заповнювача тришарової пластини;

$\nu = \nu_{12(bl)}$ - коефіцієнт Пуассона матеріалу несучих шарів тришарової пластини;

$m_1, \bar{m}_1$ - коефіцієнти.

Значення коефіцієнта m_1 залежно від коефіцієнта Пуассона ν несучих шарів тришарової пластини і відношення сторін пластини $\gamma = a/b$ наведені на [рис. 8.3-2](#).

Значення коефіцієнта $\bar{m}_1$ залежно від відношення сторін пластини $\gamma = a/b$ наведені на [рис. 8.3-3](#).

Нормальні напруження σ_x мають максимальні значення при $x = 0, a, y = b/2$ і визначаються за формулою

$$|\sigma_x|_{x=0, a, y=b/2} = p \frac{b^2}{\delta^2} \frac{1+h/\delta}{(1+2h/\delta)^2} m_2,$$

де m_2 - коефіцієнт.

Нормальні напруження σ_y мають максимальні значення при $x = a/2, y = 0; b$ і визначаються за формулою

$$|\sigma_y|_{x=a/2, y=0; b} = p \frac{b^2}{\delta^2} \cdot \frac{1+h/\delta}{(1+2h/\delta)^2} m_3,$$

де m_3 - коефіцієнт.

Значення коефіцієнтів m_2 і m_3 залежно від коефіцієнта Пуассона ν і відношення сторін пластини $\gamma = a/b$ наведені на [рис. 8.3-4](#) і [8.3-5](#) відповідно.

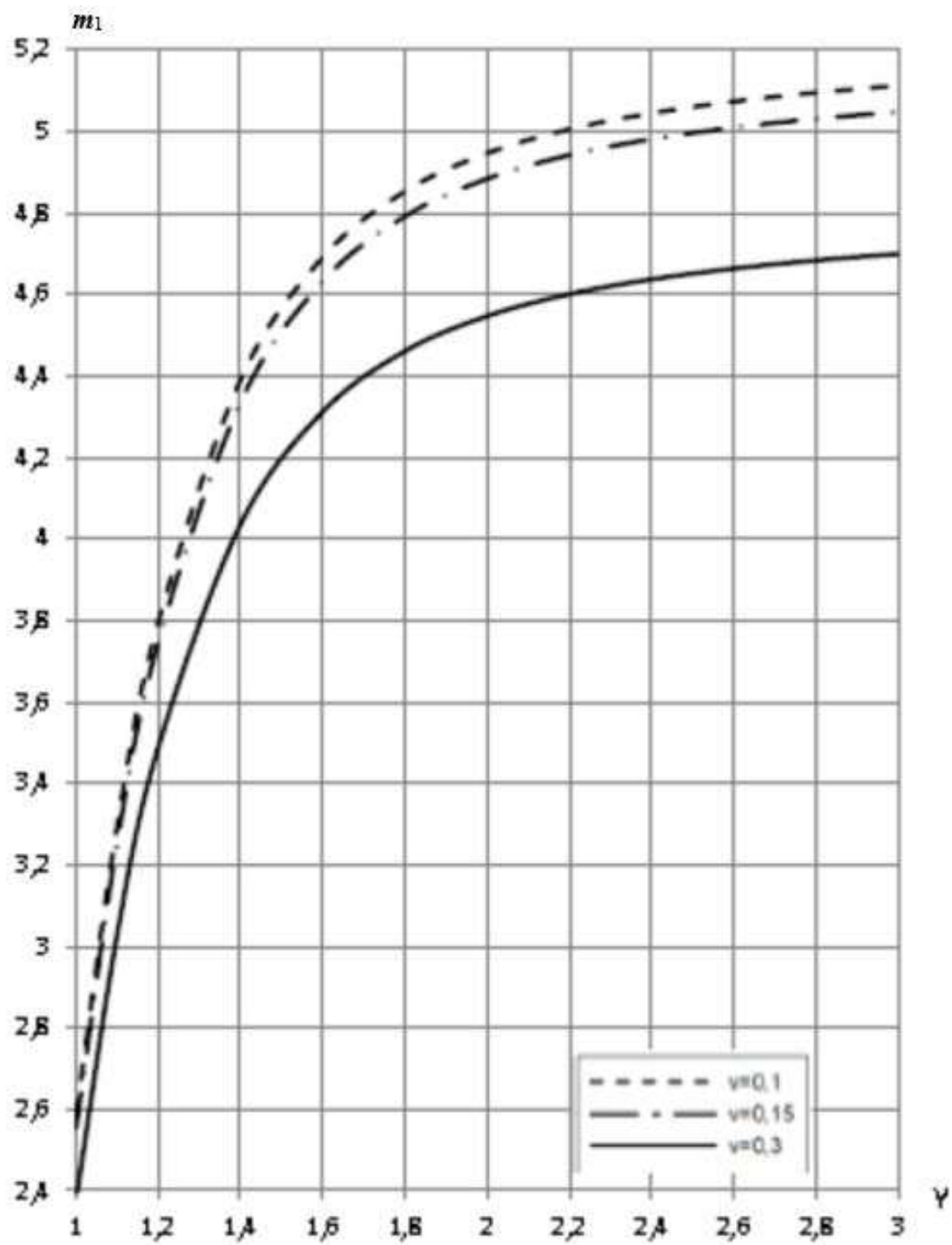
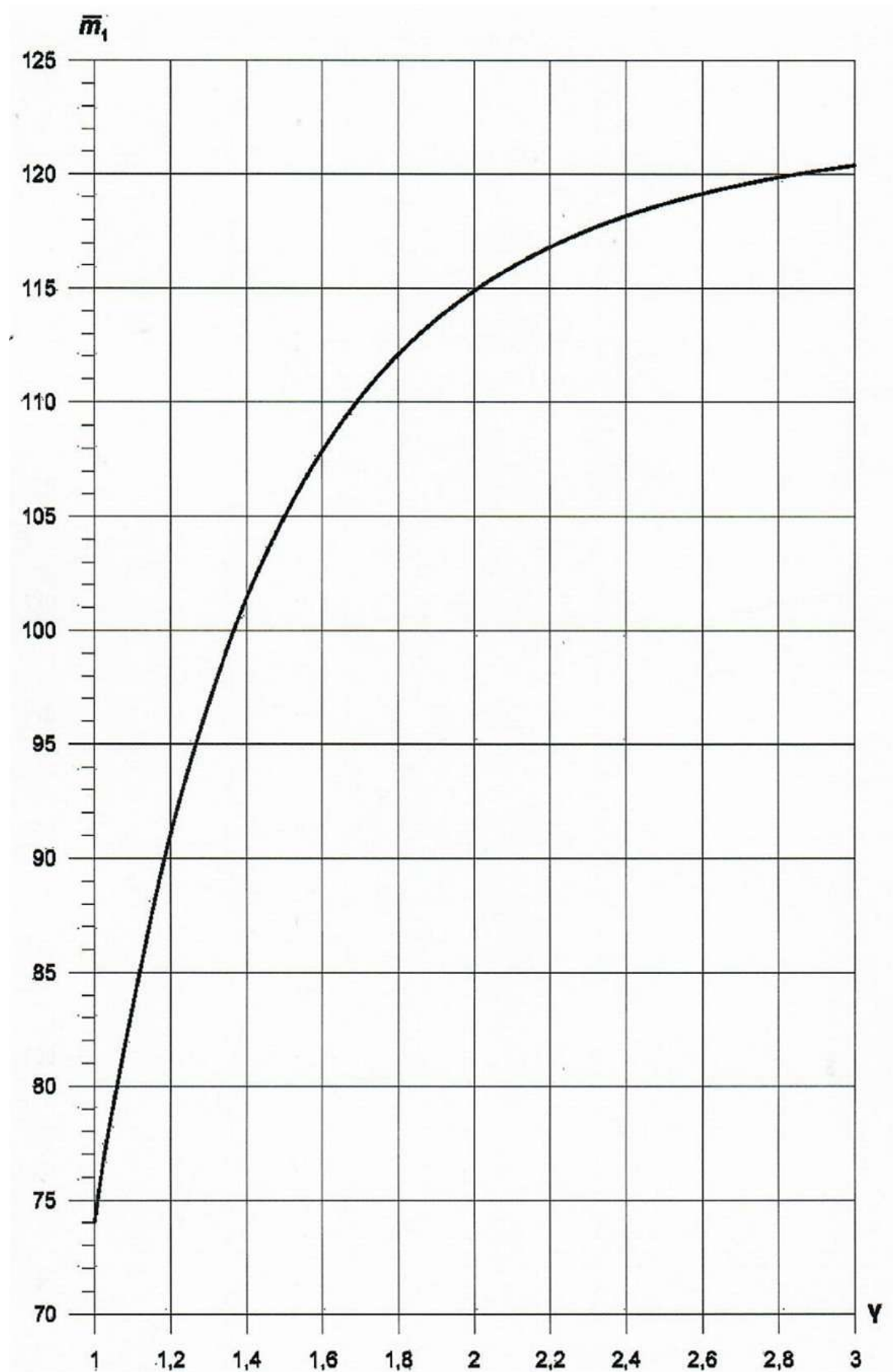


