

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

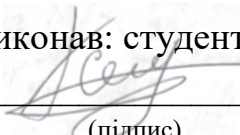
Кораблебудівний навчально-науковий інститут
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри, в.о.

/ Бобров М.М. /  (підпис)

«22» грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему:
«Дослідження технологічного процесу виготовлення секції верхньої палуби
проекту суховантажного судна»

Виконав: студент(ка) 6116м групи
 Галаган С.В.
(підпис)

Керівник роботи: доцент кафедри, к.т.н.
 Соков В.М.
(підпис)

Миколаїв 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут (факультет): Кораблебудівний

Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

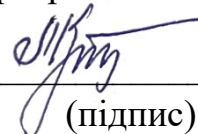
Спеціальність 135 Суднобудування

Освітня програма «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

Коростильов Л.І.



(підпис)

«02» грудня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Студенту Галагану Сергію Віталійовичу

1. Тема роботи: Дослідження технологічного процесу виготовлення секції верхньої палуби проекту суховантажного судна.

Керівник роботи: Соков В.М., к.т.н., доц. кафедри.

Затверджені наказом ректора № 1366-уч від «18» листопада 2025 року.

2. Термін подання роботи до 16 грудня 2025 року.

3. Вихідні дані по роботі: вихідні дані по судну, фахова література, матеріали конференцій, репозитарій університету.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

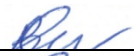
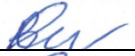
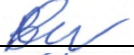
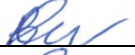
Розділ 1. Загальні положення та моделі дослідження.

Розділ 2. Аналіз варіювання числа балок перекриття.

Розділ 3. Розробка технології виготовлення секції перекриття верхньої палуби.

5. Перелік презентаційних матеріалів виконаний в середовищі PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

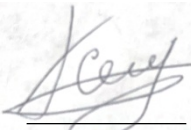
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Соков В.М.		
2	Соков В.М.		
3	Соков В.М.		

7. Дата видачі завдання: 16 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні положення та моделі дослідження	вересень 2025	виконано
2	Аналіз варіювання числа балок перекриття	жовтень-листопад 2025	виконано
3	Розробка технології виготовлення секції перекриття верхньої палуби	грудень 2025	виконано
4	Оформлення магістерської роботи	грудень 2025	виконано
5	Передача магістерської роботи на рецензування рецензенту	грудень 2025	виконано
6	Передача магістерської роботи науковому керівнику для написання відгуку	грудень 2025	виконано
7	Кафедральний захист магістерської роботи	05 грудня 2025	виконано
8	Захист магістерської роботи	24 грудня 2025	виконано

Студент


(підпис)

Галаган С.В.

(ПІБ)

Керівник роботи


(підпис)

Соков В.М.

(ПІБ)

АНОТАЦІЯ

Галаган С.В. Дослідження технологічного процесу виготовлення секції верхньої палуби проекту суховантажного судна. Кваліфікаційна магістерська робота зі спеціальності 135 «Суднобудування», освітньої програми «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд». Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова, 2025. 60 с.

В роботі в рамках наукового дослідження проаналізовані різні конструктивні рішення для верхньої палуби для того, щоб визначити тенденцію зміни маси перекриття в залежності від числа поперечних та поздовжніх балок підкріплення настилу, щоб мати змогу правильно прийняти конструктивне рішення. Окремо проаналізовані варіанти профілів поздовжніх балок та створені відповідні моделі вартісно-економічного аналізу, де були враховані технологічні фактори для допомоги в прийнятті рішення щодо застосування певного виду профілю в рамках конкретного виробництва. Розроблена принципіальна технологія виготовлення перекриття верхньої палуби.

Ключові слова: верхня палуба, міцність, стійкість, технологія.

SUMMARY

Halahan Serhii. Investigation of the technology process of manufacturing of the top deck's section of the dry cargo carrier. Qualification master's work on specialty 135 "Shipbuilding", of the educational program "Construction and Strength of Hull of Ships and Floating Structures". Mykolaiv: NUOS, 2025. 60 p.

In the work, as part of the scientific research, various structural solutions for the upper deck were analyzed in order to determine the trend of the change in the mass of the floor depending on the number of transverse and longitudinal beams of the deck reinforcement in order to be able to make the right structural decision. Variants of the profiles of the longitudinal beams were separately analyzed and appropriate cost-economic analysis models were created, where technological factors were taken into

account to help in making a decision on the use of a certain type of profile within the framework of a specific production. A principled technology for manufacturing the upper deck floor was developed.

Keywords: top deck, strength, stability, technology.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Положення щодо розрахунку перекриття верхньої палуби	9
1.2 Положення для розрахунку пластини ВП з умов міцності	12
1.3 Положення для розрахунку пластин ВП з умов стійкості	13
1.4 Положення для розрахунку РЖ з умов міцності і стійкості	15
1.5 Положення для розрахунку бімсів з умов міцності	24
1.6 Положення для розрахунку бімсів з умов стійкості	25
1.7 Параметри серійних розрахунків	27
2 АНАЛІЗ ВАРІЮВАННЯ ЧИСЛА БАЛОК ПЕРЕКРИТТЯ	29
2.1 Аналіз профілів поздовжніх балок ВП з фіксованим числом поздовжніх балок і бімсів	29
2.2 Аналіз параметрів перекриття при зміні кількості бімсів для фіксованої кількості поздовжніх РЖ	35
2.3 Аналіз параметрів перекриття при зміні кількості поздовжніх РЖ для фіксованої кількості бімсів	40
2.4 Аналіз отриманих результатів	49
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СЕКЦІЇ ПЕРЕКРИТТЯ ВП ...	53
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КС – корпус судна

ЕБ – еквівалентний брус

РС – розрахунковий стан

ЦВ – центр ваги

ГВК – головні вільні коливання

ВП – верхня палуба

РЖ – ребра жорсткості

ВСТУП

Перекриття верхньої палуби, що проектується повинно задовольняти вимогам міцності і стійкості, бути якомога легшим і дешевшим у виробництві. Для забезпечення виконання вищезазначених умов в рамках наукової складової в роботі досліджується вплив зміни чисельності поздовжніх і поперечних балок (бімсів) на масу перекриття ВП, при забезпеченні необхідної міцності і стійкості як перекриття в цілому, так і окремих його елементів, з врахуванням технологічних факторів. Також вивчена можливість застосування різних типів профілів поздовжніх РЖ: зварних, катаних, полоси з метою вибору найдешевшого варіанту собівартості виготовлення, в тому числі з врахуванням технологічних факторів. Була розроблена масштабована технологія виробництва з визначенням часу і вартості виготовлення секції в цілому та його елементів.

Метою магістерської роботи є дослідження впливу зміни числа балок перекриття ВП на його собівартість виготовлення та масу, приймаючи до уваги технологічні фактори, щоб мати змогу створити масштабовану модель вартісно-економічного аналізу для прийняття рішення в рамках конкретного виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі.

- 1) Розробити/сформулювати моделі розрахунку перекриття верхньої палуби в цілому і його складових елементів зокрема, таких як ребер жорсткості і пластин.
- 2) Провести аналіз варіювання числа балок перекриття з умов забезпечення міцності і стійкості, з метою визначення впливу числа балок на масу перекриття, щоб розробити масштабовану вартісно-економічну модель оцінки вартості і часу виготовлення перекриття секції ВП в залежності від параметрів.
- 3) Представити принципову масштабовану технологію виготовлення секції ВП.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Положення щодо розрахунку перекриття верхньої палуби

В рамках даного дослідження будуть проведені серійні розрахунки при варіюванні числа поздовжніх і поперечних балок (бімсів) з метою виявлення динаміки зміни маси перекриття від числа вказаних балок. Для кожного з фіксованих чисел балок розглядатиметься можливість застосування таких профілів як катаних, зварних, полоси з метою вибору найдешевшого варіанту собівартості виготовлення, враховуючи реальні технологічні процеси. Буде розроблено принципову технологію виробництва і відповідну масштабовану модель оцінки вартості і часу виготовлення перекриття секції ВП в залежності від параметрів.

Досліджується регулярне палубне перекриття (рис. 4.1), з рівномірно розташованими поздовжніми та поперечними балками. Таке перекриття розташоване між люками. Товщина настилу ВП в межах перекриття постійна.

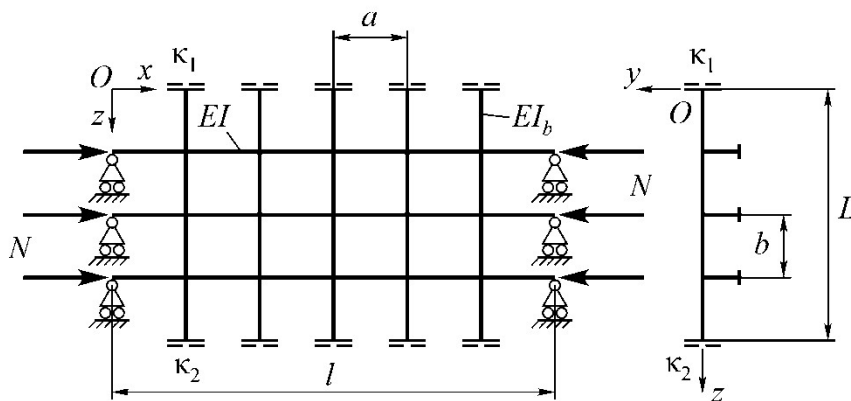


Рис. 4.1 – Регулярне палубне перекриття

На рис. 4.1 позначено наступне: $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па – модуль Юнга для сталі; I, I_b – головні центральні моменти інерції відповідно поздовжніх та поперечних РЖ (бімсів), які поки невідомі і є одним із об'єктів дослідження; $l = 13,0$ м – довжина відсіку; $L = 15,0$ м; $b = 0,75$ м – шпация; a – відстань між бімсами, яка буде варіюватися; $\kappa_1 = \kappa_2 = 1$, так як кінці бімсів закріплені між подвійними бортами,

що імітує жорстке защемлення, хоча насправді $\kappa_{1,2} < 1$, т.я. має місце податливість бортового перекриття, але дослідити цю податливість в рамках даного дослідження не представляється можливим, і більш того це дослідження не є доцільним.

В рамках дослідження варіюватиметися:

- кількість бімсів n_b , що потягне за собою варіювання величини a (рис. 4.1);
- кількість поздовжніх РЖ n_{π} , що потягне за собою варіювання величини b (рис. 4.1).

Для фіксованих n_b і n_{π} виконуються наступні процедури.

1) Визначення товщини настилу ВП з умов міцності і стійкості шляхом розрахунку окремо взятої пластини, виділеної в рамках жорсткого прямокутного контуру між поздовжніми та поперечними балками (бімсами).

2) Визначення мінімально необхідних: осьового моменту опору та головного центрального моменту інерції поперечного перерізу поздовжньої балки ВП відповідно з умов міцності і стійкості. За визначеними моментами опору та інерції підбираються профілі вказані в табл. 4.1. При чому підбір профілів балок відбувається з врахуванням приєднаного пояску обшивки, до якої ця балка прикріплена. Останнє положення застосовується для всіх балок в рамках виконуваної роботи.

Таблиця 4.1 – Профілі поперечного перерізу балок перекриття

№	Назва профілю	Ескіз ізолюваного профілю	Ескіз профілю з приєднаним пояском обшивки	Стандарт
1	2	3	4	5
1	Полособульб несиметричний			ГОСТ 21937 – 76
2	Полособульб симетричний			ГОСТ 9235 – 76
3	Тавр зварний			РД 5.9373 – 80
4	Полоса			–

Для останнього варіанту табл. 4.1 розміри полоси додатково підбираються з умов забезпечення її стійкості, приймаючи цю полосу в якості пластини з вільною кромкою (табл. 4.2, схема 2). При цьому втрата стійкості плоскої форми згину для балки з таким поперечним перерізом (на основі полоси) в реальних умовах практично не реалізується, тому що стержнева ідеалізація є лише моделлю, і балки не є ізольованими одна від одної. Ці балки можуть мати лише переміщення (прогини) перпендикулярні до площини настилу. Боковим переміщенням перешкоджає настил, який є по суті армованою пластиною. А пластина може мати лише переміщення перпендикулярні до своєї площини.

Використання полоси замість прокатного або зварного таврового профілю може бути дешевшим, а тому необхідно дослідити це питання.

3) Визначення мінімально необхідного осьового моменту опору поперечного перерізу поперечної балки ВП (бімса) з умов міцності шляхом розрахунку ізольованої балки і підбір відповідних поперечних перерізів згідно табл. 4.1.

4) Визначення критичного моменту інерції бімса з умов стійкості, розглядаючи його роботу у складі перекриття.

5) Після всіх розрахунків з умов міцності і стійкості остаточно приймаються найбільші розміри (номера профілів) відповідних поперечних перерізів для фіксованих n_6 і n_{Π} .

6) Розрахунок маси перекриття зі всіма балками на настилом.

7) Розрахунок довжин профілів кожного виду з метою можливості подальшого розрахунку вартості обробки кромки та приварювання цих профілів до настилу; розрахунок довжин стиків листів.

Після переборів визначених множин n_6 і n_{Π} обирається варіант, який забезпечує найменшу масу перекриття і найменшу собівартість виготовлення.

1.2 Положення для розрахунку пластини ВП з умов міцності

Як вже було сказано, вантажем, який перевозиться на палубі є важкі породи дерева, типу дуб, бук, ясен тощо та контейнери. Тиск від вантажу на ВП будемо вважати рівномірно розподіленим по полю всього перекриття. Величину тиску на ВП p , кПа, приймаємо

$$p = 50 \text{ кПа.} \quad (1)$$

При визначенні товщини пластини з умов міцності розглядається модель жорсткої прямокутної пластини, всі кромки якої є жорстко защемленими (рис. 4.2), а поле пластини зазнає рівномірного зовнішнього тиску від дії вантажу, який розташований на палубі.

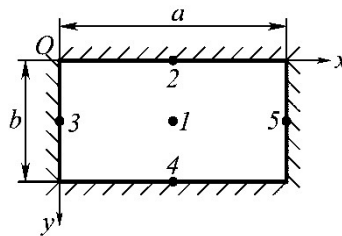


Рис. 4.2 – Розрахункова схема пластини для розрахунку міцності

Практика розрахунків показує, що найбільш напруженою точкою пластини на рис. 4.2 є точка 2, де діє найбільший за модулем згинальний момент з поміж усіх інших моментів, визначених в інших точках. При визначенні товщини пластини з умов міцності до уваги приймається тільки згинальний момент. На рис. 4.2 b – завжди коротка сторона пластини.

Мінімальна товщина $t_{\min 1}$ пластини з умов міцності визначається за формулою

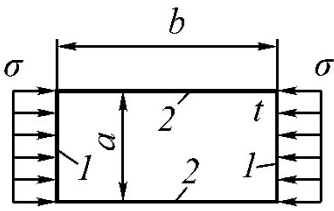
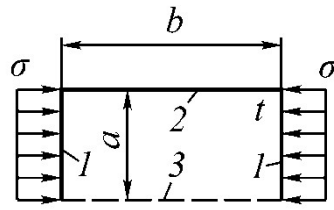
$$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}, \quad (2)$$

яка впливає з формул (19.63) і (18.34) [5], де v_{22} – коефіцієнт, який визначається з табл. 19.3 [5]; $[\sigma] = 210 \text{ МПа}$ – допустимі напруження.

1.3 Положення для розрахунку пластин ВП з умов стійкості

Розрахункові схеми та необхідні формули для розрахунку стійкості пластин, які будуть мати місце в дослідній частині представлені в табл. 4.2. Пластині настилу ВП відповідає схема №1.

Таблиця 4.2 – Залежності для ейлеревих напружень пластин

№	Пояснення і схема	Формула для ейлеревих напружень σ_e	Формула для товщини
1	Поздовжня система набору 	$\sigma_e = 80 \left(\frac{100t}{a} \right)^2$	$t = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot a \sqrt{\sigma_e}$
2	Вільні фланці при поздовжній системі набору 	$\sigma_e = 8,4 \left(\frac{100t}{a} \right)^2$	$t = 3,4503 \cdot 10^{-3} \cdot a \sqrt{\sigma_e}$

Пояснення для табл. 4.2 наступні: l – поперечні в'язі, такі як бімси; 2 – поздовжні в'язі, такі як поздовжні РЖ; t – товщина, м; a – коротка сторона, м; b – довга сторона, м; $\sigma = \sigma_c$ – стискуючі напруження від загального згину корпусу судна, МПа.

Критичні $\sigma_{кр}$ та ейлерові σ_e напруження для пластин і балок при розрахунках стійкості можуть бути розраховані за нижче приведеними залежностями [6]

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{кр} &= \varphi \cdot \sigma_e; \quad \varphi = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_e}; \quad \sigma_e = \frac{\sigma_{кр}}{\varphi}; \\ \sigma_{кр} &= \text{th} \left(1,1 \frac{\sigma_e}{\sigma_s} \right) \sigma_s; \quad \sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $\sigma_s = 315$ МПа – границя плинності.

Формули (3) зручні тим, що за ними можна визначати $\sigma_{кр}$ за відомими σ_e і навпаки. При чому остання формула для σ_e не виводиться з передостанньої формули для $\sigma_{кр}$, але дає дуже близькі значення ейлеревих напружень до виведеної (формули для σ_e з передостанньої формули для $\sigma_{кр}$). Наявність саме залежності $\sigma_e = \sigma_e(\sigma_{кр})$ дуже спрощує розрахунки і дозволяє в більшості випадків використовувати алгебраїчні вирази. Більшість формул розроблені саме для визначення критичних напружень за відомими ейлеревими виду $\sigma_{кр} = \sigma_{кр}(\sigma_e)$, і не з усіх цих формул можна отримати зворотну залежність виду $\sigma_e = \sigma_e(\sigma_{кр})$. Якщо є залежність тільки $\sigma_{кр} = \sigma_{кр}(\sigma_e)$ і отримання $\sigma_e = \sigma_e(\sigma_{кр})$, то при вирішенні задач на отримання геометричних параметрів елементів з умов стійкості необхідно вирішувати нелінійне рівняння побудоване на основі виразу $\sigma_{кр} = \sigma_{кр}(\sigma_e)$, де σ_e є змінною, що є більш трудомістким.

Для забезпечення надійності розрахунків стійкості стискуючі напруження σ_e приймаємо рівними 0,95 границі плинності σ_s . Тобто вважається, що стискуючі напруження практично дорівнюють границі плинності при дії граничного моменту. У свою чергу критичні напруження дорівнюють стискуючим

$$\sigma_e = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s. \quad (4)$$

При визначенні товщини пластини з умов стійкості спершу визначаємо ейлерові напруження σ_e за 4-ю формулою (3), а потім за потрібною формулою з табл. 4.2 знаходимо необхідну товщину пластини $t_{\min 2}$ з умов стійкості. Із значень обчислених товщин $t_{\min 1}$ за (2) і $t_{\min 2}$ за табл. 4.2 обираємо більше, яке округлюємо до найближчого більшого згідно обраного стандарту. Послідовність підбору остаточної товщини пластини наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Алгоритм визначення необхідної товщини пластини настилу ВП

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, Па	$[\sigma]$	$210 \cdot 10^6$
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{kp} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	—
6	Довга сторона пластини, м	a	—
7	Відношення	$\gamma = a/b$	—
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	—
9	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 1}$, м, пластини з умов міцності	$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	—
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	—
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, м, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	—
12	Найбільша товщина t , м	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	—
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	—

1.4 Положення для розрахунку РЖ з умов міцності і стійкості

При розрахунку міцності торці поздовжніх балок набору вважаються жорстко защемленими, а в прольоті діє рівномірно розподілене навантаження q (рис. 4.3, а). При розрахунку стійкості торці балок набору вважаються вільно обпертими на жорсткі шарнірні опори, прольот вільний від будь-яких навантажень, при цьому торці стискаються рівномірною стискаючою силою (рис. 4.3, б).

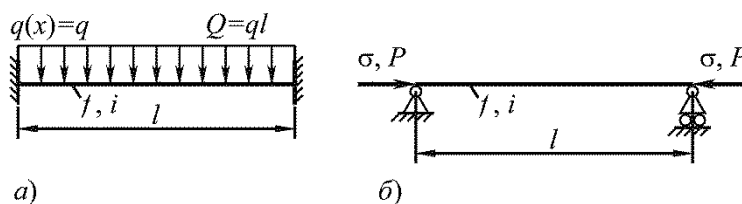


Рис 4.3. Розрахункові схеми балки набору: а – для розрахунку міцності; б – для стійкості

Поздовжні балки набору розраховуються з врахуванням приєднаного пояску обшивки, ширина якого c , м, визначається залежністю [7], яка в нашому випадку згідно рис. 4.1 запишеться

$$c = \min\left(\frac{a}{6}; b\right). \quad (5)$$

Для жорстко защемленої балки по торцях і рівномірній дії розподіленого навантаження q в прольоті найбільш небезпечний переріз має місце в жорсткому защемленні. Згинальний момент в цьому небезпечному перерізі згідно позначень рис. 4.1 становить

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{Q \cdot a}{12} = \frac{q \cdot a^2}{12} = \frac{c \cdot p \cdot a^2}{12}; \\ Q &= q \cdot a; \quad q = c \cdot p, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де Q – головний вектор розподіленого навантаження q , Н.

Умова міцності балки за нормальними напруженнями має вигляд

$$\sigma_{РЖ} \leq [\sigma], \quad (7)$$

де $\sigma_{РЖ}$ – найбільші нормальні напруження для РЖ, що діють у найвіддаленішій точці від НО РЖ, які визначаються залежністю

$$\sigma_{РЖ} = \frac{M}{W_{\phi \min}}, \quad (8)$$

де $W_{\phi \min}$ – фактичний (мінімальний) момент опору, з врахуванням приєднаного пояску обшивки, м³.

З врахуванням формул (7), (8) необхідний мінімальний момент інерції може бути визначений із залежності

$$W_{\phi \min} \geq \frac{M}{[\sigma]}. \quad (9)$$

Ейлерові напруження σ_e , Па, для балки на рис. 4.3, б, визначаються залежністю

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E \cdot i}{f \cdot l^2} \Rightarrow \sigma_e = \frac{\pi^2 E \cdot i}{f \cdot a^2}, \quad l = a. \quad (10)$$

Мінімально необхідні геометричні характеристики поперечного перерізу з умов стійкості, з врахуванням приєднаного пояску обшивки визначиться з умови

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &\leq \sigma_{kp}; \\ \sigma_{kp} &= \text{th} \left(1, 1 \frac{\sigma_e}{\sigma_s} \right) \sigma_s, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

де f , i – відповідно площа та момент інерції складеного перерізу профілю з приєднаним пояском обшивки; σ_e визначається за (10).

Нижче наведено необхідні формули геометричних характеристик складеного профілю: ізолюваний профіль + приєднаний пояс обшивки, які будуть використані для підбору необхідних профілів з умов міцності і стійкості.

Головний центральний момент інерції i , см^4 , складеного перерізу катаного профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

$$i = i_{\text{пр}} + c \cdot t \cdot \left(\frac{t^2}{12} + \left(y_0 + \frac{t}{2} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{c \cdot t}{f_{\text{пр}} + c \cdot t} \right) \right), \quad (12)$$

де $i_{\text{пр}}$ – головний центральний момент інерції профілю з сортаменту, см^4 , який згідно сортаменту ГОСТ 21937 – 76 має позначення I_x ; c – ширина приєданого пояску, см ; t – товщина приєданого пояску, см ; y_0 – відстань від початку стінки до центру мас поперечного перерізу профілю, см (див. позначення сортаменту); $f_{\text{пр}}$ – площа поперечного перерізу ізолюваного профілю, см^2 .

Мінімальний момент опору W_{min} , см^3 , складеного перерізу катаного профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

$$W_{\text{min}} = \frac{c \cdot t^3 \cdot (c \cdot t + 4f_{\text{пр}}) + 12 \left\{ c \cdot t \cdot [f_{\text{пр}} \cdot y_0 (t + y_0) + i_{\text{пр}}] + f_{\text{пр}} \cdot i_{\text{пр}} \right\}}{6 \left\{ c \cdot t \cdot (t + 2h_{\text{пр}}) + 2f_{\text{пр}} (h_{\text{пр}} - y_0) \right\}}. \quad (13)$$

Площа складеного перерізу f , см^2 , профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

$$f = c \cdot t + f_{\text{пр}}. \quad (14)$$

Момент опору W_{min} підбраного складеного профілю за (13) з наявного сортаменту (з врахуванням приєданого пояску) повинен бути мінімально більшим (або рівним) за визначений момент опору $W_{\phi \text{ min}}$ за (9), тобто повинна виконуватися умова: $W_{\phi \text{ min}} \leq W_{\text{min}}$.

Критичні напруження σ_{kp} балки з підбраним складеним профілем за (10) з наявного сортаменту (з врахуванням приєданого пояску) повинні бути

мінімально більшими за стискуючі напруження σ_c , тобто повинна виконуватися умова (11): $\sigma_c \leq \sigma_{кр}$.