Рис. 8.3-2 Значення коефіцієнта m_1

Рис. 8.3-3 Значення коефіцієнта $\bar{m}_1$

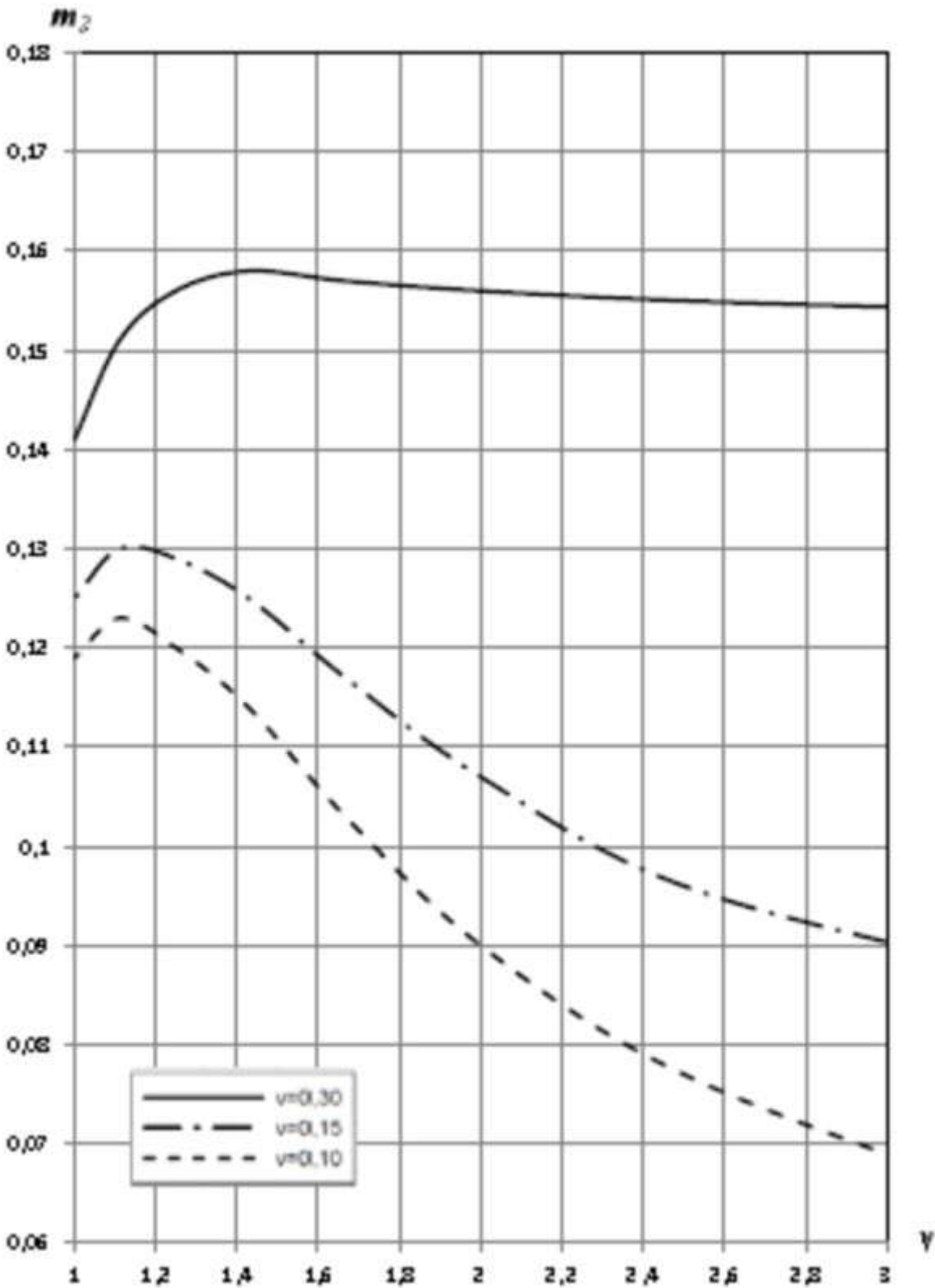


Рис. 8.3-4 Значення коефіцієнта m_2

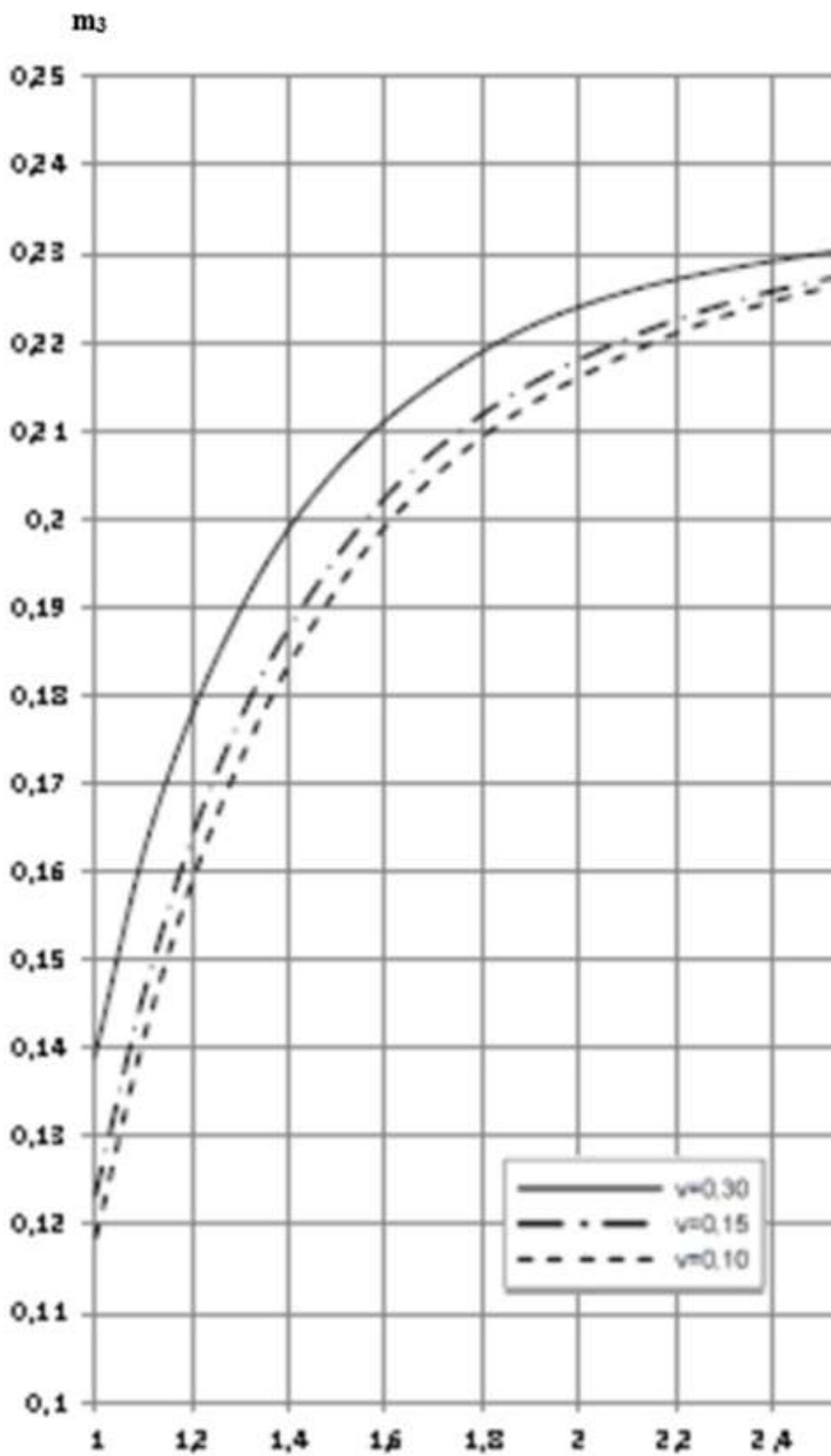


Рис. 8.3-5 Значення коефіцієнта m_3

9 СТІЙКІСТЬ ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН

9.1 Методика проведення розрахунків, наведена в цьому розділі, призначена для розрахунку стійкості тришарових пластин з ізотропним заповнювачем. Методика дозволяє визначати критичне навантаження при односторонньому рівномірному стисканні при різному закріпленні кромки.

В рамках даної методики розрахунків розглядаються прямокутні пластини, що мають симетричну конструкцію по товщині $\delta_1 = \delta_2 = \delta$. При цьому несучі шари і заповнювач є ізотропними матеріалами, тобто для несучих шарів і заповнювача виконуються наступні умови відповідно:

$$E_{i(bl1)} = E_{i(bl2)} = E_{i(bl)}; \nu_{ij(bl1)} = \nu_{ij(bl2)} = \nu_{12(bl)};$$

$$E_{i(core)} = E_{core}; G_{ij(core)} = G_{core}; \nu_{ij(core)} = \nu_{core}.$$

Дана методика так само може бути використана для розрахунку напружено-деформованого стану тришарових пластин з ортотропними несучими шарами, якщо $E_{1(bl)} > E_{2(bl)}$ і $(1 - E_{2(bl)}/E_{1(bl)}) \cdot 100\% < 20\%$, а для геометричних і пружних характеристик пластини виконуються такі умови:

$$0,01 \leq \frac{G_{core}}{E_{1(bl)}} \leq 0,1; 0,01 \leq \frac{\delta}{h} \leq 0,25; \frac{2h}{a} \sqrt{1 + (a/b)^2} \leq 0,3.$$

В такому випадку заповнювач сприймає тільки поперечне навантаження. Зближення шарів також відсутнє.

9.2 Відношення сторін пластини $0,5 < a/b < 3$ (розрахункова схема див. [рис. 9.2](#)).

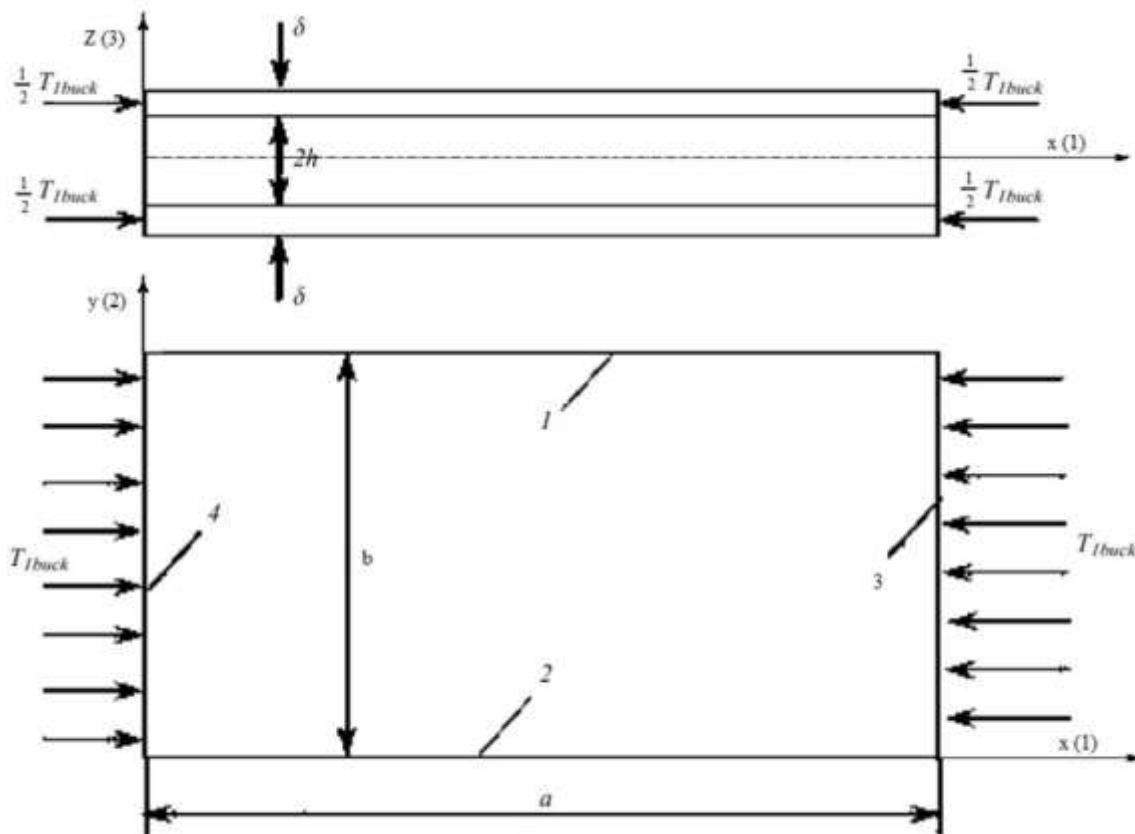


Рис. 9.2 Вид навантаження прямокутної тришарової пластини

9.3 Критичне навантаження визначається за формулою

$$T_{1buck} = m_t \frac{\pi^2 D}{b^2},$$

де:

$$D = 2D_1 + D_{core} + 2B_1 \left(h + \frac{\delta}{2}\right)^2;$$

$$D_1 = \frac{E_{bl}\delta^3}{12(1-\nu_{12}^2(bl))};$$

$$B_1 = \frac{E_{bl}\delta}{1-\nu_{12}^2(bl)};$$

$$D_{core} = \frac{2E_{core}h^3}{3(1-\nu_{core}^2)};$$

E_{bl} – модуль нормальної пружності несучих шарів уздовж довгої сторони тришарової пластини, Па;

E_{core} – модуль нормальної пружності заповнювача тришарової пластини, Па;

$\nu_{12(bl)}$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу в площині несучих шарів тришарової пластини;

ν_{core} – коефіцієнт Пуассона матеріалу заповнювача тришарової пластини.