Послідовність визначення необхідного профілю для поздовжніх балок з умов міцності представлено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Алгоритм визначення необхідного профілю з умов міцності

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Допустимі напруження матеріалу балки (сталі) з умов міцності, Па	$[\sigma]$	$210 \cdot 10^6$
2	Тиск, Па	p	50 000
3	Ширина приєднаного пояску, м	$c = \min\left(\frac{a}{6}; b\right)$	—
4	Товщина приєднаного пояску, м	t	—
5	Згинальний момент в небезп. перерізі, Н	$M = \frac{c \cdot p \cdot a^2}{12}$	—
6	Мінімально необхідний момент опору складеного перерізу профілю з приєднаним пояском з умов міцності, м ³	$W_{\phi \min} \geq \frac{M}{[\sigma]}$	—
7	Підібраний профіль з умов міцності: полособульб несиметричний за ГОСТ 21937 – 76	за (13) з умови $W_{\phi \min} \leq W_{\min}$	—
8	Підібраний профіль: полособульб симетричний за ГОСТ 9235-76	за (13) з умови $W_{\phi \min} \leq W_{\min}$	—
9	Підібраний профіль: тавр зварний за РД 5.9373 – 80	за (13) з умови $W_{\phi \min} \leq W_{\min}$	—
10	Підібраний профіль: полоса табл. 4.1, рядок №4	табл. 4.5	—

Профілі в табл. 4.4 підбираються з врахуванням приєднаного пояску обшивки. Підібраний профіль у вигляді полоси в п.11 табл. 4.4 визначається наступним чином. Мінімальний момент опору $W_{\min}$ перерізу профілю з приєднаним пояском (рис. 4.4) повинен бути не меншим за $W_{\phi \min}$ (п.7, табл. 4.4).

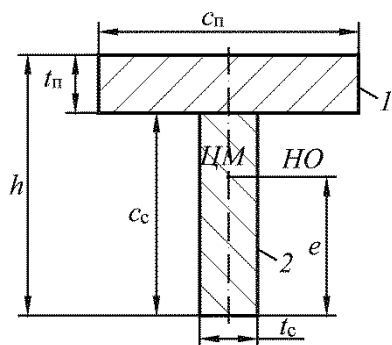


Рис. 4.4 – Профіль з полоєю: 1 – приєднаний пояс; 2 – полоса, розміри якої підбираються

Мінімальний момент опору $W_{\min}$ для перерізу на рис. 4.4 визначається залежністю (13), де власне профілем служить полоса (стінка) 2 рис. 4.4. В цьому випадку у формулі (13):

$$\left. \begin{aligned} c &= c_n; \quad t = t_n; \quad y_0 = \frac{c_c}{2}; \\ f_{\text{пр}} &= t_c \cdot c_c; \quad h_{\text{пр}} = c_c; \quad i_{\text{пр}} = \frac{c_c^3 \cdot t_c}{12}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

При згині балки з профілем на рис. 4.4 полоса (стінка) 2 може втратити стійкість як пластина. При чому розподіл стискуючих напружень від місцевого згину σ_a є нерівномірним (рис. 4.5). До цих напружень необхідно додати можливі стискуючі напруження σ_b від загального згину корпусу судна на тихій воді або на хвилюванні, коли судно зазнає перегину.

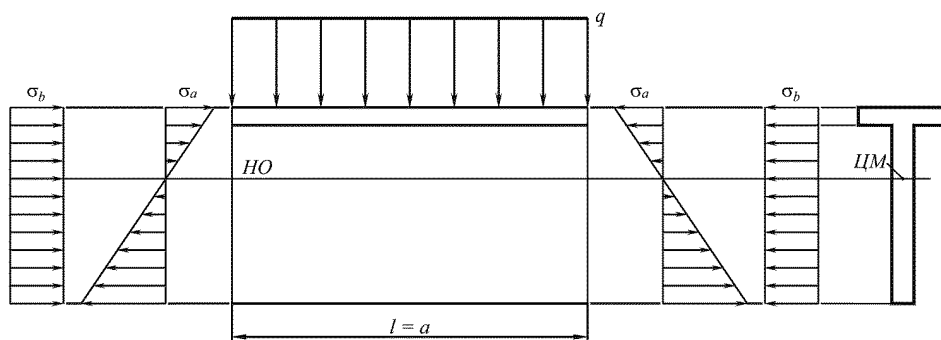


Рис. 4.5 – Стискуючі навантаження на стінку профілю рис. 4.4

Для отримання надійних результатів товщину стінки 2 профілю на рис. 4.4 необхідно визначати за формулою табл. 4.2 для схеми №2.

Необхідна висота стінки c_c полоси (стілки) 2 (рис. 4.4) визначиться шляхом вирішення нелінійного рівняння

$$W_{\min} = W_{\phi \min}, \quad (16)$$

де $W_{\min}$ визначається за (13), а $W_{\phi \min}$ (п.7, табл. 4.4).

На основі залежності табл. 4.2 для схеми №2 згідно позначень рис. 4.4 мінімально необхідна товщина полоси визначається залежністю

$$t_c = 3,4503 \cdot 10^{-3} \cdot c_c \sqrt{\sigma_e}. \quad (17)$$

Підставляючи (17) у формули (15), а потім отримані вирази в (13) і далі отриманий результат в (16), отримуємо нелінійне рівняння, яке вирішуємо відносно невідомої c_c . Обчисливши c_c обчислюємо t_c за (17). Якщо знову розрахувати $W_{\min}$ за (13) з вже відомими точними c_c і t_c , то точно отримаємо значення $W_{\phi \min}$.

Послідовність визначення необхідних розмірів полоси (стінки) 2 (рис. 4.4) з умов стійкості наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Алгоритм визначення розмірів полоси (стінки) 2 (рис. 4.4) з умов стійкості при розрахунку міцності поздовжньої балки

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
3	Ширина приєднаного пояску, м	c	—
4	Товщина приєднаного пояску, м	t	—
5	Мінімально необхідний момент опору складеного перерізу профілю з приєднаним пояском з умов міцності, м ³	$W_{\phi \min}$ (п.7, табл. 4.4).	—
6	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	—
7	Висота полоси (стінки) 2 (рис. 4.4), м	c_c з нелінійного рівняння $W_{\min} = W_{\phi \min}$, де $W_{\min}$ визначається за (13)	—
8	Товщина полоси (стінки) 2 (рис. 4.4), м	$t_c = 3,4503 \cdot 10^{-3} \cdot c_c \sqrt{\sigma_e}$	—
9	Округлена товщина полоси (стінки) 2 (рис. 4.4), м	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	—
10	Відстань від основи до ЦМ ізолюваного профілю, м	$y_0 = \frac{c_c}{2}$	—
11	Площа поперечного перерізу ізолюваного профілю, м ²	$f_{np} = t_c \cdot c_c$	—

№	Пояснення	Формула	Значення
12	Висота ізолюваного профілю, м	$h_{\text{пр}} = c_c$	—
13	Власний момент інерції ізолюваного профілю, м ⁴	$i_{\text{пр}} = \frac{c_c^3 \cdot t_c}{12}$	—
14	Головний центральний момент інерції профілю з приєднаним пояском, м ⁴	за (12)	—
15	Мінімальний момент опору профілю з приєднаним пояском, м ³	за (13)	—
16	Площа поперечного перерізу з приєднаним пояском, м ²	за (14)	

Знову обчислені критичні напруження для пластини табл. 4.2, схема 2 за відомими точними c_c і t_c (рис. 4.4) точно дорівнюють стискаючим напруженням, що свідчить про вірність алгоритму табл. 4.5. Товщина t_c після розрахунків округлюється в більшу сторону згідно стандарту.

Послідовність визначення необхідного профілю для поздовжніх балок з умов стійкості представлено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Алгоритм визначення необхідного профілю з умов стійкості

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
3	Ширина приєданого пояску, м	$c = \min\left(\frac{a}{6}; b\right)$	—
4	Товщина приєданого пояску, м	t	—
5	Ейлерові напруження балки складеного перерізу профілю з приєднаним пояском, Па	$\sigma_e = \frac{\pi^2 E \cdot i}{f \cdot a^2}$	—
6	Відповідні критичні напруження, Па	$\sigma_{кр} = \text{th}\left(1,1 \frac{\sigma_e}{\sigma_s}\right) \sigma_s$	—
7	Прийнятий профіль: полособульб несиметричний за ГОСТ 21937 – 76	з умови $\sigma_c \leq \sigma_{кр}$	—
8	Прийнятий профіль: полособульб симетричний за ГОСТ 9235-76	з умови $\sigma_c \leq \sigma_{кр}$	
9	Прийнятий профіль: тавр зварний за РД 5.9373 – 80	з умови $\sigma_c \leq \sigma_{кр}$	
10	Прийнятий профіль: полоса табл. 4.1, рядок №4	табл. 4.7	—

Прийнятий профіль у вигляді полоси в п.10 табл. 4.6 визначається наступним чином. Критичні напруження $\sigma_{кр}$ балки зі складеним перерізом

профілю з приєднаним пояском повинні бути мінімально більшими за стискуючі напруження σ_c . При втраті стійкості балкою з профілем на рис. 4.4 можлива втрата стійкості половою (стілкою) 2 (рис. 4.4), якщо розглядати останню в якості пластини з вільною кромкою. Далі пояснення аналогічні тим, які мали місце при поясненні втрати стійкості полоси (стілки) 2 (рис. 4.4) при розрахунку міцності.

Необхідна висота стінки c_c полоси (стілки) 2 (рис. 4.4) визначиться шляхом вирішення нелінійного рівняння

$$\sigma_c = \sigma_{кр}, \quad (18)$$

де $\sigma_{кр} = \text{th} \left(1,1 \frac{\sigma_e}{\sigma_s} \right) \sigma_s$ за (3); $\sigma_e = \frac{\pi^2 E \cdot i}{f \cdot a^2}$ за (10); i визначається за (12); f – за (14);

Підставляючи (17) у формули (15), а потім отримані вирази в (12) і далі отриманий результат у (18), отримуємо нелінійне рівняння, яке вирішуємо відносно невідомої c_c . Обчисливши c_c обчислюємо t_c за (17). Якщо знову розрахувати i за (12) і f за (14) з вже відомими точними c_c і t_c , то точно отримаємо виконання умови (18).

Послідовність визначення необхідних розмірів полоси (стілки) 2 (рис. 4.4) з умов стійкості наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Алгоритм визначення розмірів полоси (стілки) 2 (рис. 4.4) з умов стійкості при розрахунку стійкості поздовжньої балки

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
3	Ширина приєднаного пояску, м	c	—
4	Товщина приєднаного пояску, м	t	—
5	Ейлерові напруження σ_{eb} , МПа, балки складеного профілю, Па	$\sigma_{eb} = \frac{\pi^2 E \cdot i}{f \cdot a^2}$	—
6	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	—
7	Висота полоси (стілки) 2 (рис. 4.4), м	c_c з нелінійного рівняння $\sigma_c = \text{th} \left(1,1 \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_s} \right) \sigma_s$, де i	—

№	Пояснення	Формула	Значення
		та f визначаються відповідно за (12), (14)	
8	Товщина полоси (стілки) 2 (рис. 4.4), м	$t_c = 3,4503 \cdot 10^{-3} \cdot c_c \sqrt{\sigma_e}$	—
9	Округлена товщина полоси (стілки) 2 (рис. 4.4), м	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	—
10	Відстань від основи до ЦМ ізолюваного профілю, м	$y_0 = \frac{c_c}{2}$	—
11	Площа поперечного перерізу ізолюваного профілю, м ²	$f_{пр} = t_c \cdot c_c$	—
12	Висота ізолюваного профілю, м	$h_{пр} = c_c$	—
13	Власний момент інерції ізолюваного профілю, м ⁴	$i_{пр} = \frac{c_c^3 \cdot t_c}{12}$	—
14	Головний центральний момент інерції профілю з приєднаним пояском, м ⁴	за (12)	—
15	Мінімальний момент опору профіля з приєднаним пояском, м ³	за (13)	—
16	Площа поперечного перерізу з приєднаним пояском, м ²	за (14)	—

Знову обчислені критичні напруження для пластини табл. 4.2, схема 2 за відомими точними c_c і t_c (рис. 4.4) точно дорівнюють стискаючим напруженням, що свідчить про вірність алгоритму табл. 4.7. Товщина t_c після розрахунків округлюється в більшу сторону згідно стандарту.

Після підбору поперечних перерізів поздовжніх РЖ з умов міцності і стійкості окремо для кожного з поперечних перерізів табл. 4.1 результати розрахунків заносимо до накопичувальної таблиці, яка може бути представлена, наприклад, у формі табл. 4.8. В цій же таблиці приймаємо остаточний профіль поздовжніх балок для фіксованих n_b і $n_{п}$ за найбільшою площею профілю. Остаточні підібрані профілі поздовжніх балок надалі будуть задіяні при розрахунках стійкості перекриття, а також для розрахунку маси виготовлення перекриття.

Таблиця 4.8 – Параметри поперечних перерізів балок перекриття при фіксованих n_b і $n_{п}$

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = \text{см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_e = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{пр}, \text{см}^2$	Умова

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76									міцності
									стійкості
									прийнято
ГОСТ 9235 –76									міцності
									стійкості
									прийнято
РД 5.9373 – 80									міцності
									стійкості
									прийнято
—									міцності
									стійкості
									прийнято

В табл. 4.8 параметри з умови міцності розраховуються згідно табл. 4.4, а параметри з умови стійкості – згідно табл. 4.6. Прийнятий профіль приймається за більшими геометричними характеристиками. В табл. 4.8 введено наступні позначення: f – площа складеного перерізу; $W_{\min}$ – мінімальний момент опору складеного перерізу; i – момент інерції складеного перерізу; $f_{\text{пр}}$ – площа ізольованого профілю, яка буде використовуватися для підрахунку маси.