При $h/\delta = 5$ критичне навантаження визначається за формулою

$$T_{1buck} = m_t m_m \frac{\pi^2 E_{core} \delta^3}{b^2},$$

$$\text{де } m_m = \frac{2}{3} \left[\frac{91\eta}{1-\nu_{12}^2(bl)} \right], \eta = \frac{E_{bl}}{E_{core}}.$$

Значення коефіцієнта m_m при $\nu_{12(bl)} = 0,1 \div 0,2$ і ν_{core} визначаються за графіком, наведеним на [рис. 9.3-1](#).

Значення коефіцієнта m_t визначаються за графіками залежно від умов обпирання (див. [рис. 9.3-2](#) – [9.3-5](#)), а жорсткісні характеристики визначаються за формулами, наведеними в даному розділі.

Значення коефіцієнта k для [рис. 9.3-2 ÷ 9.3-5](#) визначається за такою формулою:

$$k = \frac{\pi^2 B_0 b^2 h}{G_{core} b^2},$$

$$\text{де } B_0 = 2B_1 + \frac{B_{core}}{3};$$

$$B_{core} = \frac{2E_{core}h}{1-\nu_{core}^2};$$

G_{core} – модуль зсуву заповнювача тришарової пластини, Па.

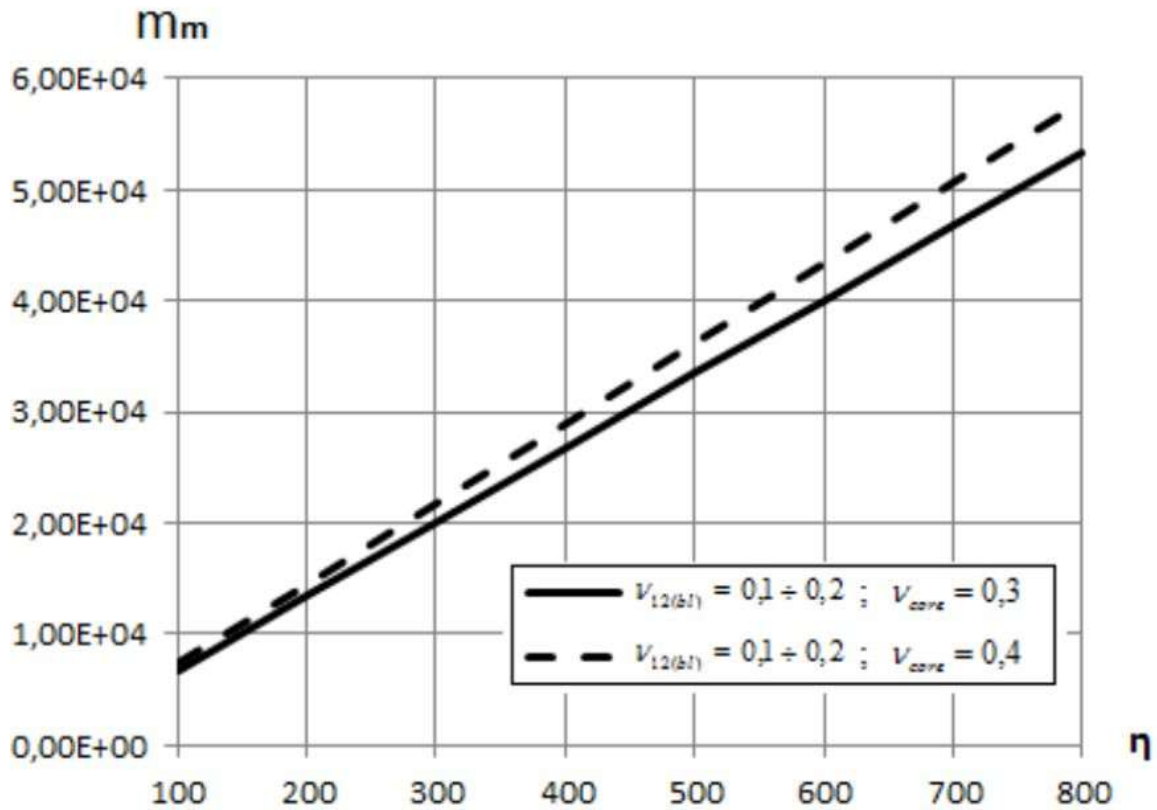


Рис. 9.3-1 Графік залежності коефіцієнта m_m від відношення модулів η
 $(\nu_{12(bl)} = 0,1 \div 0,2 \text{ і } \nu_{core} = 0,3 \div 0,4)$

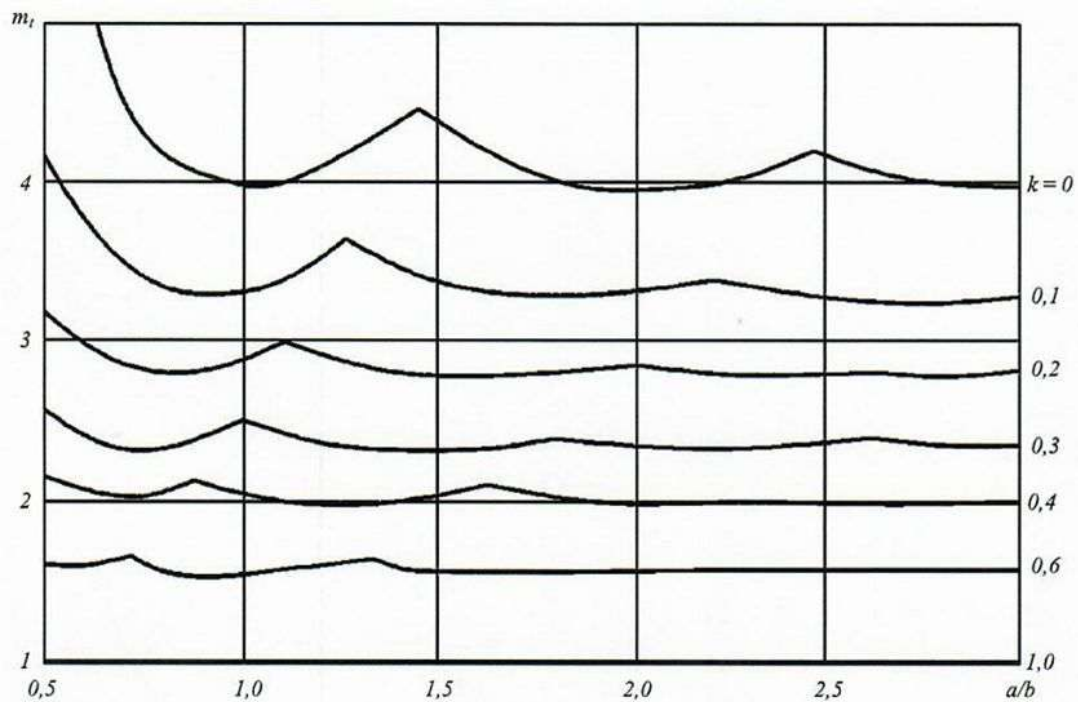


Рис. 9.3-2 Графік залежності коефіцієнта m_l від співвідношення сторін a/b , якщо всі кромки пластини шарнірно обп'єрті

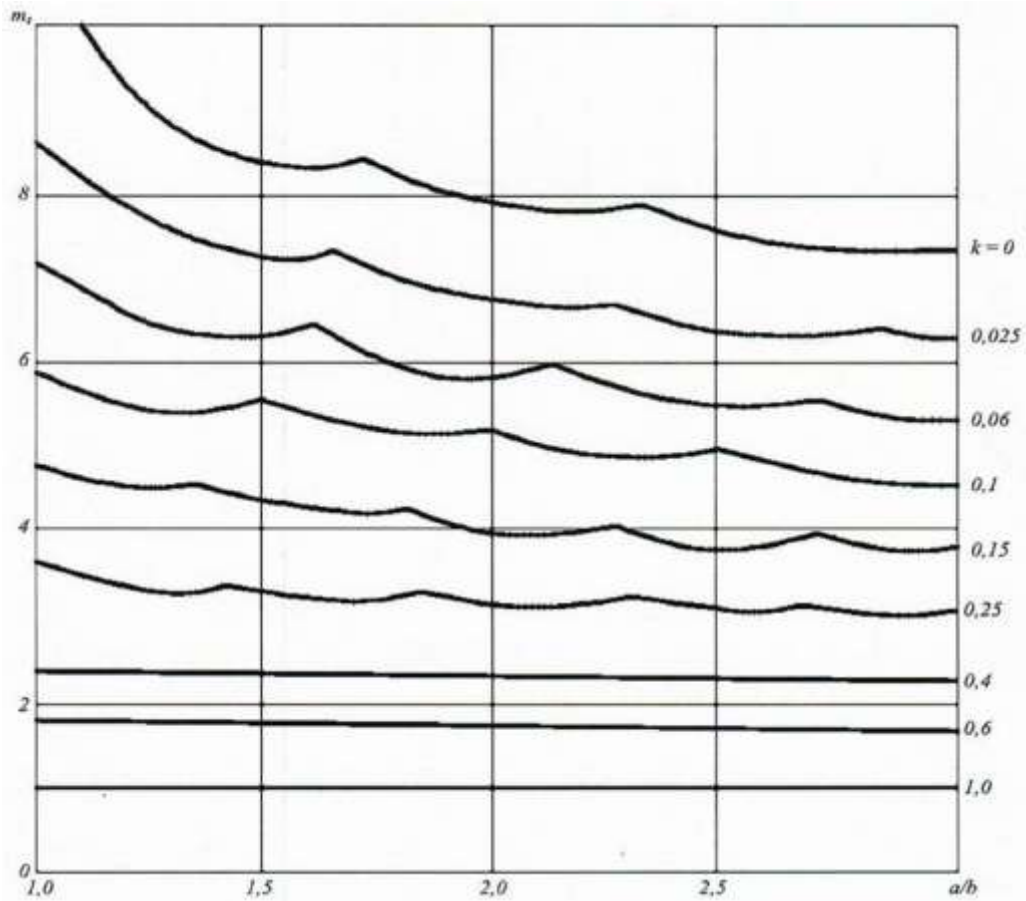


Рис. 9.3-3 Графік залежності коефіцієнта m_t від співвідношення сторін a/b при защемленні всіх кромки пластини

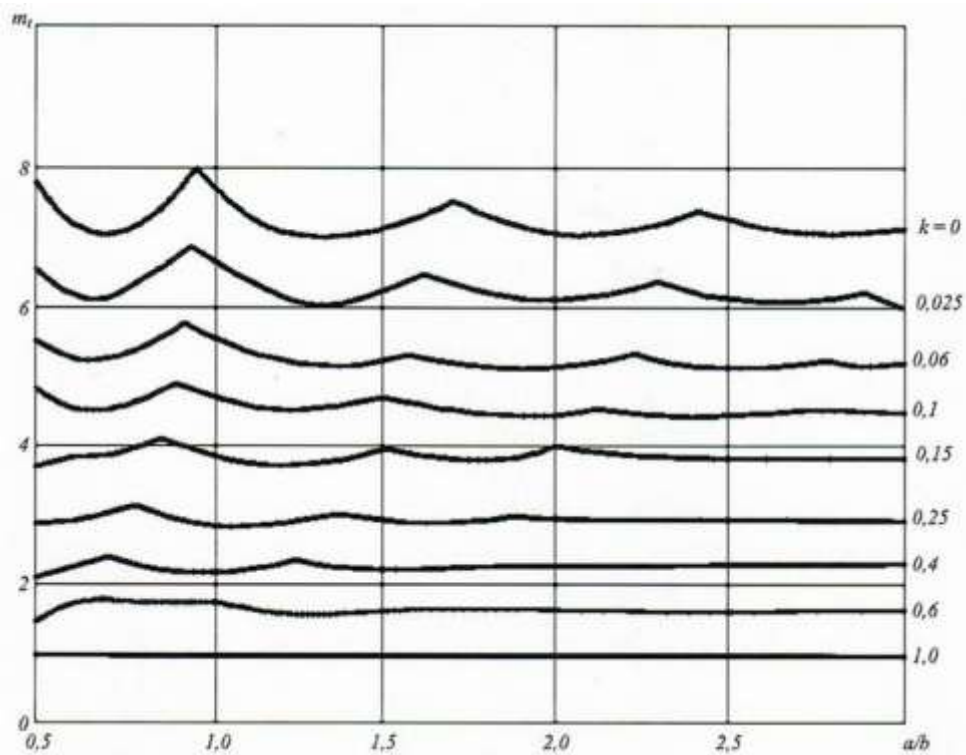


Рис. 9.3-4 Графік залежності коефіцієнта m_t від співвідношення сторін пластини a/b , якщо кромки 1,2 зацімлені, кромки 3, 4 – шарнірно обперти

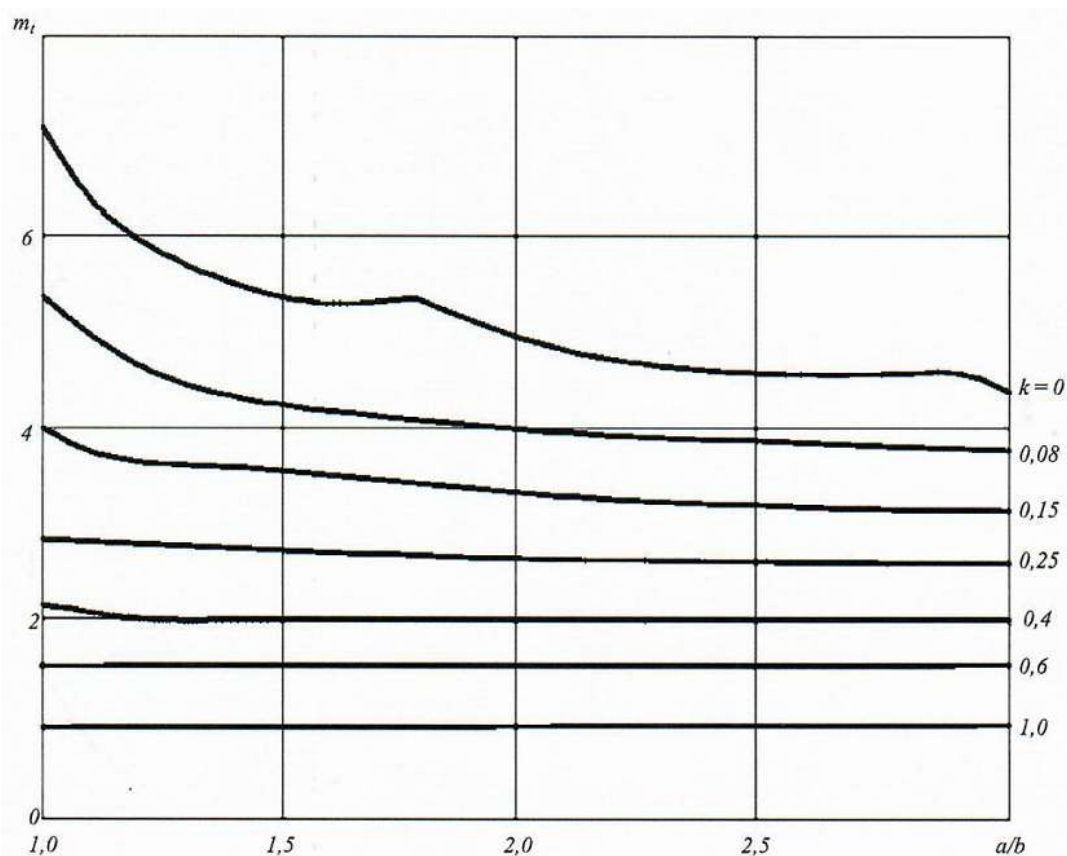


Рис. 9.3-5 Графік залежності коефіцієнта m_t від співвідношення сторін пластини a/b якщо кромки 1, 2 - шарнірно обперті; кромки 3, 4 – защемлені

ТИПОВА ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ НОВИХ ПКМ І ВИКОНАНІХ З НИХ ТИПОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ВУЗЛІВ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Цей додаток містить номенклатуру і обсяг випробувань нових видів ПКМ, не розглянутих у цій частині Правил, для приймання і отримання схвалення Регістра для подальшого їх застосування в корпусах і корпусних конструкціях суден.

1.2 Дана програма випробувань поширюється на ПКМ на основі скляних, вуглецевих і арамідних армуючих матеріалів, а також поліефірних, вінілефірних або епоксидних зв'язуючих.

Проведення випробувань ПКМ на основі інших вихідних компонентів за даною програмою випробувань допускається за погодженням з Регістром при наявності відповідного технічного обґрунтування.

1.3 Дана програма випробувань поширюється на ПКМ холодного і гарячого тверднення, що виготовляються методами контактного формування, напилювання, вакуумної інжекції (методом інфузії, РТМ-методами), автоклавного формування, пресування, а також пултрузії.

Застосування інших методів для виготовлення ПКМ повинно бути погоджене з Регістром.

1.4 Дана програма випробувань також поширюється на легкі заповнювачі, що застосовуються в тришарових (багатошарових) конструкціях.

До таких заповнювачів відносяться пінопласти (полівінілхлоридні, пінополіуретан, пінополіепоксиди та ін.), а також легкі мати.

Випробування зазначених заповнювачів, армованих конструктивними елементами, а також конструктивно-ортотропних (неоднорідних) заповнювачів, які відносяться до конструкцій, проводяться за спеціальними програмами, схваленими Регістром.

1.5 Дана програма випробувань не поширюється на адгезійні речовини (клеї), що використовуються для з'єднання елементів корпусних конструкцій і виробів, а також на герметизуючі суміші.

Програми випробувань адгезійних речовин і герметизуючих сумішей розробляються розробником цих речовин/сумішей і повинні бути схвалені Регістром.

1.6 Згідно з цією програмою випробування ПКМ проводяться в складі зразків, типових конструкцій і вузлів для підтвердження можливості використання ПКМ, що випробовується, і технології його переробки в корпусних конструкціях суден.

Проведення даних випробувань здійснюється за методиками міжнародних і/або національних стандартів, а також інших керівних документів, застосування яких повинно бути узгоджене з Регістром.

1.7 Дана програма випробувань регламентує наступне:

- повний перелік видів і методів перевірки нових ПКМ, які є обов'язковими при проведенні їх визнання Регістром, а також перелік додаткових перевірок, які проводяться на вимогу Регістра, проєктантів та інших організацій-учасників розробки, приймання та постановки матеріалу на виробництво;
- розміри і спосіб виготовлення пластин (заготовок), з яких вирізають зразки для проведення випробувань;
- схему вирізки зразків з пластин (заготовок);
- конструкцію і технологію виготовлення типових конструкцій і вузлів;
- порядок виконання випробувань;
- порядок нагляду за процедурою проведення випробувань;
- порядок обробки та реєстрації результатів випробувань.

1.8 Регламентовані даною програмою і зазначені в ній відповідні методики, обсяг випробувань, послідовність і порядок їх виконання, а також процедури обробки та реєстрації результатів випробувань є обов'язковими.

1.9 Обсяг випробувань ПКМ, що проводяться в складі зразків, типових конструкцій і вузлів повинен забезпечувати отримання в повному обсязі відомостей про механічні, технологічні та інші властивості матеріалу, необхідні для підтвердження можливості його застосування в складі конструкцій і виробів, для яких він призначений.

1.10 У разі, якщо номенклатура і обсяг випробувань за цією програмою є недостатніми для обґрунтованої оцінки застосовності даного матеріалу в суднобудуванні, або потрібне проведення додаткових випробувань, необхідних для визначення спеціальних характеристик, може знадобитися розробка програми додаткових випробувань, яка повинна бути схвалена Регістром.

1.11 Для проведення випробувань за цією програмою повинно використовуватися відповідне атестоване випробувальне обладнання та засоби вимірювань, повірені (калібровані) в установленому порядку.

Використовувані випробувальне обладнання та засоби вимірювань повинні бути атестовані і мати діючі на момент випробувань свідоцтва про атестацію та сертифікати про калібрування.

2 ОБ'ЄКТИ ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Об'єктами випробувань є:

- зразки ПКМ, виконаного з моношарів на основі одного типу зв'язуючого і армуючого матеріалу, що має одну структуру армування;
- зразки легкого заповнювача;
- типові конструкції, виконані з цих ПКМ і легкого заповнювача;
- типові вузли, виконані з цих ПКМ.

2.2 Як армуючий матеріал моношару однорідного ПКМ можуть бути використані наступні матеріали (залежно від типу укладання):

- стрічки з односпрямованим армуванням;
- плетені тканини сатинового, полотняного, саржевого та іншого виду переплетення;
- мати;
- мультіаксіальні тканини (біаксіальні, триаксіальні, квадроаксіальні).

2.3 Випробуванням за цією програмою може піддаватися неоднорідний гібридний ПКМ, у якого моношари виконані з гібридних армуючих матеріалів, що мають в своєму складі волокна різної хімічної природи, наприклад, скляні та вуглецеві.

2.4 Типові конструкції і вузли представляють основні конструктивно-технологічні рішення, що застосовуються в корпусах і надбудовах суден з ПКМ.

2.5 Випробування типових конструкцій і вузлів проводяться для визначення можливості застосування розглянутого ПКМ і технології його переробки для виготовлення корпусних конструкцій і виробів і підтвердження необхідних характеристик міцності і працездатності ПКМ в їх складі.

2.6 ПКМ, що підлягає визнанню Регістром, а також виготовлені з нього типові конструкції і вузли, в т.ч. із застосуванням легкого заповнювача, повинні бути виготовлені за технологією виготовлення корпусів і надбудов суден з ПКМ, а також їх окремих конструкцій на підприємстві-виготовлювачу, або за технологією, розробленою для конкретного об'єкта.

У разі зміни технології або її окремих режимів, ПКМ повинен пройти повторні випробування в повному або скороченому режимі залежно від того, які зміни внесені в технологічний процес.

2.7 До проведення випробувань ПКМ технологія, яка розроблена для його виготовлення, повинна бути відпрацьована на підприємстві (виготовлювачі), де передбачається виготовлення зразків, типових конструкцій і вузлів, а також підтверджена стабільність технологічного процесу і якість виготовлення.