1.5 Положення для розрахунку бімсів з умов міцності

Підбір профілю бімсів відбувається за табл. 4.4, але з декількома зауваженнями: 1) не розглядається поперечний переріз схеми №4 табл. 4.1, тому що, як буде показано далі, момент інерції бімсів отримується великим за рахунок забезпечення стійкості перекриття, і якщо не використовувати вільний поясок в складі перерізу бімсу, то товщина стінки буде зовеликою, що дасть збільшення металоємності і вже не буде того виграшу, який може бути для аналогічного випадку для поздовжніх РЖ; 2) ширина приєднаного пояску визначається згідно [7], тому що бімс є рамною в'яззю; 3) довжина рамної балки дорівнює ширині перекриття L .

1.6 Положення для розрахунку бімсів з умов стійкості

Так як стискуючі напруження від загального згину корпусу судна прийняті практично рівними границі плинності, то відразу буде доцільним розрахувати його критичний момент інерції [8, 9], аніж підбирати момент інерції бімсу при дії вказаного стискуючого навантаження. Критичний момент інерції бімсів $I_{\bar{o} \text{ кр}}$ визначається згідно послідовності, представленої в табл. 4.9.

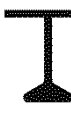
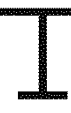
Таблиця 4.9 – Алгоритм розрахунку критичного моменту інерції бімсів

№ п/п	Найменування розрахункових величин	Розрахункові формули	Значення
1	Відстань між поздовжніми балками, м	b	
2	Відстань між бімсами, м	a	
3	Ширина перекриття, м	L	
4	Модуль пружності при розтягу для сталі, Па	E	$2 \cdot 10^{11}$
5	Момент інерції одного поздовжнього РЖ, м ⁴	I	
6	Площа поперечного перерізу одного поздовжнього РЖ, м ²	F	
7	Гнучкість поздовжніх стержнів	λ	1,0
8	Границя плинності, Па	σ_s	
9	Ейлерові напруження, МПа, для поздовжніх РЖ при $\lambda = 1,0$.	$\sigma_{0,9} = \frac{\pi^2 EI}{Fa^2}$	
10	Ейлерові напруження, Па, для поздовжніх РЖ	$\sigma_9 = \lambda \sigma_{0,9}$	
11	Критичні напруження, Па	$\sigma_{кр} = \text{th} \left(1,1 \frac{\sigma_e}{\sigma_s} \right) \sigma_s$	
12	Коефіцієнт, який враховує відхилення від закону Гука при втраті стійкості поздовжніми РЖ	$\varphi = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_e}$	
13	Коефіцієнт опорної пари з однієї сторони	κ_1	1,0
14	Коефіцієнт опорної пари з іншої сторони	κ_2	1,0
15	Коефіцієнт за табл. 20.2 [9]	$\left(\frac{\pi}{\mu_1} \right)^4$	0,195
16	Кількість бімсів	n_6	
17	Функція за табл. 20.1 [9]	$\chi_{j \max}(\lambda)$	
18	Критичний головний центральний момент інерції бімсів, м ⁴	$I_{\bar{o} \text{ кр}} = \left(\frac{\pi}{\mu_1} \right)^4 \left(\frac{L}{a} \right)^3 \left(\frac{L}{b} \right) \varphi I \chi_{j \max}(\lambda)$	
19	Підібраний профіль: полоособульб несиметричний за ГОСТ 21937 – 76	за (12) з умови $I_{\bar{o} \text{ кр}} \leq i$	

№ п/п	Найменування розрахункових величин	Розрахункові формули	Значення
20	Підібраний профіль: полособульб симетричний за ГОСТ 9235-76	за (12) з умови $I_{\delta_{кр}} \leq i$	
21	Підібраний профіль: тавр зварний за РД 5.9373 – 80	за (12) з умови $I_{\delta_{кр}} \leq i$	

Для кожного перерізу поздовжніх РЖ з табл. 4.8 підбираються три профілі (див. останні пункти табл. 4.9). Геометричні характеристики поздовжніх РЖ беруться з табл. 4.8, умова «прийнято» для кожного зі стандартів. Результати розрахунків критичних моментів інерції бімсів записуються у форму табл. 4.10, де пояснення такі ж самі як для табл. 4.8.

Таблиця 4.10 – Профілі бімсів з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бімсів							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	f , см ²	i , см ⁴	$W_{\min}$, см ⁴	c , см	t , см	$f_{пр}$, см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		Критичний момент інерції бімсів $I_{\delta_{кр}} = \text{см}^4$							
		ГОСТ 21937–76							
		ГОСТ 9235 –76							
		РД 5.9373 – 80							
ГОСТ 9235 –76		Критичний момент інерції бімсів $I_{\delta_{кр}} = \text{см}^4$							
		ГОСТ 21937–76							
		ГОСТ 9235 –76							
		РД 5.9373 – 80							
РД 5.9373 – 80		Критичний момент інерції бімсів $I_{\delta_{кр}} = \text{см}^4$							
		ГОСТ 21937–76							
		ГОСТ 9235 –76							
		РД 5.9373 – 80							
–		Критичний момент інерції бімсів $I_{\delta_{кр}} = \text{см}^4$							
		ГОСТ 21937–76							
		ГОСТ 9235 –76							
		РД 5.9373 – 80							

Для кожного зі стандартів приймаємо остаточний профіль бімсу з умов міцності і стійкості за найбільшою площею профілю, з масиву даних табл. 4.8, 4.10.

1.7 Параметри серійних розрахунків

Для проведення серійних розрахунків довжина перекриття приймається $l = 13,0$ м = довжині відсіку; ширина перекриття становить $L = 15,0$ м = відстані між внутрішніми бортами. Для забезпечення точності розрахунків приймаємо рівномірну віддаленість поздовжніх балок і бімсів один від одного. Це призведе до того, що відстані b (рис. 4.1) можуть не відповідати стандартним розмірам шпаций, а розміри a можуть не бути кратні стандартним розмірам шпаций. Проте в такому випадку можна точно розрахувати міцність і стійкість в рамках представлених математичних моделей і точно розрахувати масу. Отримавши оптимальні значення $n_{\bar{o}}$ і n_{Π} , при яких забезпечується мінімальна маса перекриття можна потім прийняти варіант перекриття, у якого b буде округлене в меншу сторону до найближчого стандартного розміру шпаций.

Серійні розрахунки були проведені для наступних значень кількості бімсів $n_{\bar{o}}$ і кількості поздовжніх РЖ n_{Π} , які, які представлені в табл. 4.11. Кількість $n_{\bar{o}}$ і n_{Π} прийнята таким чином, щоб відстань між поздовжніми РЖ була близька до стандартних розмірів шпаций, а систем набору перекриття щоб завжди була поздовжньою, тобто відношення $a/b \geq 1$.

Таблиця 4.11 – Вихідні параметри для серійних розрахунків

Кількість бімсів $n_{\bar{o}}$	4	6	8	–
Розмір пластини $a = \frac{l}{n_{\bar{o}} + 1}$, м	2,6	1,857	1,444	–
Кількість поздовжніх РЖ n_{Π}	29	24	19	14
Розмір пластини $b = \frac{L}{n_{\Pi} + 1}$, м	0,5	0,6	0,75	1

Як видно з табл. 4.11 відношення $a/b \geq 1$ для всіх значень прийнятого масиву вихідних даних, які будуть опрацьовуватися в рамках серійних розрахунків.

Маса перекриття m розраховується за формулою

$$m = \rho \cdot (t \cdot l \cdot L + n_{\Pi} \cdot f_{np}^n \cdot l + n_{\bar{o}} \cdot f_{np}^{\bar{o}} \cdot L), \quad (19)$$

де t – товщина настилу; L, l – розміри перекриття (рис. 4.1); $n_{\text{б}}$ і $n_{\text{п}}$ – відповідно кількість бiмсів і кількість поздовжніх РЖ; f_{np}^n – площа ізолюваного профілю однієї поздовжньої балки; $f_{\text{np}}^{\text{б}}$ – площа ізолюваного профілю одного бiмса.

Значення $f_{\text{np}}^n, f_{\text{np}}^{\text{б}}$ беруться з 9-ї колонки, умови «прийнято», табл. 4.8.

Маса перекриття при фіксованих $n_{\text{б}}$ і $n_{\text{п}}$ розраховується для кожного з прийнятих профілів згідно стандарту поокремо і заноситься в табл. типу 4.12.

Таблиця 4.12 – Форма для запису значень маси перекриття для фіксованих $n_{\text{б}}$ і $n_{\text{п}}$

		Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76	ГОСТ 9235 –76	РД 5.9373 – 80	полоса
Стандарти для бiмсів	ГОСТ 21937–76				
	ГОСТ 9235 – 76				
	РД 5.9373 – 80				

2 АНАЛІЗ ВАРІЮВАННЯ ЧИСЛА БАЛОК ПЕРЕКРИТТЯ

2.1 Аналіз профілів поздовжніх балок ВП з фіксованим числом поздовжніх балок і бімсів

Проведемо вартісно-економічний аналіз з врахуванням технологічних факторів для профілів поздовжніх балок, який допоможе у прийнятті рішення щодо остаточного вибору профілю згідно обраного сортаменту.

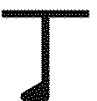
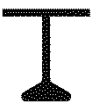
Розглянемо реалістичний варіант перекриття з числом поздовжніх РЖ $n_{\Pi} = 19$ і числом бімсів $n_6 = 4$, що відповідає розмірам пластини $a = 2,6$ м, $b = 0,75$ м. Розрахунок товщини настилу з умов міцності і стійкості з округленням до стандартного, виконаного згідно алгоритму табл. 4.3 представлено в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Розрахунок товщини пластини настилу ВП при $n_{\Pi} = 19$ і $n_6 = 4$

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, МПа	$[\sigma]$	210
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50 000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{kp} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	0,75
6	Довга сторона пластини, м	a	2,6
7	Відношення	$\gamma = a/b$	3,4667
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	0,0832
9	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 1}$, мм, пластини з умов міцності	$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	8,18
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	676,45
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, мм, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	21,81
12	Найбільша товщина t , мм	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	21,81
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	22

Результати розрахунку поздовжніх РЖ з умов міцності і стійкості представлено в табл. 4.14. Результати розрахунку бімсів з умов міцності представлено в табл. 4.15, а з умов стійкості в 4.16, де параметри поздовжніх балок були прийняті з табл. 4.14 з умови прийнято. В табл. 4.17 представлено прийняті профілі бімсів для кожного зі стандартів. Якщо за стандартом неможливо було визначити профіль, то він до уваги не приймався і не відображався в табл. 4.17.

Таблиця 4.14 – Параметри поздовжніх балок при фіксованих $n_{\pi} = 19$ і $n_6 = 4$

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 58,12 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		12	106,46	941,52	77,20	43,3	2,2	11,13	міцності
		16a	113,27	2347,48	152,99	43,3	2,2	17,94	стійкості
		16a	113,27	2347,48	152,99	43,3	2,2	17,94	прийнято
ГОСТ 9235 –76		1235	105,48	926,61	75,73	43,3	2,2	10,15	міцності
		1646	111,80	2403,07	156,37	43,3	2,2	16,47	стійкості
		1646	111,80	2403,07	156,37	43,3	2,2	16,47	прийнято
РД 5.9373 – 80		14	105,73	1501,44	103,04	43,3	2,2	10,40	міцності
		166	111,33	2915,28	182,33	43,3	2,2	16,00	стійкості
		166	111,33	2915,28	182,33	43,3	2,2	16,00	прийнято
полоса		(11*1.2e+002)	107,58	698,03	58,31	43,3	2,2	12,24	міцності
		(15*1.6e+002)	119,57	2194,54	142,51	43,3	2,2	24,24	стійкості
		(15*1.6e+002)	119,57	2194,54	142,51	43,3	2,2	24,24	прийнято

Таблиця 4.15 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 19$ і $n_6 = 4$ з умов міцності

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 4410,71 \text{ см}^3$;									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РД 5.9373 – 80		63a	365,56	251516	5289,66	98,8	2,2	148,2	міцності

Таблиця 4.16 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 19$ і $n_6 = 4$ з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бімсів							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Параметри поздовжніх балок		Параметри бiмciv							
Стандарт	Ескiз	Стандарт	№ профiлю	f , см ²	i , см ⁴	$W_{\min}$, см ⁴	c , см	t , см	$f_{\text{пр}}$, см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		$I_{\text{б кр}} = 325806,5 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	410,16	382708,8	7649,47	98,8	2,2	192,8
ГОСТ 9235 – 76		$I_{\text{б кр}} = 322946,1 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	410,16	382708,8	7649,47	98,8	2,2	192,8
РД 5.9373 – 80		$I_{\text{б кр}} = 326571,8 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	410,16	382708,8	7649,47	98,8	2,2	192,8
–		$I_{\text{б кр}} = 337734,1 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	410,16	382708,8	7649,47	98,8	2,2	192,8

Таблиця 4.17 – Параметри прийнятих бiмciv при фiксованих $n_{\text{п}} = 19$ i $n_{\text{б}} = 4$ з умов мiцностi i стiйкостi

Стандарт	Ескiз	№ профiлю	f , см ²	i , см ⁴	$W_{\min}$, см ⁴	c , см	t , см	$f_{\text{пр}}$, см ²	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РД 5.9373 – 80		71a	410,16	382708,8	7649,47	98,8	2,2	192,8	прийнято

Для прийнятих профiлiв з табл. 4.14 та табл. 4.17 були проведенi розрахунки маси перекриття, вiдповiднi результати яких занесенi в табл. 4.18.