3 ОБСЯГ І ВИДИ ВИПРОБУВАНЬ ПКМ І ЛЕГКИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ

3.1 ПКМ і легкі заповнювачі, що підлягають визнанню Регістром, повинні пройти випробування за цією програмою в складі зразків для визначення наступних характеристик:

- фізико-механічних у вихідному стані і з урахуванням впливу факторів середовища експлуатації (вплив морської води, підвищених температур, циклічних і тривалих навантажень і т.д.);
- технологічних;
- показників ступеня пожежонебезпеки;

3.2 Зразки ПКМ і легкого заповнювача вирізаються з пластин (заготовок) в заданих напрямках і на вимогу в заданих районах цих пластин.

Зразки легкого заповнювача типу пінопласту вирізають з готових пластин або блоків, що поставляються підприємством-виготовлювачем.

Пластини (заготовки) для вирізання зразків ПКМ і легкого заповнювача на основі матів формуються з використанням технології, розробленої для їх виготовлення (див. [2.6](#) і [2.7](#)). Схема армування ПКМ визначається відповідно до [2.1](#) і [2.2](#).

3.3 Щільність укладання армуючих матеріалів при формуванні пластин (заготовок) повинна відповідати вимогам, встановленим для прийнятої технології формування. При цьому відносний вміст армуючих матеріалів залежно від їх типу для найбільш поширених методів формування повинен бути не нижче, зазначеного в [табл. 3.3](#).

Таблиця 3.3 Відносний вміст армуючих матеріалів за масою для методів формування

Метод формування	Тип армуючого матеріалу			
	Скломати	Скляне волокно	Вуглецеве волокно	Скляна рівниця
Контактне формування	не менше 0,3	не менше 0,5	не менше 0,35	--
Закрите (вакуумне) формування	--	0,65...0,7	0,4...0,6	--
Напилювання	--	--	--	не менше 0,35

Щільність укладання армуючих матеріалів повинна змінюватися таким чином, щоб відносний вміст зв'язуючого в різних точках пластин (заготовок) відрізнявся від його середнього значення не більше:

- для методу контактного формування - 2%;
- для методів закритого (вакуумного) формування - 0,5%;
- для методу напилювання - 3%.

3.4 Якість виготовлення пластин (заготовок) і вирізання з них зразків повинна відповідати вимогам цього додатку і/або стандарту, застосування якого погоджене з Регістром.

3.5 Випробування з визначення фізико-механічних характеристик.

3.5.1 Пружні і міцнісні характеристики ПКМ при короткочасних навантаженнях у вихідному стані визначаються згідно з переліком і методиками випробувань, зазначеними в [табл. 3.5.1](#).

Таблиця 3.5.1 Перелік характеристик ПКМ у вихідному стані і методики його випробувань при короткочасних навантаженнях

№ з/п	Характеристика	Напрямок вирізання зразка, град.	Методики випробувань
1	Густина	--	ISO 1183, ASTM D 792, ASTM D 1505, NF T 57-102, ГОСТ 15139-69
2	Відносний вміст зв'язуючого	--	ISO 1172, ASTM D 792, ASTM D 2734, ASTM D 3171, SACMA RM 10, ГОСТ 32652
3	Модуль нормальної пружності	0°, 45°, 90°	ASTM D 638 (Тип 1), ASTM D 3039/D 3039M
4	Модуль зсуву в площині армування	0°, 45°, 90°	ASTM D 3518, ASTM D 4255
5	Модуль міжшарового зсуву ¹	0°, 45°, 90°	ASTM D 2344, ASTM D 2733, SACMA SRM 8R
6	Коефіцієнт Пуассона і граничне відносне подовження	0°, 45°, 90°	ASTM D 3039/D 3039M, ASTM D 638 (Тип 1)
7	Максимальне напруження при розтягуванні	0°, 45°, 90°	ДСТУ EN ISO 527, EN ISO 527, ISO 527, ISO 3268, ASTM C 393/C 393M, ASTM D 638/D 638M, ASTM D3039/D3039M, ASTM D 54502, NF T 57-101, SACMA RM4, SACMA RM9

№ з/п	Характеристика	Напрямок вирізання зразка, град.	Методики випробувань
8	Максимальне напруження при стисканні	0°, 45°, 90°	ASTM D 638, ASTM D 695, ASTM D 3410, ASTM D 5449, ASTM D 5467, ASTM D 6484/D 6484M ISO 527, SACMA RM 1, SACMA RM 6
9	Максимальне напруження при згині ¹	0°, 45°, 90°	DCTV EN ISO 178, EN ISO 178, ISO 178, ISO 14125, ASTM C 393/C393M ² , ASTM D 790, NF T 57-105, ГОСТ 4648-71, ГОСТ 25.604-82
10	Максимальне напруження при зсуві в площині армування	--	ISO 1922, ASTM C 273, ASTM D 3518/D 3518M, ASTM D 4255, ASTM D 5379, ASTM D 5448, SACMA RM 7
11	Максимальне напруження при міжшаровому зсуві ¹	0°, 45°, 90°	ISO 4585, ASTM D 2344, ASTM D 2733, ASTM D 5379/D 5379 M-12 ² , ASTM E 143, NF T 57-104, SACMA RM 8
¹ Характеристики ПКМ під кутом 45° визначаються на основі біаксіальних діагональних тканин (+45°/-45°).			
² Застосовується для односпрямованої схеми армування ПКМ.			

3.5.2 Пружні і міцнісні характеристики ПКМ при повторно-статичних і тривалих навантаженнях у вихідному стані визначаються відповідно до переліку і методик випробувань, зазначених в [табл. 3.5.2](#).

Таблиця 3.5.2 Перелік характеристик ПКМ у вихідному стані і методики його повторно-статичних і тривалих навантажень

№ з/п	Характеристика	Напрямок вирізання зразка, град.	Методики випробувань
1	Границя обмеженої витривалості при розтягуванні на базі 2×106 циклів ¹	0°, 45°	DCTV EN ISO 527, EN ISO 527, ISO 527, ASTM D 3479
2	Границя обмеженої витривалості при стисненні на базі 2×106 циклів ¹	0°, 45°	DCTV EN ISO 527, EN ISO 527, ISO 527, ISO 13003, ГОСТ 33845
3	Границя обмеженої витривалості при вигині на базі 2×106 циклів ¹	0°, 45°	ISO 13003, ISO 14125, ASTM D 7774, ГОСТ 33845
4	Границя обмеженої витривалості при міжшаровому зсуві на базі 2×106 циклів ¹	0°, 45°	ISO 13003, ISO 14130, ГОСТ 33845
5	Границя довготривалої міцності при розтягуванні на базі 103год ¹	0°, 45°	ASTM D 2990, ГОСТ Р 57714
¹ Див. виноску 1 до табл. 3.5.1.			

3.5.3 Випробування зразків ПКМ при підвищеній температурі 60°C проводяться для визначення характеристик, зазначених в пунктах 3-5, 8, 11 [табл. 3.5.1](#). Виходячи з передбачуваних умов експлуатації випробування зразків ПКМ можуть проводитися і при інших значеннях підвищених температур.

3.5.4 Випробування на водопоглинення ПКМ проводяться відповідно до 2.3.9 частини XIII «Матеріали».

Вплив води на стійкість ПКМ визначається за зміною характеристик, зазначених в пунктах 3÷5, 7, 8, 11 [табл. 3.5.1](#). Попередньо зразки ПКМ піддаються прискореному впливу води відповідно до методики, наведеної в 2.3.12 частини XIII «Матеріали».

3.5.5 Зразки легкого заповнювача випробовуються на водопоглинення і при короткочасному навантаженні для визначення пружних і міцнісних характеристик. Перелік характеристик, які визначаються, і методики випробувань наведені в [табл. 3.5.5](#).

Таблиця 3.5.5 Перелік характеристик легкого заповнювача¹, що визначаються, і методики випробувань

№ з/п	Характеристика	Методики випробувань
1	Граничне водопоглинення	ISO 2896, ГОСТ 203869-75
2	Модуль нормальної пружності	ASTM E1875-13, ASTM D 1621, ASTM D 1623 ² , ГОСТ 18336-73, ГОСТ 17370-71 ²
3	Модуль зсуву	ASTM C 273
4	Руйнуюче напруження при розтягуванні	ASTM D 1623, ГОСТ 17370-71
5	Руйнуюче напруження при стисканні	ASTM D 1621, ГОСТ 23206-78
6	Руйнуюче напруження при зсуві	ASTM C 273, ASTM C393/C393M
¹ Для легкого заповнювача на основі матів пружні та міцнісні характеристики визначаються в напрямках 0° і 90° в площині укладання мату, при цьому напрямом 0° орієнтований уздовж полотнища мату.		
² Указані стандарти визначають метод випробування зразків на розтягування без уточнення методу визначення модуля пружності.		

3.5.6 Для визначення можливості застосування ПКМ в конкретних конструкціях і виробих можуть враховуватися додаткові характеристики, зазначені в [табл. 3.5.6](#).

3.5.7 Залежно від умов експлуатації повинні визначатися:

- вплив на механічні характеристики масло -, нафтопродуктів;
- вплив на механічні характеристики соляного туману;
- лінійне (об'ємне) розширення і теплопровідність.

3.5.8 Перелік додаткових характеристик може уточнюватися на основі результатів проведених випробувань.

Таблиця 3.5.6 Перелік додаткових характеристик ПКМ і методики їх визначення

№ з/п	Характеристика	Методики випробувань
1	Гранична міцність при розтягуванні – стисненні в трансверсальному напрямку	ASTM D 6415, ASTM C 297
2	В'язкість руйнування (форми 1 і 2)	ASTM D 5528-01 (форма 1), метод вигину балки з одностороннім надрізом (ENF) (форма 2)
3	Питома ударна в'язкість	ДСТУ EN ISO 179-2, EN ISO 179-2, ISO 179-2, ГОСТ 4647-80
4	Повзучість при розтягуванні - стисненні	ASTM D 2990, ГОСТ Р 57714

3.6 Випробування з визначення технологічних характеристик.

3.6.1 Випробування по визначенню технологічних характеристик проводяться для визначення технологічності, тобто здатності вихідних компонентів - армуючих матеріалів і зв'язуючого, перероблятися в конструкцію (виріб) з ПКМ за допомогою обраного методу виготовлення (контактного формування, напилювання, вакуумної інжекції (методом інфузії, RTM-методами), автоклавного формування, пресування, пултрузії) із забезпеченням стабільності і належної якості виготовлення.

3.6.2 Для визначення технологічності вихідних компонентів повинні визначатися наступні характеристики:

- в'язкість зв'язуючого;
- температура екзотермічної реакції при полімеризації зв'язуючого;
- ступінь і час полімеризації зв'язуючого;
- величина усадки зв'язуючого при його полімеризації;
- просочуваність і смолонасищення армуючого матеріалу;
- відносний вміст зв'язуючого в ПКМ;
- допустима товщина ПКМ при безперервному формуванні;

- максимальна температура і час термообробки ПКМ при гарячому твердненні;
- кількість тиксотропних добавок і здатність забезпечити формування вертикальних поверхонь.

3.6.3 Динамічна в'язкість смоли визначається за методикою ASTM D2196-05.

3.6.4 Температура екзотермічної реакції при полімеризації зв'язуючого визначається відповідно до ISO 584.

3.6.5 Ступінь і час полімеризації зв'язуючого визначаються температурою скловання відповідно до ДСТУ ISO 11357 чи ISO 11357, час полімеризації зв'язуючого (желатинізації) - ДСТУ ISO 2535.