Таблиця 4.18 – Маси перекриття, кг, для фiксованих $n_{\text{п}} = 19$ i $n_{\text{б}} = 4$

		Стандарти для поздовжнiх балок			
		ГОСТ 21937–76, №16a	ГОСТ 9235–76, №1646	РД 5.9373–80, №16б	полоса, 15×160
Стандарти для бiмciv	ГОСТ 21937–76	–	–	–	–
	ГОСТ 9235–76	–	–	–	–
	РД 5.9373 – 80, №71a	46235,9	45950,8	45859,7	47457,3

Розкладемо масу розраховану в табл. 4.18 за складовими. Абсолютнi показники цих складових показано в табл. 4.19, а вiдноснi – в табл. 4.20.

Таблиця 4.19 – Абсолютні складові, кг, маси перекриття з табл. 4.18

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №16а	ГОСТ 9235–76, №1646	РД 5.9373–80, №166	полоса, 15×160
1	Настил	33677	33677	33677	33677
2	Поздовжні РЖ	3478	3193	3102	4700
3	Бімси	9081	9081	9081	9081
4	Σ	46236	45951	45860	47457

Таблиця 4.20 – Відносні складові, %, маси перекриття з табл. 4.18

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №16а	ГОСТ 9235–76, №1646	РД 5.9373–80, №166	полоса, 15×160
1	Настил	72,84	73,29	73,43	70,96
2	Поздовжні РЖ	7,52	6,95	6,76	9,90
3	Бімси	19,64	19,76	19,80	19,13
4	Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

Як видно з табл. 4.19, і табл. 4.20 основну масу перекриття становить настил, частка якого становить близько 70% від всієї маси перекриття. А тому заходи по зменшенню товщини перекриття були б доцільними. Як бачимо з табл. 4.13 товщина з умов міцності становить трохи більше 8 мм, а з умов стійкості 22 мм. Тому необхідні заходи щодо зменшення товщини з умов стійкості. З формули п.11, табл. 4.13 видно, що досягти зменшення товщини можливо зменшуючи відстань між поздовжніми регулярними РЖ, та/або зменшуючи значення стискуючих напружень. При розрахунку стійкості як настилу, так і перекриття в стержневій ідеалізації стискуючі напруження приймалися практично рівними напруженням границі плинності від дії граничного згинального моменту. Такий рівень стискуючих напружень звичайно забезпечує надійні результати товщини настилу, проте збільшує загальну металоємність перекриття. Значення дійсних стискуючих напружень від загального згину залежать від сумарного згинального моменту і є меншими за напруження границі плинності від граничного моменту. Проте необхідний акуратний розрахунок цих напружень, щоб не отримати недооцінку стійкості.

Що стосується застосування поздовжніх балок набору, то найменша маса перекриття отримується при застосуванні профілю за ГОСТ 9235–76.

Як видно з табл. 4.20 маса поздовжніх профілів не перебільшує 10% від загальної маси перекриття, а тому мінімізація їхньої маси у складі перекриття практично неактуальна. В цьому випадку необхідно приймати найдешевший профіль поздовжніх РЖ.

Для проведення точного вартісного аналізу профілі з табл. 4.20 повинні бути вироблені зі сталі, характеристики якої близькі до сталі категорії підвищеної міцності з границею плинності 315 МПа, або в крайньому випадку виконані з однієї і тієї ж сталі, щоб в цьому випадку мати можливість провести порівняльний аналіз.

Для проведення вартісного аналізу в рамках певного виробництва з метою прийняття потрібного профілю поздовжніх РЖ може бути рекомендована нижче представлена послідовність розрахунку, де задіяна операція обробки кромки, якими поздовжні РЖ безпосередньо примикають до настилу ВП. Операція розділки кромки застосовується для всіх типів поздовжніх РЖ: для катаних, зварних і полоси. Включення цієї операції до вартості пояснюється наступним. При виробництві складених зварних профілів, таких як таврових відразу після відрізу полоси на потрібних кромках виконують їх розділку. Тому що на готовому виробі виконувати розділку кромки важче і це підвищує загальну трудомісткість виготовлення секції. Таким чином забезпечуються рівні умови для порівняння вартості.

Для прокатних профілів за ГОСТ 21937–76 та ГОСТ 9235–76 вартість V розраховується за формулою

$$V = p_{m1т} \cdot m_n + n_n \cdot l \cdot p_{кр1м}, \quad (20)$$

де $p_{m1т}$ – вартість однієї тони профільного прокату, грн/тонна; m_n – маса поздовжніх балок прокатного профілю, т, які задіяні у складі перекриття (береться з табл. 4.19); $p_{кр1м}$ – вартість розділки кромки 1 метру погонного, грн./м.

Полосу (табл. 4.20) планується відрізати від листового металу в загальному випадку, а потім по цій (одній) лінії відрізу робити розділку кромки. Виробництво

полос починається з краю листа, а тому різ один. Вартість полоси з табл. 4.20 розраховується за формулою

$$V = p_{m1т} \cdot m_n + n_n \cdot l \cdot (p_{pi1м} + p_{kp1м}), \quad (21)$$

де $p_{m1т}$ – вартість однієї тони листового прокату визначеної товщини, грн/тонна; $p_{pi1м}$ – вартість різу кромок 1 метру погонного, грн./м.

У випадку, якщо в наявності є полоса визначної товщини і ширини, то складова різу дорівнює нулю (розділка кромок залишається), тобто $p_{pi1м} = 0$. Для полоси як правило характерна збільшена товщина у порівняння з іншими профілями.

При розрахунку вартості виготовлення зварного тавру за РД 5.9373–80 вважається, що полка і стінка відрізаються від листового матеріалу, кромки стінки з обох боків розділюються, а потім стінка вздовж з обох боків приварюється симетрично до полки. Є варіанти, коли для стінки і/або полки може бути застосована стандартна полоса, або комбіноване поєднання стандартної полоси і відрізаної полоси від листа металу. Для вказаного випадку потрібно знати конкретні умови певного виробництва і постачання. Вказані поєднання є задачею окремого дослідження, яка тут не розглядається.

Таким чином вартість виготовлення таврового профілю за РД 5.9373–80 визначається залежністю

$$V = p_{m1т} \cdot m_n + n_n \cdot l \cdot (2p_{pi1м} + 2p_{kp1м} + 2p_{зв1м}), \quad (22)$$

де окрім вищезазначених пояснень $p_{зв1м}$ – вартість зварювання 1 метру погонного, грн./м; $p_{kp1м}$ – вартість розділки кромок 1 метру погонного, грн./м.

Якщо планується зварювання напівавтоматом, то операцію обробки кромок для поздовжніх РЖ необхідно виключити, тобто у формулах (20), (21), (22) складову вартості цієї операції покласти рівною нулю.

2.2 Аналіз параметрів перекриття при зміні кількості бімсів для фіксованої кількості поздовжніх РЖ

Прослідкуємо зміну параметрів перекриття при фіксованій кількості поздовжніх РЖ, число яких дорівнює $n_{\Pi} = 19$, а кількість бімсів змінюється в рамках масиву $n_6 = 4, 6, 8$. Власне варіант при $n_6 = 4$ був розрахований вище.

Параметри розрахунків представлені нижче.

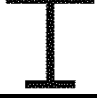
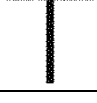
Фіксовані кількості $n_{\Pi} = 19$, $n_6 = 6$.

Розрахунок параметрів перекриття аналогічний тому, який був представлений в § 4.3. Тут представлено лише таблиці з даними.

Таблиця 4.21 – Розрахунок товщини пластини настилу ВП при $n_{\Pi} = 19$ і $n_6 = 6$

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, МПа	$[\sigma]$	210
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{kp} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	0,75
6	Довга сторона пластини, м	a	1,857143
7	Відношення	$\gamma = a/b$	2,47619
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	0,083043
9	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 1}$, мм, пластини з умов міцності	$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	8,17
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	676,5
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, мм, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	21,8
12	Найбільша товщина t , мм	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	21,8
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	22

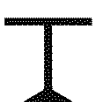
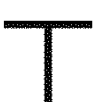
Таблиця 4.22 – Параметри поздовжніх балок при фіксованих $n_{\pi} = 19$ і $n_{\delta} = 6$

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 21,18 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{\text{пр}}, \text{см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
ГОСТ 21937–76		7	73,17	194,00	25,13	31,0	2,2	5,07	міцності
		12	79,23	900,61	75,78	31,0	2,2	11,13	стійкості
		12	79,23	900,61	75,78	31,0	2,2	11,13	прийнято
ГОСТ 9235 –76		935	74,92	382,95	40,45	31,0	2,2	6,82	міцності
		1235	78,25	888,15	74,42	31,0	2,2	10,15	стійкості
		1235	78,25	888,15	74,42	31,0	2,2	10,15	прийнято
РД 5.9373 – 80		14	78,50	1443,76	101,81	31,0	2,2	10,40	міцності
		14	78,50	1443,76	101,81	31,0	2,2	10,40	стійкості
		14	78,50	1443,76	101,81	31,0	2,2	10,40	прийнято
полоса		(4.*2.)	68,17	27,58	21,29	31,0	2,2	0,08	міцності
		(11*1.2e+002)	81,37	753,78	62,80	31,0	2,2	13,27	стійкості
		(11*1.2e+002)	81,37	753,78	62,80	31,0	2,2	13,27	прийнято

Таблиця 4.23 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 19$ і $n_{\delta} = 6$ з умов міцності

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 3150,5 \text{ см}^3$;									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{\text{пр}}, \text{см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
РД 5.9373 – 80		56a	278,66	152476,77	3687,83	70,6	2,2	123,4	міцності

Таблиця 4.24 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 19$ і $n_{\delta} = 6$ з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бімсів							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{\text{пр}}, \text{см}^2$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
ГОСТ 21937–76		$I_{\phi \text{кр}} = 337914,7 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	348,06	339578,92	7430,53	70,6	2,2	192,8
ГОСТ 9235 –76		$I_{\phi \text{кр}} = 333686,7 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	348,06	339578,92	7430,53	70,6	2,2	192,8
РД 5.9373 – 80		$I_{\phi \text{кр}} = 341558,7 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	378,46	447083,00	8859,80	70,6	2,2	223,2
—		$I_{\phi \text{кр}} = 337458,3 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	71a	348,06	339578,92	7430,53	70,6	2,2	192,8

Таблиця 4.25 – Параметри прийнятих бімсів при фіксованих $n_{\text{п}} = 19$ і $n_{\text{б}} = 6$ з умов міцності і стійкості

Стандарт	Ескіз	№ профілю	f , см ²	i , см ⁴	W_{min} , см ⁴	c , см	t , см	$f_{\text{лр}}$, см ²	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РД 5.9373 – 80		80а	378,46	447083,00	8859,80	70,6	2,2	223,2	прийнято

Таблиця 4.26 – Маса перекриття, кг, для фіксованих $n_{\text{п}} = 19$ і $n_{\text{б}} = 6$

		Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, 11×120
Стандарти для бімсів	ГОСТ 21937–76	–	–	–	–
	ГОСТ 9235–76	–	–	–	–
	РД 5.9373 – 80, №80а	51604	51414	51462	52019

Розкладемо масу розраховану в табл. 4.26 за складовими. Абсолютні показники цих складових показано в табл. 4.27, а відносні – в табл. 4.28.

Таблиця 4.27 – Абсолютні складові, кг, маси перекриття з табл. 4.26

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, 11×120
1	Настил	33677	33677	33677	33677
2	Поздовжні РЖ	2158	1968	2017	2574
3	Біпси	15769	15769	15769	15769
4	Σ	51604	51414	51462	52019

Таблиця 4.28 – Відносні складові, %, маси перекриття з табл. 4.26

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, 11×120
1	Настил	65,26	65,50	65,44	64,74
2	Поздовжні РЖ	4,18	3,83	3,92	4,95
3	Біпси	30,56	30,67	30,64	30,31
4	Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

Фіксовані кількості $n_{\Pi} = 19$, $n_{\delta} = 8$.

Розрахунок параметрів перекриття аналогічний тому, який був представлений в § 4.3. Тут представлено лише таблиці з даними.