3.6.6 Усадка зв'язуючого при його полімеризації визначається відповідно до ISO 2577.

3.6.7 Просочуваність і смолонасищення армуючого матеріалу (оцінка швидкості просочування для порівняльних випробувань) та смолонасищення визначаються за методиками, зазначеними в пункті 2 [табл. 3.5.1.](#)

3.6.8 Відносний вміст зв'язуючого в ПКМ визначається за методиками, зазначеними в пункті 2 [табл. 3.5.1.](#)

4 ОБСЯГ І ВИДИ ВИПРОБУВАНЬ ТИПОВИХ КОНСТРУКЦІЙ І ВУЗЛІВ

4.1 Типові конструкції і вузли повинні представляти собою основні в'язі та елементи корпусних конструкцій, мати представницькі розміри і забезпечувати можливість їх виготовлення з використанням обраної технології для підтвердження того, що дана технологія може застосовуватися для виготовлення корпусних конструкцій із забезпеченням стабільності технологічного процесу та належної якості виготовлення.

4.2 Типові конструкції і вузли виготовляються із заявленого для визнання ПКМ, в т.ч. з використанням легкого заповнювача, за технологією, обраною з урахуванням [2.6.](#)

4.3 У складі типових конструкцій і вузлів можуть використовуватися ПКМ на основі інших армуючих матеріалів, однакової з заявленим для визнання ПКМ хімічної природи, і на тому ж зв'язуючому. При цьому ці ПКМ повинні бути визнані або можуть проходити процедуру визнання одночасно з першим ПКМ.

4.4 Виготовлення типових конструкцій і вузлів повинно виконуватися згідно з відомостями комплектів конструкторської та технологічної документації.

4.5 До складу типових конструкцій і вузлів у цій програмі включені:

- одношарові пластини;
- тришарові пластини;
- балки набору П-подібного профілю;
- вузол стикового з'єднання;
- вузол Т-подібного з'єднання.

4.6 Одношарові пластини і методика їх випробувань.

4.6.1 Одношарові пластини виготовляються з ПКМ, який розглядається, заданої структури армування (див. [2.1](#) і [2.2](#)) з укладанням полотнища армуючого матеріалу уздовж довгої сторони пластини.

4.6.2 Виготовлення пластин проводиться за допомогою обраної технології виготовлення (див. [2.6](#)) в двох положеннях - в горизонтальному і вертикальному, по одній пластині в кожному положенні (див. рис. [4.6-1](#)). У першому положенні розміри пластини повинні бути не менше 1500×1000мм, у другому положенні - не менше 2000×1000мм, причому довга сторона повинна бути орієнтована у вертикальному напрямку. В обох випадках товщина пластин повинна дорівнювати 10мм.

При виготовленні вертикальної пластини обсяги застосування тиксотропних добавок і клею (для закріплення сухого армуючого матеріалу в разі використання технологій вакуумної інжекції) повинні бути строго обмежені.

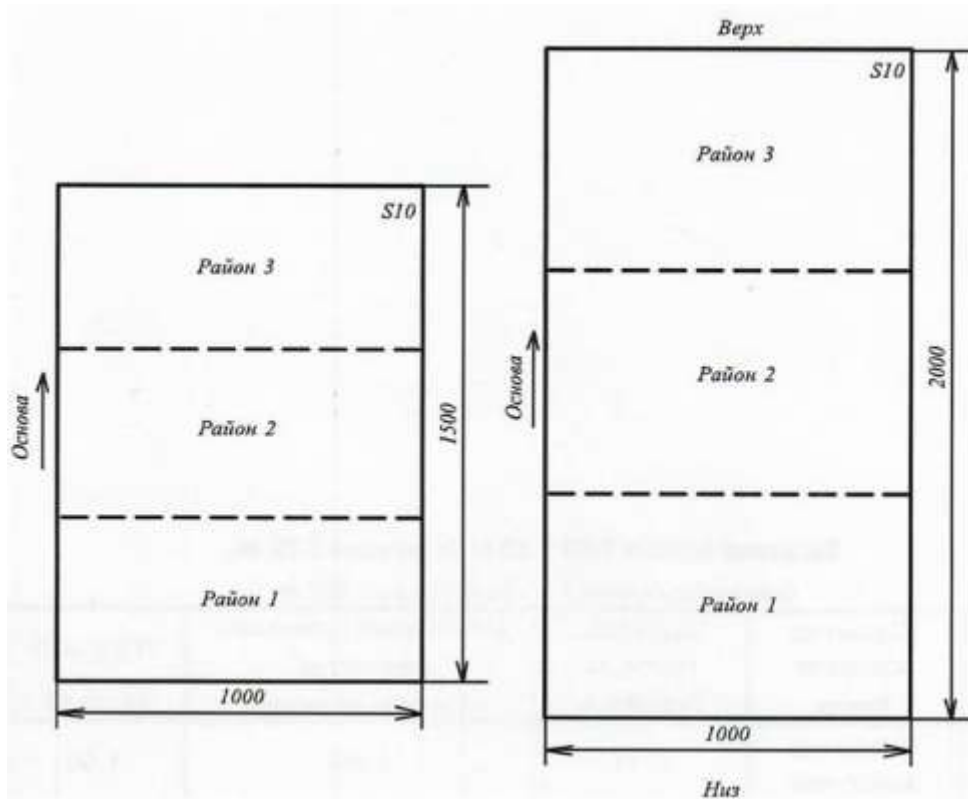


Рис. 4.6-1 Одношарові пластини ПКМ горизонтальної (зліва) та вертикальної (справа) формовки

4.6.3 Із пластин з трьох різних районів (поблизу коротких сторін пластини і посередині) вирізаються зразки у вигляді призм (див. [рис. 4.6-2](#)):

- для випробувань на статичний згин відповідно до методик п. 9 [табл. 3.5.1](#) розмірами 200×20мм по 10 шт. для кожного напрямку армування;
- для випробувань на міжшаровий зсув відповідно до методик п. 5 і 11 [табл. 3.5.1](#) розмірами 60×10мм, також по 10 шт. для кожного напрямку армування;
- для визначення густини відповідно до методик п. 1 [табл. 3.5.1](#);
- для визначення відносного вмісту зв'язуючого за методиками, зазначеними в п. 2 [табл. 3.5.1](#).

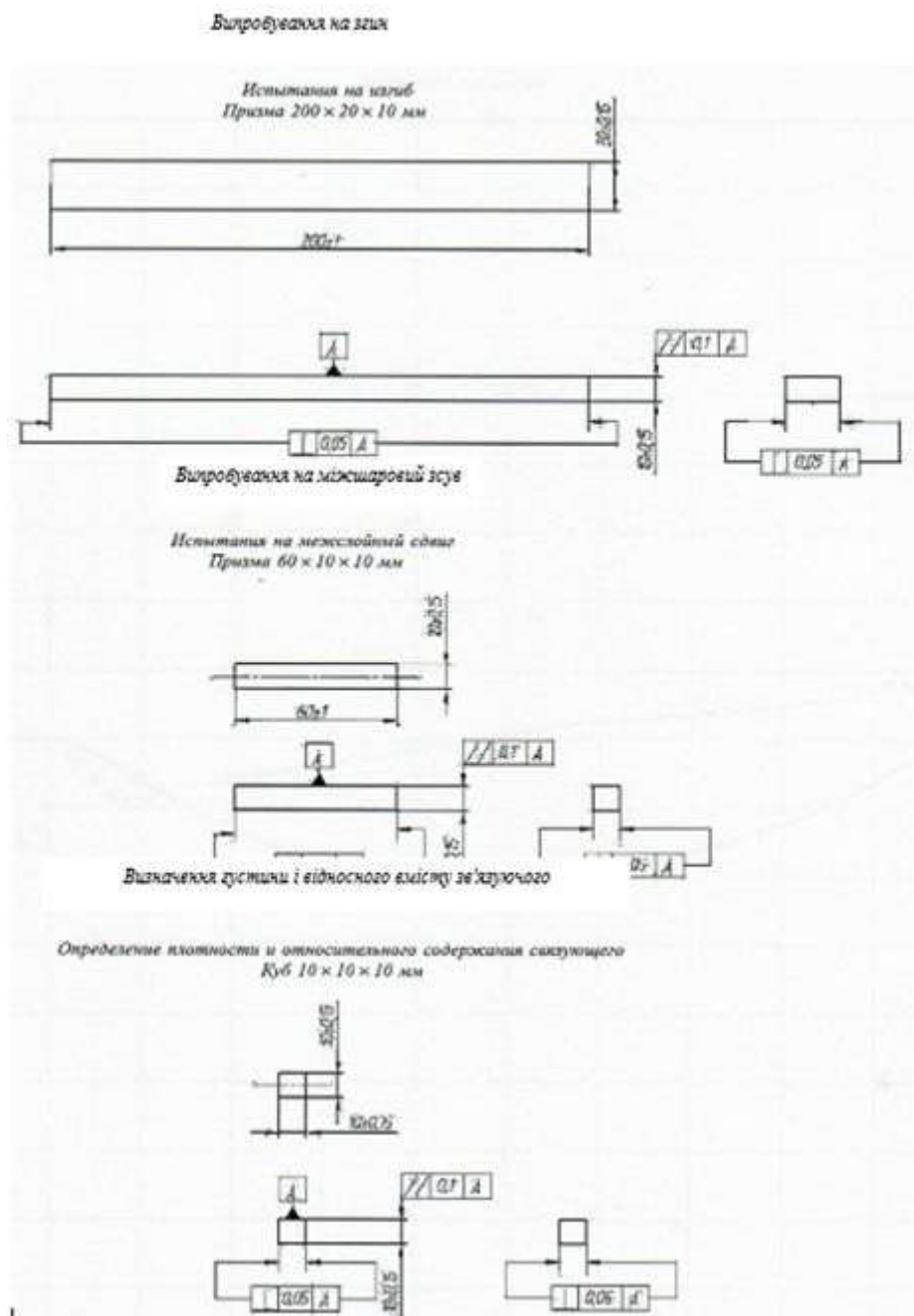


Рис. 4.6-2 Зразки ПКМ для фізико-механічних випробувань у вихідному стані, вирізані з пластин горизонтальної та вертикальної формовки (див. [рис. 4.6-1](#))

4.6.4 Половина зразків для випробувань на вигин (за три точковою схемою) і міжшаровий зсув випробовуються при короткочасному навантаженні, друга половина - при повторно-статичному навантаженні згідно з стандартом, визнаним Регістром, на базі 10^4 циклів при 50% рівня навантаження від середньої величини розривного навантаження, визначеної за результатами статичних випробувань. У цьому випадку, якщо при повторно-статичних випробуваннях руйнування зразка не відбулося, то його випробовують до руйнування при короткочасному прикладанні навантаження.

4.7 Тришарові пластини і методика їх випробувань.

4.7.1 У тришарових пластинах несучі шари виготовляються з визнаного ПКМ заданої структури армування (див. [2.1](#) і [2.2](#)) з укладанням полотна армуючого матеріалу вздовж довгої сторони пластини. Як середній шар застосовується визнаний легкий заповнювач, або заповнювач, який вже визнаний і має Свідоцтво про типову схвалення Регістру (СТС). У разі застосування полівінілхлоридного пінопласту типу ПВХ або пінополіуретану його густина повинна становити $100 - 150 \text{ кг/м}^3$.

4.7.2 Виготовлення тришарових пластин аналогічне виготовленню одношарових (див. [4.6.2](#)). Розміри пластин для двох положень формування повинні бути не менше 2000×1000 мм. При цьому товщина несучих шарів повинна дорівнювати 4 мм, а товщина середнього шару - 40 мм.

4.7.3 З пластин з трьох різних районів (поблизу коротких сторін пластини і посередині) вирізаються зразки у вигляді призм (див. [рис. 4.7](#)):

для випробувань на згин відповідно до ASTM D790/ASTM C393/C393M розмірами $750 \times 50 \times 48$ мм по 6 шт. для кожного напрямку армування;

для при випробуванні методом згину короткої балки відповідно до ASTM D2344/SACMA SRM 8R розмірами $300 \times 50 \times 48$ мм по 6 шт. для кожного напрямку армування.

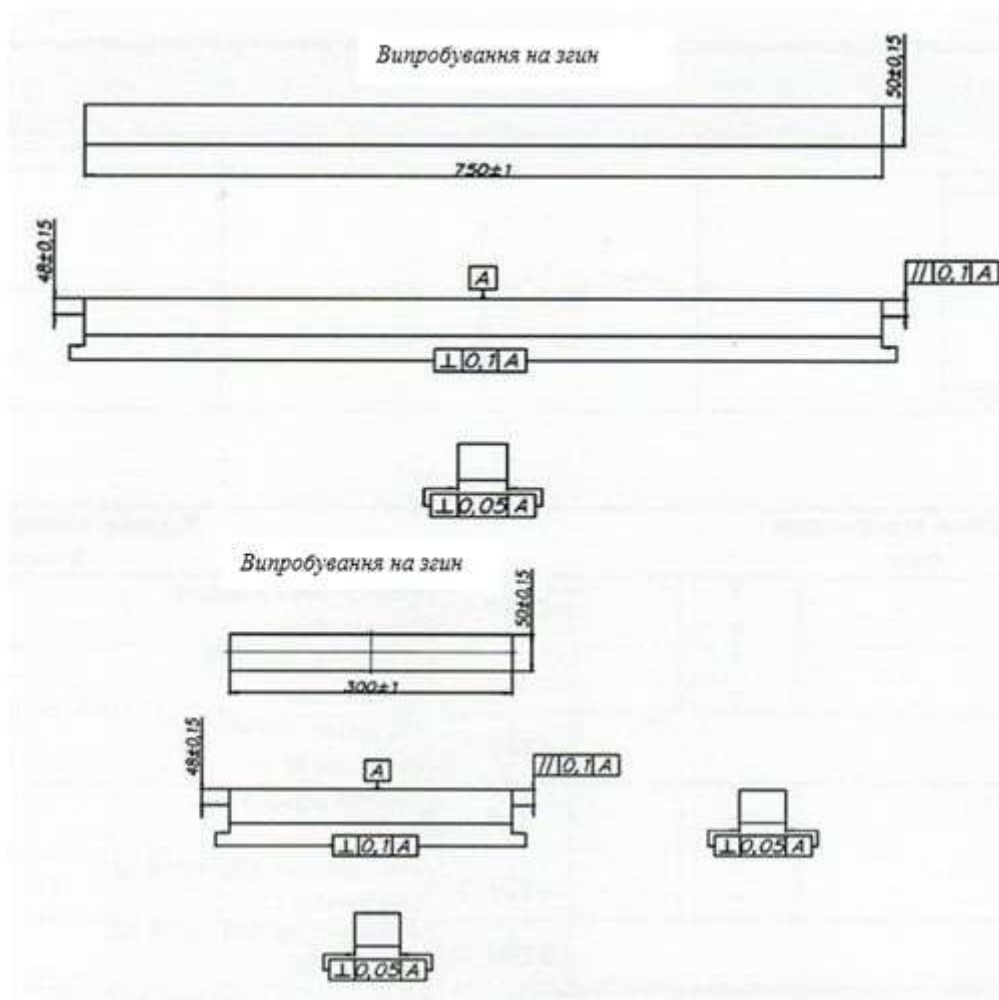


Рис. 4.7 Зразки ПКМ для фізико-механічних випробувань у вихідному стані, вирізаються з тришарових пластин горизонтального і вертикального формування (див. [4.7.1](#) і [4.7.2](#))

4.7.4 Половина зразків на згин (за чотирьох точковою схемою) і укорочений згин (за три точковою схемою) випробовуються при короткочасному прикладанні навантаження, друга половина - при повторно-статичному навантаженні згідно з визнаним стандартом або схваленою Регістром методикою на базі 10^4 циклів при 50% рівні навантаження від середньої величини розривного навантаження, визначеного за результатами статичних випробувань. У тому випадку, якщо при повторно-статичних випробуваннях руйнування зразка не відбулося, то його випробовують до руйнування при короткочасному прикладанні навантаження.

4.8 Балки набору П-подібного профілю і методика їх випробувань.

4.8.1 Балки набору П-подібного профілю складаються з приєднаного пояска, заповнювача (сердечника) профілю, його обформовки, що переходить у фланці, і додаткових елементів у вигляді книць, бракет і накладок, які встановлюються для підкріплення профілю в місцях прикладання зосереджених

навантажень при випробуваннях балок на згин (див. [рис. 4.8](#)).

Приєднаний пояс і обформовка профілю виконується з ПКМ, що випробовується, на основі одного армуючого матеріалу із заданою структурою армування (див. [2.1](#) і [2.2](#)), за винятком біаксіальних діагональних тканин і матів, або на основі двох ПКМ, що випробовуються, з різними армуючими матеріалами. В останньому випадку відносний вміст цих ПКМ відносно один одного повинний бути зазначений в робочій і конструкторській документації на виготовлення цих балок. Як заповнювач (сердечник) профілю застосовується полівінілхлоридний пінопласт типу ПВХ або пінополіуретан густиною 80 - 150 кг/м³, які повинні бути визнані Регістром.

Балки мають висоту заповнювача (сердечника) 150 мм і товщину приєданого пояса 12 мм (див. [рис. 4.8](#)).

4.8.2 Виготовлення балок проводиться відповідно до прийнятої технології виготовлення (див. [2.6](#)). При цьому виготовлення книць, їх приформовка і наформовка накладок в місцях підкріплення може проводитися методом контактного формування.

4.8.3 Балки виготовляються довжиною 800 мм при випробуванні методом згину короткої балки за три точковою схемою на прогоні 700 мм за методикою, схваленою Регістром. Навантаження до балок прикладається з боку приєданого пояса.

Балки виготовляються в кількості 6 шт. Половина балок випробовується при короткочасному прикладанні навантаження до руйнування, друга половина - піддається повторно-статичним випробуванням на базі 10⁴ циклів при максимальному значенні навантаження в циклі, що дорівнює 50% від середньої величини руйнівного навантаження, визначеної за результатами статичних випробувань балок.

4.9 Вузол стикового з'єднання і методика його випробувань.

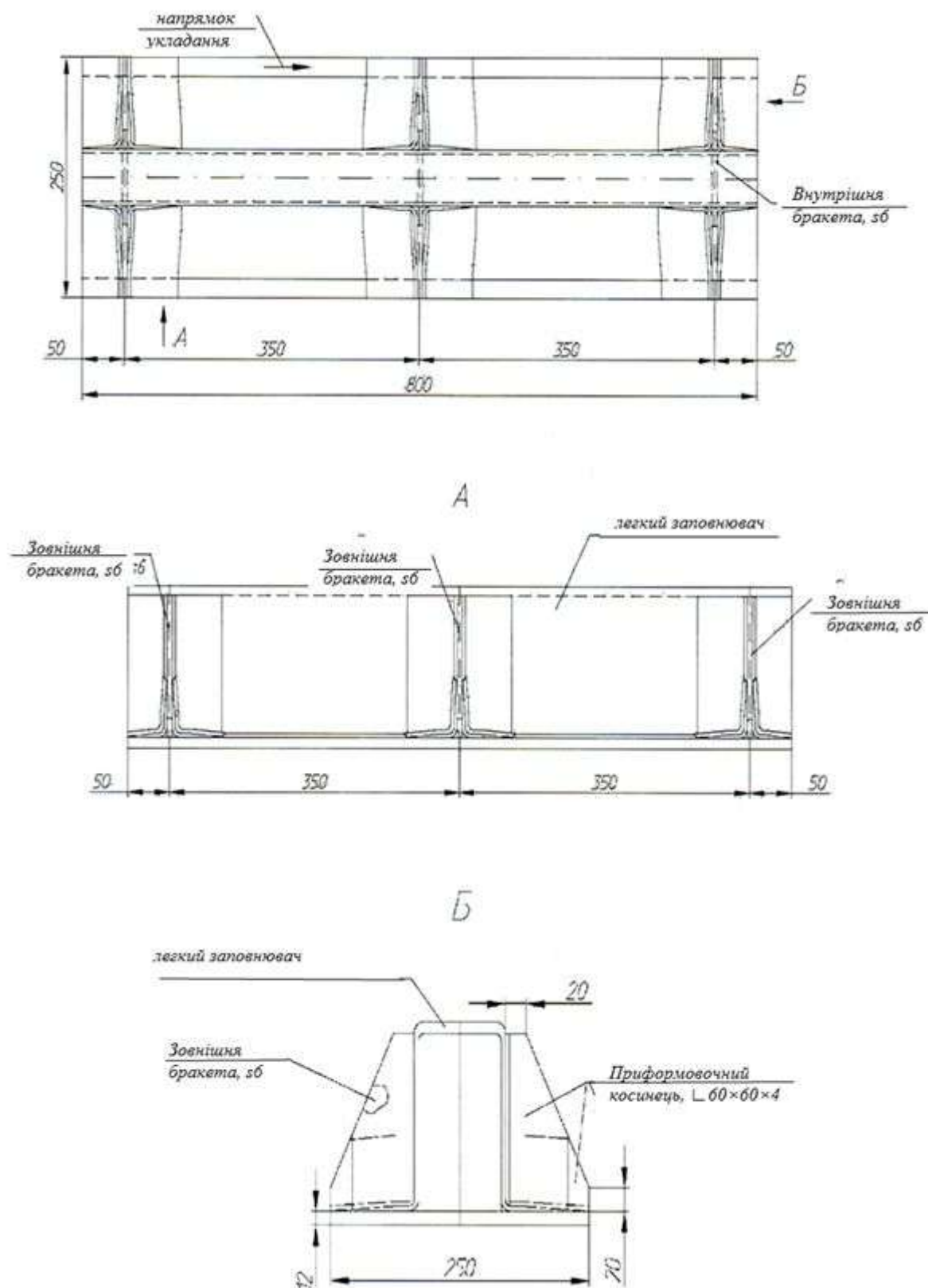
4.9.1 Вузол стикового з'єднання являє собою з'єднання двох пластин товщиною 10 мм за допомогою двосторонніх накладок без оброблення кромки (див. [рис. 4.9](#)). Пластини і з'єднувальні накладки виготовляються з ПКМ, що сертифікується, на основі одного армуючого матеріалу з заданою структурою армування (див. [2.1](#) і [2.2](#)), за винятком біаксіальних діагональних тканин і матів.