Таблиця 4.29 – Розрахунок товщини пластини настилу ВП при $n_{\Pi} = 19$ і $n_{\delta} = 8$

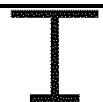
№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, МПа	$[\sigma]$	210
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	0,75
6	Довга сторона пластини, м	a	1,444444
7	Відношення	$\gamma = a/b$	1,925926
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	0,082678
9	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 1}$, мм, пластини з умов міцності	$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	8,15
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	676,5
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, мм, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	21,8
12	Найбільша товщина t , мм	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	21,8
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	22

Таблиця 4.30 – Параметри поздовжніх балок при фіксованих $n_{\Pi} = 19$ і $n_{\delta} = 8$

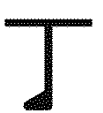
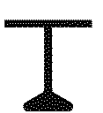
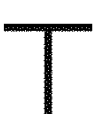
Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 2450,4 \text{ см}^3$;									
Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{пр}, \text{ см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		5	55,82	76,76	13,05	24,1	2,2	2,86	міцності
		9	59,99	359,73	38,64	24,1	2,2	7,03	стійкості
		9	59,99	359,73	38,64	24,1	2,2	7,03	прийнято
ГОСТ 9235 –76		935	59,78	369,23	39,68	24,1	2,2	6,82	міцності
		935	59,78	369,23	39,68	24,1	2,2	6,82	стійкості
		935	59,78	369,23	39,68	24,1	2,2	6,82	прийнято
РД 5.9373 – 80		14	63,36	1394,36	100,91	24,1	2,2	10,40	міцності
		14	63,36	1394,36	100,91	24,1	2,2	10,40	стійкості
		14	63,36	1394,36	100,91	24,1	2,2	10,40	прийнято
полоса		(4.*11)	53,39	22,55	10,43	24,1	2,2	0,43	міцності
		(9.*97)	61,65	351,03	35,39	24,1	2,2	8,69	стійкості

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 2450,4 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
		(9.*97)	61,65	351,03	35,39	24,1	2,2	8,69	прийнято

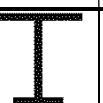
Таблиця 4.31 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\text{п}} = 19$ і $n_{\text{б}} = 8$ з умов міцності

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = \text{см}^3$;									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
РД 5.9373 – 80		50a	215,96	94940,23	2566,73	54,9	2,2	95,2	міцності

Таблиця 4.32 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\text{п}} = 19$ і $n_{\text{б}} = 8$ з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бімсів							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
ГОСТ 21937–76		$I_{\phi \text{ кр}} = 330107,7 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	343,96	406132,94	8610,34	54,9	2,2	223,2
ГОСТ 9235 – 76		$I_{\phi \text{ кр}} = 330359,2 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	343,96	406132,94	8610,34	54,9	2,2	223,2
РД 5.9373 – 80		$I_{\phi \text{ кр}} = 362173,4 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	343,96	406132,94	8610,34	54,9	2,2	223,2
–		$I_{\phi \text{ кр}} = 336387,6 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	343,96	406132,94	8610,34	54,9	2,2	223,2

Таблиця 4.33 – Параметри прийнятих бімсів при фіксованих $n_{\text{п}} = 19$ і $n_{\text{б}} = 8$ з умов міцності і стійкості

Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
РД 5.9373 – 80		80a	343,96	406132,94	8610,34	54,9	2,2	223,2	прийнято

Таблиця 4.34 – Маса перекриття, кг, для фіксованих $n_{\Pi} = 19$ і $n_6 = 8$

		Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №9	ГОСТ 9235–76, №935	РД 5.9373–80, №14	полоса, (9×97)
Стандарти для бімсів	ГОСТ 21937–76	–	–	–	–
	ГОСТ 9235–76	–	–	–	–
	РД 5.9373 – 80, №80а	56065	56024	56718	56387

Розкладемо масу розраховану в табл. 4.34 за складовими. Абсолютні показники цих складових показано в табл. 4.35, а відносні – в табл. 4.36.

Таблиця 4.35 – Абсолютні складові, кг, маси перекриття з табл. 4.34

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №8	ГОСТ 9235–76, №935	РД 5.9373–80, №14	полоса, (7.5×92)
1	Настил	33677	33677	33677	33677
2	Поздовжні РЖ	1363	1322	2017	1685
3	Бімси	21025	21025	21025	21025
4	Σ	56065	56024	56718	56387

Таблиця 4.36 – Відносні складові, %, маси перекриття з табл. 4.34

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №8	ГОСТ 9235–76, №935	РД 5.9373–80, №14	полоса, (7.5×92)
1	Настил	60,07	60,11	59,37	59,72
2	Поздовжні РЖ	2,43	2,36	3,56	2,99
3	Бімси	37,50	37,53	37,07	37,29
4	Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

2.3 Аналіз параметрів перекриття при зміні кількості поздовжніх РЖ для фіксованої кількості бімсів

Прослідкуємо зміну параметрів перекриття при фіксованій кількості бімсів, число яких дорівнює $n_6 = 6$, а кількість поздовжніх балок змінюється в рамках масиву $n_{\Pi} = 29, 24, 19, 14$.

Параметри розрахунків представлені нижче.

Фіксовані кількості $n_{\Pi} = 29$, $n_6 = 6$.

Розрахунок параметрів перекриття аналогічний тому, який був представлений в § 4.3. Тут представлено лише таблиці з даними.

Таблиця 4.37 – Розрахунок товщини пластини настилу ВП при $n_{\Pi} = 29$ і $n_6 = 6$

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, МПа	$[\sigma]$	210
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	0,5
6	Довга сторона пластини, м	a	1,857143
7	Відношення	$\gamma = a/b$	3,714286
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	0,083271
9	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 1}$, мм, пластини з умов міцності	$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	5,45
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	676,5
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, мм, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	14,54
12	Найбільша товщина t , мм	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	14,54
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	15

Таблиця 4.38 – Параметри поздовжніх балок при фіксованих $n_{\Pi} = 29$ і $n_6 = 6$

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 21,18 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{пр}, \text{ см}^2$	Умова
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
ГОСТ 21937–76		7	51,50	153,74	21,23	31,0	1,5	5,07	міцності
		12	57,56	784,55	70,39	31,0	1,5	11,13	стійкості
		12	57,56	784,55	70,39	31,0	1,5	11,13	прийнято
ГОСТ 9235 –76		935	53,25	323,71	36,36	31,0	1,5	6,82	міцності
		1235	56,58	777,24	69,40	31,0	1,5	10,15	стійкості
		1235	56,58	777,24	69,40	31,0	1,5	10,15	прийнято
РД 5.9373 – 80		14	56,83	1288,70	96,79	31,0	1,5	10,40	міцності
		14	56,83	1288,70	96,79	31,0	1,5	10,40	стійкості
		14	56,83	1288,70	96,79	31,0	1,5	10,40	прийнято

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 21,18 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
полоса		(8.*84)	53,13	190,78	22,43	31,0	1,5	6,70	міцності
		(11*1.1e+002)	58,47	542,70	49,87	31,0	1,5	12,04	стійкості
		(11*1.1e+002)	58,47	542,70	49,87	31,0	1,5	12,04	прийнято

Таблиця 4.39 – Параметри бiмсiв при фiксованих $n_{\text{п}} = 29$ i $n_{\text{б}} = 6$ з умов міцності

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 3150,51 \text{ см}^3$;									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
РД 5.9373 – 80		56a	229,26	132357,38	3538,80	70,6	1,5	123,4	міцності

Таблиця 4.40 – Параметри бiмсiв при фiксованих $n_{\text{п}} = 29$ i $n_{\text{б}} = 6$ з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бiмсiв							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
ГОСТ 21937–76		$I_{\phi \text{кр}} = 372942,8 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	329,06	382983,55	8432,13	70,6	1,5	223,2
ГОСТ 9235 – 76		$I_{\phi \text{кр}} = 366725,2 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	329,06	382983,55	8432,13	70,6	1,5	223,2
РД 5.9373 – 80		$I_{\phi \text{кр}} = 371309,98 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	329,06	382983,55	8432,13	70,6	1,5	223,2
–		$I_{\phi \text{кр}} = 363865,6 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	329,06	382983,55	8432,13	70,6	1,5	223,2

Таблиця 4.41 – Параметри прийнятих бiмсiв при фiксованих $n_{\text{п}} = 29$ i $n_{\text{б}} = 6$ з умов міцності i стійкості

Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
РД 5.9373 – 80		80a	329,06	382983,55	8432,13	70,6	1,5	223,2	прийнято

Таблиця 4.42 – Маса перекриття, кг, для фіксованих $n_{\pi} = 29$ і $n_6 = 6$

		Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (11*110)
Стандарти для бімсів	ГОСТ 21937–76	–	–	–	–
	ГОСТ 9235–76	–	–	–	–
	РД 5.9373 – 80, №80a	42024	41734	41808	42294

Розкладемо масу розраховану в табл. 4.42 за складовими. Абсолютні показники цих складових показано в табл. 4.43, а відносні – в табл. 4.44.

Таблиця 4.43 – Абсолютні складові, кг, маси перекриття з табл. 4.42

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (11*110)
1	Настил	22961	22961	22961	22961
2	Поздовжні РЖ	3294	3004	3078	3564
3	Бімси	15769	15769	15769	15769
4	Σ	42024	41734	41808	42294

Таблиця 4.44 – Відносні складові, %, маси перекриття з табл. 4.42

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (11*110)
1	Настил	54,64	55,02	54,92	54,29
2	Поздовжні РЖ	7,84	7,20	7,36	8,43
3	Бімси	37,52	37,78	37,72	37,28
4	Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

Фіксовані кількості $n_{\pi} = 24$, $n_6 = 6$.

Розрахунок параметрів перекриття аналогічний тому, який був представлений в § 4.3. Тут представлено лише таблиці з даними.

Таблиця 4.45 – Розрахунок товщини пластини настилу ВП при $n_{\pi} = 24$ і $n_6 = 6$

№	Пояснення	Формула	Значення
---	-----------	---------	----------

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, МПа	$[\sigma]$	210
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	0,6
6	Довга сторона пластини, м	a	1,857143
7	Відношення	$\gamma = a/b$	3,095238
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	0,08321
9	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 1}$, мм, пластини з умов міцності	$t_{\min 1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	6,54
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	676,4543
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, мм, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	17,45
12	Найбільша товщина t , мм	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	17,45
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	17,5

Таблиця 4.46 – Параметри поздовжніх балок при фіксованих $n_{\pi} = 24$ і $n_6 = 6$

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 21,18 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{пр}, \text{ см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		7	59,24	166,63	22,45	31,0	1,8	5,07	міцності
		12	65,30	826,54	72,26	31,0	1,8	11,13	стійкості
		12	65,30	826,54	72,26	31,0	1,8	11,13	прийнято
ГОСТ 9235 –76		935	60,99	343,78	37,69	31,0	1,8	6,82	міцності
		1235	64,32	817,31	71,12	31,0	1,8	10,15	стійкості
		1235	64,32	817,31	71,12	31,0	1,8	10,15	прийнято
РД 5.9373 – 80		14	64,57	1346,42	98,54	31,0	1,8	10,40	міцності
		14	64,57	1346,42	98,54	31,0	1,8	10,40	стійкості
		14	64,57	1346,42	98,54	31,0	1,8	10,40	прийнято
полоса		(7.5*82)	60,31	184,63	21,56	31,0	1,8	6,15	міцності
		(11*1.2e+002)	67,05	632,91	56,03	31,0	1,8	12,89	стійкості
		(11*1.2e+002)	67,05	632,91	56,03	31,0	1,8	12,89	прийнято

Таблиця 4.47 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 24$ і $n_6 = 6$ з умов міцності

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 3150,51 \text{ см}^3$;
--

Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{\text{пр}}, \text{см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РД 5.9373 – 80		56a	246,90	140303,20	3599,78	70,6	1,8	123,4	міцності

Таблиця 4.48 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\text{п}} = 24$ і $n_{\text{б}} = 6$ з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бімсів							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{\text{пр}}, \text{см}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		$I_{\text{б кр}} = 351128,95 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	346,70	407682,20	8605,62	70,6	1,8	223,2
ГОСТ 9235 – 76		$I_{\text{б кр}} = 345944,9 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	346,70	407682,20	8605,62	70,6	1,8	223,2
РД 5.9373 – 80		$I_{\text{б кр}} = 351470,7 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	346,70	407682,20	8605,62	70,6	1,8	223,2
–		$I_{\text{б кр}} = 348766,3 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373 80	80a	346,70	407682,20	8605,62	70,6	1,8	223,2

Таблиця 4.49 – Параметри прийнятих бімсів при фіксованих $n_{\text{п}} = 24$ і $n_{\text{б}} = 6$ з умов міцності і стійкості

Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{\text{пр}}, \text{см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РД 5.9373 – 80		80a	346,70	407682,20	8605,62	70,6	1,8	223,2	прийнято

Таблиця 4.50 – Маси покриття, кг, для фіксованих $n_{\text{п}} = 24$ і $n_{\text{б}} = 6$

		Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (11×120)
Стандарти для бімсів	ГОСТ 21937–76	–	–	–	–
	ГОСТ 9235–76	–	–	–	–
	РД 5.9373 – 80, №80a	45283	45043	45104	45713

Розкладемо масу розраховану в табл. 4.50 за складовими. Абсолютні показники цих складових показано в табл. 4.51, а відносні – в табл. 4.52.

Таблиця 4.51 – Абсолютні складові, кг, маси перекриття з табл. 4.50

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (11×120)
1	Настил	26788	26788	26788	26788
2	Поздовжні РЖ	2726	2486	2547	3156
3	Бімси	15769	15769	15769	15769
4	Σ	45283	45043	45104	45713

Таблиця 4.52 – Відносні складові, %, маси перекриття з табл. 4.50

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (11×120)
1	Настил	59,16	59,47	59,39	58,60
2	Поздовжні РЖ	6,02	5,52	5,65	6,90
3	Бімси	34,82	35,01	34,96	34,50
4	Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

Фіксовані кількості $n_{\pi} = 14$, $n_6 = 6$.

Розрахунок параметрів перекриття аналогічний тому, який був представлений в § 4.3. Тут представлено лише таблиці з даними.

Таблиця 4.53 – Розрахунок товщини пластини настилу ВП при $n_{\pi} = 14$ і $n_6 = 6$

№	Пояснення	Формула	Значення
1	Границя плинності	σ_s	315
2	Допустимі напруження матеріалу пластини (сталі) з умов міцності, МПа	$[\sigma]$	210
3	Тиск на поле пластини, Па	p	50000
4	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \sigma_{кр} = 0,95 \cdot \sigma_s$	299,25
5	Коротка сторона пластини, м	b	1
6	Довга сторона пластини, м	a	1,857143
7	Відношення	$\gamma = a/b$	1,857143
8	Коефіцієнт	v_{22} за табл. 19.3 [5]	0,082386
9	Мінімально необхідна товщина t_{min1} , мм, пластини з умов міцності	$t_{min1} = \sqrt{\frac{6 \cdot v_{22} p b^2}{[\sigma]}}$	10,85

№	Пояснення	Формула	Значення
10	Ейлерові напруження σ_e , МПа, за відомими критичними	$\sigma_e = \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} + 2 \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_s} \right)^{10} \right) \sigma_s$	676,4543
11	Мінімально необхідна товщина $t_{\min 2}$, мм, пластини з умов стійкості	$t_{\min 2} = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot b \sqrt{\sigma_e}$	29,08
12	Найбільша товщина t , мм	$t = \max(t_{\min 1}, t_{\min 2})$	29,08
13	Прийнята товщина, мм	округлюється через 0,5мм при товщині листа від 4мм до 20мм і через 1мм для листів більше 20мм	30

Таблиця 4.54 – Параметри поздовжніх балок при фіксованих $n_{\pi} = 14$ і $n_6 = 6$

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 21,18 \text{ см}^3$; Стискуючі напруження $\sigma_c = 299,25 \text{ МПа}$.									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
ГОСТ 21937–76		5	95,72	135,97	21,37	31,0	3,0	2,86	міцності
		12	103,99	1041,01	83,07	31,0	3,0	11,13	стійкості
		12	103,99	1041,01	83,07	31,0	3,0	11,13	прийнято
ГОСТ 9235 –76		935	99,68	468,99	46,92	31,0	3,0	6,82	міцності
		1235	103,01	1023,17	81,37	31,0	3,0	10,15	стійкості
		1235	103,01	1023,17	81,37	31,0	3,0	10,15	прийнято
РД 5.9373 – 80		14	103,26	1616,72	108,47	31,0	3,0	10,40	міцності
		14	103,26	1616,72	108,47	31,0	3,0	10,40	стійкості
		14	103,26	1616,72	108,47	31,0	3,0	10,40	прийнято
полоса		(4.*19)	93,61	74,36	22,05	31,0	3,0	0,76	міцності
		(12*1.2e+002)	107,21	1000,91	77,32	31,0	3,0	14,35	стійкості
		(12*1.2e+002)	107,21	1000,91	77,32	31,0	3,0	14,35	прийнято

Таблиця 4.55 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 14$ і $n_6 = 6$ з умов міцності

Необхідний мінімальний момент інерції $W_{\phi \min} = 3150,51 \text{ см}^3$;									
Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$	Умова
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
РД 5.9373 – 80		56a	335,11	169523,84	3804,74	70,6	3,0	123,4	міцності

Таблиця 4.56 – Параметри бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 14$ і $n_6 = 6$ з умов стійкості

Параметри поздовжніх балок		Параметри бімсів							
Стандарт	Ескіз	Стандарт	№ профілю	$f, \text{ см}^2$	$i, \text{ см}^4$	$W_{\min}, \text{ см}^4$	$c, \text{ см}$	$t, \text{ см}$	$f_{\text{пр}}, \text{ см}^2$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 21937–76		$I_{\phi_{кр}} = 327592,4 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373_80	71a	404,51	383592,24	7687,00	70,6	3,0	192,8
ГОСТ 9235 – 76		$I_{\phi_{кр}} = 324129,8 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373_80	71a	404,51	383592,24	7687,00	70,6	3,0	192,8
РД 5.9373 – 80		$I_{\phi_{кр}} = 336122,7 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373_80	71a	404,51	383592,24	7687,00	70,6	3,0	192,8
–		$I_{\phi_{кр}} = 333942,0 \text{ см}^4$							
		none	none	0	0	0	0	0	0
		none	none	0	0	0	0	0	0
		РД 5.9373_80	71a	404,51	383592,24	7687,00	70,6	3,0	192,8

Таблиця 4.57 – Параметри прийнятих бімсів при фіксованих $n_{\pi} = 14$ і $n_{\phi} = 6$ з умов міцності і стійкості

Стандарт	Ескіз	№ профілю	$f, \text{см}^2$	$i, \text{см}^4$	$W_{\min}, \text{см}^4$	$c, \text{см}$	$t, \text{см}$	$f_{пр}, \text{см}^2$	Умова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РД 5.9373 – 80		71a	404,51	383592,24	7687,00	70,6	3,0	192,8	прийнято

Таблиця 4.58 – Маса перекриття, кг, для фіксованих $n_{\pi} = 14$ і $n_{\phi} = 6$

		Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (12×120)
Стандарти для бімсів	ГОСТ 21937–76	–	–	–	–
	ГОСТ 9235–76	–	–	–	–
	РД 5.9373 – 80, №71a	61134	60994	61030	61595

Розкладемо масу розраховану в табл. 4.58 за складовими. Абсолютні показники цих складових показано в табл. 4.59, а відносні – в табл. 4.60.

Таблиця 4.59 – Абсолютні складові, кг, маси перекриття з табл. 4.58

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (12×120)
1	Настил	45923	45923	45923	45923
2	Поздовжні РЖ	1590	1450	1486	2051

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (12×120)
3	Бімси	13621	13621	13621	13621
4	Σ	61134	60994	61030	61595

Таблиця 4.60 – Відносні складові, %, маси перекриття з табл. 4.58

№	Складова	Стандарти для поздовжніх балок			
		ГОСТ 21937–76, №12	ГОСТ 9235–76, №1235	РД 5.9373–80, №14	полоса, (12×120)
1	Настил	75,12	75,29	75,25	74,56
2	Поздовжні РЖ	2,60	2,38	2,43	3,33
3	Бімси	22,28	22,33	22,32	22,11
4	Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

2.4 Аналіз отриманих результатів

Для проведення аналізу отриманих результатів випишемо значення мас перекриття в залежності від кількості поздовжніх та поперечних балок для кожного зі стандартів поздовжніх балок. Вказані результати розміщені в табл. 4.61.

Таблиця 4.61 – Маса перекриття в залежності від n_{Π} і n_{δ}

№	Стандарти поздовжніх балок				Кількість балок	
	ГОСТ 21937–76	ГОСТ 9235– 76	РД 5.9373– 80	полоса	поздовжніх n_{Π}	бімсів n_{δ}
1	46236	45951	45860	47457	19	4
2	51604	51414	51462	52019	19	6
3	56065	56024	56718	56387	19	8
4	42024	41734	41808	42294	29	6
5	45283	45043	45104	45713	24	6
6	61134	60994	61030	61595	14	6

Графік розподілу маси ВП в залежності від кількості бімсів n_{δ} при фіксованій кількості поздовжніх РЖ $n_{\Pi} = 19$ представлено на рис. 4.6, де вздовж горизонтальної осі відмічена кількість бімсів, а вздовж вертикальної – маса

перекриття. На рис. 4.6 залежності для різних стандартів профілів поздовжніх РЖ практично зливаються в одну, а тому вони не пронумеровані.

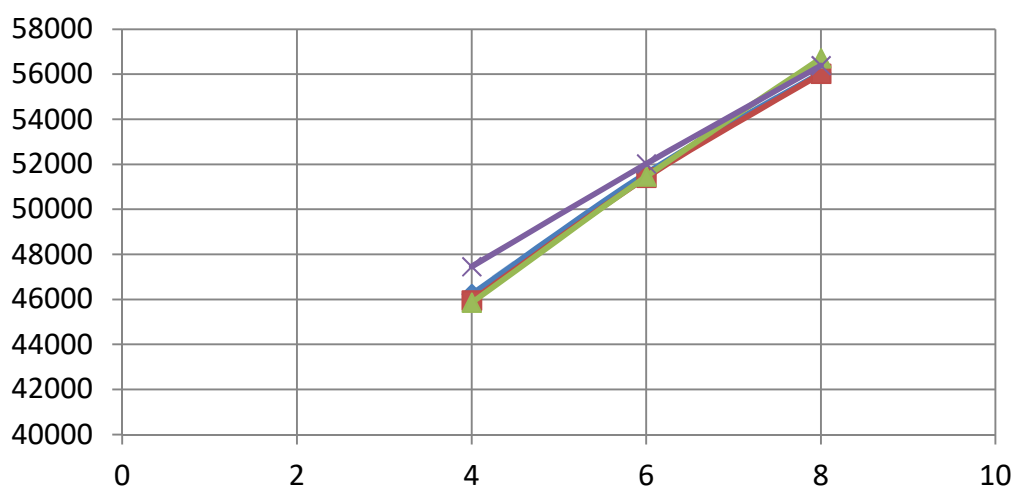


Рис. 4.6 – Залежності маси перекриття від числа бімсів при фіксованій кількості поздовжніх РЖ $n_p = 19$

Графік розподілу маси ВП в залежності від кількості поздовжніх РЖ n_p при фіксованій кількості бімсів $n_b = 6$ представлено на рис. 4.7, де вздовж горизонтальної осі відмічена кількість бімсів, а вздовж вертикальної – маса перекриття. На рис. 4.7 залежності для різних стандартів профілів поздовжніх РЖ практично зливаються в одну, а тому вони не пронумеровані.

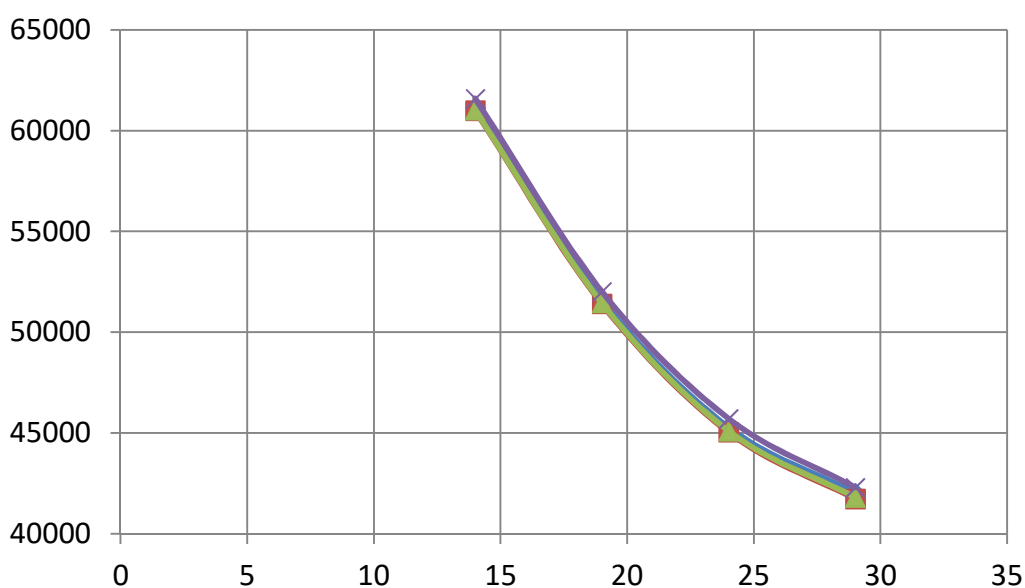


Рис. 4.7 – Залежності маси перекриття від числа поздовжніх РЖ при фіксованій кількості бімсів $n_b = 6$

Аналізуючи графіки на рис. 4.6 та 4.7 можна зробити наступні висновки. При збільшенні числа бімсів маса перекриття зростає практично лінійно. При збільшенні кількості бімсів з 4 до 8 при фіксованій кількості поздовжніх РЖ маса перекриття зростає приблизно на 21,3%.