4.9.2 Виготовлення пластин і наформовка з'єднувальних накладок проводиться відповідно до прийнятої технології виготовлення - методами інфузії або контактної формувальності (див. [2.6](#)). При цьому залежно від того, яка технологія проходить процедуру визнання Регістром, пластини можуть бути виготовлені методом інфузії, а наформовка з'єднувальних накладок - методом контактної формувальності, та навпаки.

4.9.3 Вузол стикового з'єднання виготовляється в кількості 6 шт. для випробувань на розтягування за методикою, схваленою Регістром. Половина зразків вузлів випробовується при короткочасному прикладанні навантаження до руйнування, друга половина - піддається повторно-статичним випробуванням на базі 10⁴ циклів при максимальному значенні навантаження в циклі, що дорівнює 50% від середньої величини розривного навантаження, визначеної за результатами статичних випробувань вузла. У випадку, коли при повторно-статичних випробуваннях руйнування зразка не відбулося, то його випробовують до руйнування при короткочасному прикладанні навантаження для визначення залишкової міцності.

4.10 Вузол Т-подібного з'єднання і методика його випробувань.

4.10.1 Вузол Т-подібного з'єднання представляє з'єднання двох пластин товщиною 10 мм з допомогою приформовочних косинців (див. [рис. 4.10](#)). Пластини і приформовочні косинці виготовляються з ПКМ, що випробовується, на основі одного армуючого матеріалу із заданою структурою армування (див. [2.1](#) і [2.2](#)), за винятком біаксіальних діагональних тканин і матів.



10 - товщина вільного пояса, мм; 150 - висота сердечника з легкого заповнювача, мм;
 4 - товщина стінок обформовки профілю, мм; 80 - ширина сердечника, мм;
 80 в знаменнику - густина заповнювача, кг/м³

Рис. 4.8 Загальний вигляд балки набору П-подібного профілю для випробувань методом згину короткої балки

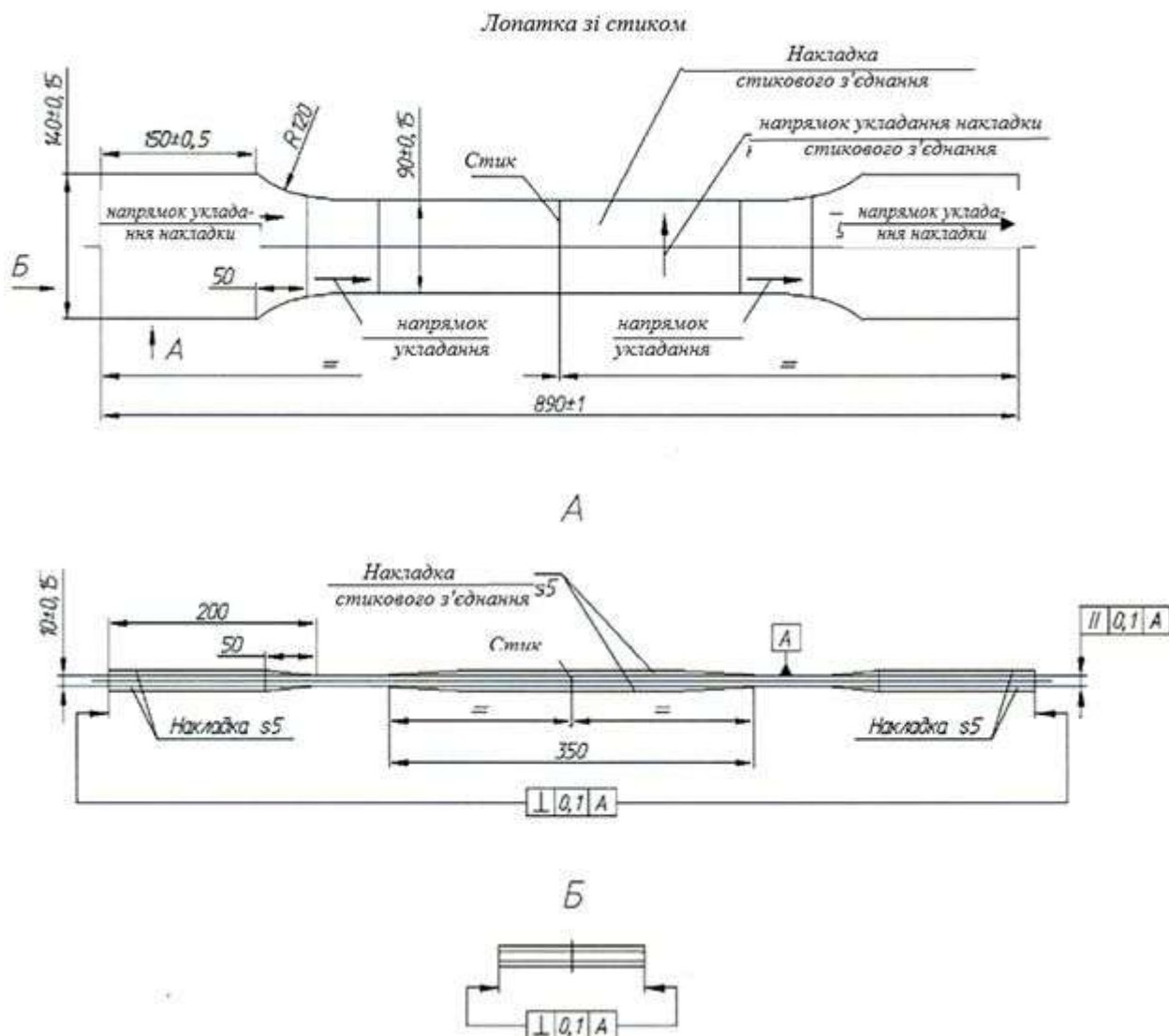


Рис. 4.9 Вузол стикового з'єднання для випробувань на розтягування

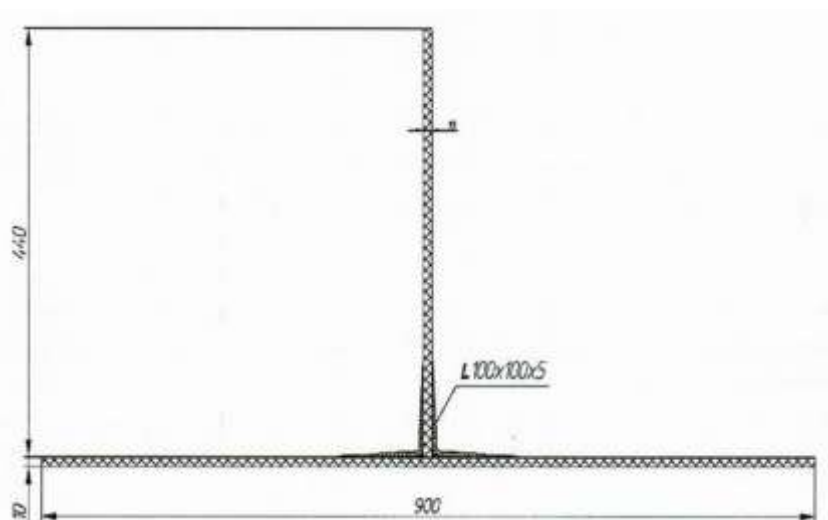


Рис. 4.10 Вузол Т-подібного з'єднання для випробувань на рівномірний відрив

4.10.2 Вибір технології виготовлення пластин і приформовка косинців проводиться аналогічно вузлу стикового з'єднання (див. [4.9.2](#)).

4.10.3 Для випробувань на рівномірний відрив за схваленою Регістром методикою вузол Т-подібного з'єднання виготовляється в кількості 6 шт. (див. [рис. 4.10](#)). Половина зразків вузлів випробовується при короткочасному прикладанні навантаження до руйнування, друга половина - піддається повторно-статичним випробуванням на базі 10^4 циклів при максимальному значенні навантаження в циклі, що дорівнює 50% від середньої величини розривного навантаження, визначеного за результатами статичних випробувань вузла. У тому випадку, якщо при проведенні повторно-статичних випробувань руйнування зразка не відбулося, то його випробовують до руйнування при короткочасному прикладанні навантаження до руйнування для визначення залишкової міцності.

5 ВНЕСЕННЯ ЗМІН ДО ПРОГРАМИ ВИПРОБУВАНЬ

5.1 Пропозиції щодо внесення змін направляються проєктантами суден з ПКМ, підприємствами (виготовлювачами), що займаються виготовленням конструкцій і виробів з цих матеріалів, а також іншими зацікавленими організаціями, з відповідним технічним обґрунтуванням необхідності внесення даних змін.

5.2 Запропоновані зміни розглядаються Регістром і в разі схвалення вносяться в програму випробувань.

ЗРАЗОК ПРОТОКОЛУ ВИПРОБУВАНЬ**1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ**

- 1.1** Об'єкт випробувань _____
(опис (найменування) об'єкта і його характеристики)
- 1.2** Вид випробувань _____
(найменування методу випробувань з посиланням на документи, згідно з якими проводилися випробування)
- 1.3** Підстава для проведення випробувань _____
(номер контракту, найменування та адреса замовника)
- 1.4** На випробуваннях були присутні _____
(ПІБ та посади представників замовника або офіційних представників уповноваженої ним організації, що веде нагляд)
- 1.5** Дата поставки _____
- 1.6** Період випробувань _____
(дата проведення випробувань)
- 1.7** Місце проведення випробувань _____
(найменування та адреса випробувальної лабораторії (ВЛ))
- 1.8** Умови проведення випробувань _____
(умови навколишнього середовища при проведенні випробувань)

2 ВИПРОБУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ

- 2.1** Випробувальне обладнання _____
(перелік використаного випробувального устаткування, дата останньої атестації, номери атестатів і термін дії)
- 2.2** Засоби вимірювання _____
(перелік використаних засобів вимірювальної техніки, їх метрологічні паспортні характеристики, дати останніх калібрувань (повірок), номери сертифікатів (свідомств про калібрування) та терміни дії)

3 ДОКУМЕНТАЦІЯ

Вказується перелік нормативної та технічної документації, використаної при випробуваннях (технічне завдання, програма, методики випробувань і вимірювань, стандарти, ТУ і т.д.).

4 ПРОЦЕДУРА ВИПРОБУВАНЬ (на вимогу замовника)

Вказується короткий опис процедури випробувань, включаючи умови їх проведення (температура, вологість і т.д.).

- 5 ВІДХИЛЕННЯ** _____
(перелік відхилень від програми і методик випробувань і вимірювань)

- 6 ПРОБИ** _____
(перелік виконаних робіт)

7 РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ

Вказуються результати випробувань у вигляді, що відповідає вимогам замовника із зазначенням допустимої величини похибки розрахунків.

8 ВИСНОВОК

Інформація про отримання результатів випробувань в повному обсязі відповідно до вимог замовника.

9 ДОДАТОК

Вказуються вихідні дані обробки результатів випробувань та інша необхідна інформація.

Примітки: 1. На вимогу замовника перелік інформації, що міститься в розділах протоколу може бути розширений.
2. Результати випробувань відносяться тільки до об'єктів, які пройшли випробування.

Регістр судноплавства України

**ПРАВИЛА
КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ
МОРСЬКИХ СУДЕН**

**ЧАСТИНА XVI
КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ КОРПУСІВ
СУДЕН ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

Регістр судноплавства України
04070, Київ, вул. Петра Сагайдачного, 10
<https://ur.ua>