При збільшенні числа поздовжніх балок з 14 до 29, що відповідає зміні розмірів пластини b (рис. 4.1) між поздовжніми РЖ від 1,0 до 0,5 м маса перекриття зменшується приблизно на 31,3%. При чому, як видно з графіка на рис. 4.7 для кількості поздовжніх РЖ настає такий момент, коли подальше збільшення кількості поздовжніх РЖ не призводить до суттєвого зменшення маси перекриття. На рис. 4.7 вже починаючи з кількості поздовжніх РЖ рівним $n_{\pi} = 23 \div 26$ зміна маси перекриття практично заходить в асимптоту. Зміна числа поздовжніх РЖ від $n_{\pi} = 24$ до $n_{\pi} = 29$ призводить до зменшення маси перекриття лише на 7,2%. Проте збільшення кількості поздовжніх РЖ може призводити до подорожчання виробництва перекриття ВП. В цьому випадку необхідний економічно-вартісний аналіз з врахуванням технологічних факторів, що виходить за рамки даної роботи.

Зміна маси поздовжніх РЖ в залежності від їх числа при фіксованій кількості бімсів представлена на графіках рис. 4.8.

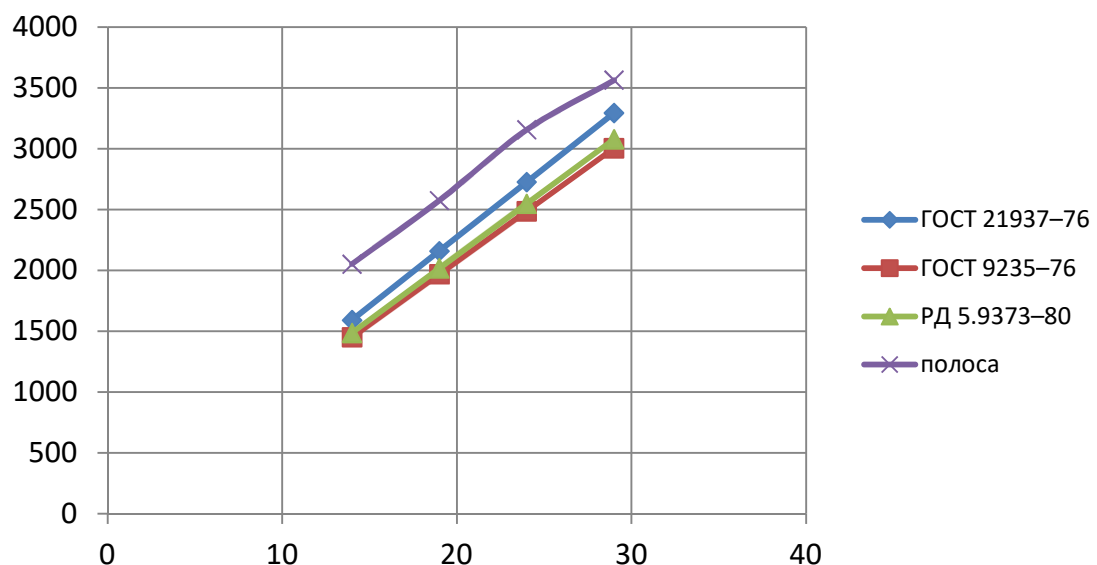


Рис. 4.8 – Залежності маси поздовжніх РЖ від їх числа при фіксованій кількості бімсів $n_6 = 6$

З графіків на рис. 4.8 видно, що при збільшенні кількості поздовжніх РЖ від 14 до 29, що відповідає зміні розмірів пластини b (рис. 4.1) між поздовжніми РЖ від 1,0 до 0,5 м маса поздовжніх РЖ зростає приблизно в $(1,7 \div 2)$ рази, хоча маса перекриття, як вже було сказано зменшується на $1/3$. Саме збільшення маси поздовжніх РЖ призводить до збільшення собівартості виготовлення перекриття, тому що питома вартість (вартість за тону прокату) профільного металопрокату як правило є вищою, аніж вартість листового металопрокату. Тут також необхідні додаткові вартісно-економічні дослідження з врахуванням технологічних факторів.

Таким чином саме поздовжні РЖ відіграють одну з вирішальних ролей в масових та економічно-вартісних показниках при проектуванні та виробництві перекриття ВП.

Тим часом листовий настил ВП становить $50 \div 80\%$ від загальної маси перекриття. Як показали розрахунки, найбільша товщина листів ВП отримується з умов стійкості, аніж з умов міцності. Тому заходи щодо зменшення товщини настилу ВП є також потрібними. Для даної схеми ВП (рис. 4.1) цими заходами є застосування листів з підвищеною границею плинності і більш якісний розрахунок сумарних згинальних моментів, які дадуть точні значення стискуючих напружень, щоб не застосовувати значення граничного згинального моменту в умовах невизначеності, який дає завищену товщину настилу ВП. Але опрацювання вказаних заходів виходить за межі даного дослідження.

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СЕКЦІЇ ПЕРЕКРИТТЯ ВП

В цьому розділі представлено принципіальну технологію виготовлення перекриття ВП. Як видно з розрахунків, товщини тонкостінних елементів в більшості випадків перевищують 5 мм, а тому в технологічні процеси закладаємо процес розділки кромки. У випадку, якщо для зварювання буде використовуватися напівавтомат, то розділку кромки в операціях над поздовжніми і поперечними РЖ виконувати не треба.

Принципіальна технологія виготовлення секції ВП представлена наступними кроками.

1) Виготовлення поздовжніх РЖ.

Катані профілі. Якщо прийняті поздовжні РЖ є катаними профілями, то необхідно виконати тільки розділку верхньої кромки, якою ці профілі кріпляться до настилу ВП.

Час T розділки кромки поздовжніх РЖ визначиться залежністю

$$T = n_n \cdot l \cdot t_{кр1м}, \quad (23)$$

а вартість V розділки кромки всіх поздовжніх РЖ обчислюється за формулою

$$V = n_n \cdot l \cdot p_{кр1м}, \quad (24)$$

де пояснення для цих формул надані в § 3.3.

Зварний тавр і полоса. Якщо поздовжні РЖ є зварними таврами згідно РД 5.9373–80 або половою, то їх необхідно виготовляти. Технологічний процес виробництва і принципові залежності розрахунку вартості виготовлення цих РЖ були описані в § 3.3.

Час виготовлення поздовжніх РЖ у вигляді зварного тавра за РД 5.9373–80 визначиться формулою

$$T = n_n \cdot l \cdot (2t_{рі1м} + 2t_{кр1м} + 2t_{зв1м}), \quad (25)$$

де $t_{рі1м}$, $t_{кр1м}$, $t_{зв1м}$ – час виконання операцій відповідно різки, обробки кромки та зварювання для 1 метру погонного.

Час T виготовлення полоси визначається виразом

$$T = n_n \cdot l \cdot (t_{pi1m} + t_{kp1m}), \quad (26)$$

2) Виготовлення бімсів. Бімси виготовляються згідно технологічного процесу описаного в § 3.3 для зварного тавру, але тут додаються технологічні операції вирізу сквозних отворів для поздовжніх РЖ.

Вартість V виготовлення усіх бімсів визначається залежністю, аналогічною до (22), але вже враховуючи всі оброки кромки і виріз сквозних отворів

$$V = p_{m1r} \cdot m_n + 2 n_o \cdot L \cdot (p_{pi1m} + p_{kp1m} + p_{ze1m}) + n_o \cdot n_n \cdot p_{pi1m} \cdot 0,4, \quad (27)$$

де використані пояснення для формули (22), а остання складова враховує вирізання отворів/проходів для поздовжніх РЖ, де довжина різки одного отвору взята рівною 0,4 м, що відповідає приблизно подвійній найбільшій висоті профілю поздовжньої балки із серійних розрахунків.

Час T виготовлення всіх бімсів обчислюється за залежністю

$$T = 2 n_o \cdot L \cdot (t_{pi1m} + t_{kp1m} + t_{ze1m}) + n_o \cdot n_n \cdot t_{pi1m} \cdot 0,4, \quad (28)$$

де t_{pi1m} , t_{kp1m} , t_{ze1m} – час виконання операцій відповідно різки, обробки кромки та зварювання для 1 метру погонного.

3) Виготовлення настилу ВП. Настил ВП виготовляється з однотипних листів з однієї партії. Розміри ВП складають $l = 13$ м, $L = 15$ м (рис. 4.1). При виготовленні вказаного полотна необхідно подбати, щоб зварні шви не попали на перегородки, на елементи опорного контуру, на лінії розміщення поздовжніх і поперечних балок. Відстань між паралельним швами повинна бути не меншою за 75 мм. При цьому необхідно замовляти такі типорозміри партії листів, щоб мінімізувати операції їх різки (і заодно розділки кромки) з метою уникнення накладання стикових зварних швів листів і швів поздовжніх і поперечних балок. Також необхідно враховувати транспортні можливості виробництва, де буде збиратися перекриття ВП. Звісно, чим довші листи, тим краще.

Для випадку, описаному в § 3.3, при числі поздовжніх РЖ $n_n = 19$ і числі бімсів $n_o = 4$, що відповідає розмірам пластини $a = 2,6$ м, $b = 0,75$ м. (рис. 4.1) може бути рекомендована наступна процедура, як допоможе уникненню накладання швів.

Вводиться точка відліку, наприклад на лівому борті. Від цієї точки відліку визначаються координати прикріплення поздовжніх РЖ $y_{рж}$ і координат стику листів $y_{л}$. Приймаємо листи шириною 2,5 м і довжиною 13 м. Листи розміщуються вздовж перекриття. Варіюючи параметр d (рис. 4.9), підбираємо таке розташування листів, щоб: відстань між паралельними швами була не менше 75 мм; уникнути різки листів вздовж; листи заходили за границі поздовжніх внутрішніх бортових перегородок (або за границі опорного контуру) більше ніж на 75 мм, тобто $e > 75$ мм і $d > 75$ мм.

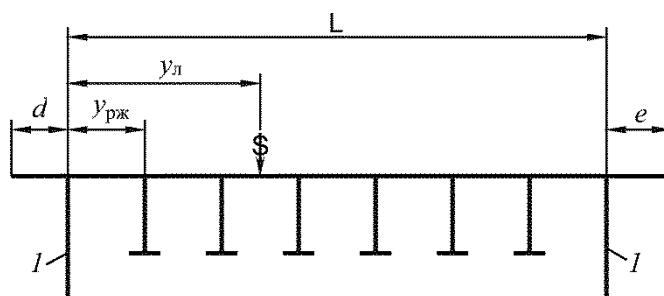


Рис. 4.9 – Схема для розмітки листів: 1-лист внутрішньої поздовжньої бортової перегородки

Підбір параметра d виконується шляхом послідовного обчислення модуля різниць між координатами поздовжніх РЖ $y_{рж}$ і стику поздовжніх листів $y_{л}$. Вказаний розрахунок представлено в табл. 4.62.

Таблиця 4.62 – Різниці координат $y_{рж}$ і $y_{л}$

Координати поздовжніх РЖ $y_{рж}$, м	Координати стику листів $y_{л}$, м						
	-0,4	2,1	4,6	7,1	9,6	12,1	14,6
0	0,4	2,1	4,6	7,1	9,6	12,1	14,6
0,75	1,15	1,35	3,85	6,35	8,85	11,35	13,85
1,5	1,9	0,6	3,1	5,6	8,1	10,6	13,1
2,25	2,65	0,15	2,35	4,85	7,35	9,85	12,35
3	3,4	0,9	1,6	4,1	6,6	9,1	11,6
3,75	4,15	1,65	0,85	3,35	5,85	8,35	10,85
4,5	4,9	2,4	0,1	2,6	5,1	7,6	10,1
5,25	5,65	3,15	0,65	1,85	4,35	6,85	9,35
6	6,4	3,9	1,4	1,1	3,6	6,1	8,6
6,75	7,15	4,65	2,15	0,35	2,85	5,35	7,85
7,5	7,9	5,4	2,9	0,4	2,1	4,6	7,1

Координати поздовжніх РЖ $y_{рж}$, м	Координати стику листів $y_{л}$, м						
	-0,4	2,1	4,6	7,1	9,6	12,1	14,6
8,25	8,65	6,15	3,65	1,15	1,35	3,85	6,35
9	9,4	6,9	4,4	1,9	0,6	3,1	5,6
9,75	10,15	7,65	5,15	2,65	0,15	2,35	4,85
10,5	10,9	8,4	5,9	3,4	0,9	1,6	4,1
11,25	11,65	9,15	6,65	4,15	1,65	0,85	3,35
12	12,4	9,9	7,4	4,9	2,4	0,1	2,6
12,75	13,15	10,65	8,15	5,65	3,15	0,65	1,85
13,5	13,9	11,4	8,9	6,4	3,9	1,4	1,1
14,25	14,65	12,15	9,65	7,15	4,65	2,15	0,35
15	15,4	12,9	10,4	7,9	5,4	2,9	0,4
Найменші різниці за модулем	0,4	0,15	0,1	0,35	0,15	0,1	0,35

Коментуючи табл. 4.62 необхідно відмітити, що власне перша і останні координати $y_{рж}$ не є координатами прикріплення поздовжніх РЖ, а є координатами положення поздовжніх внутрішніх листів бортового перекриття. В табл. 4.62 перша координата $y_{л}$ означає $d = -0,4$ м (рис. 4.9), а $e = -0,4$ м.

Як бачимо з табл. 4.62 найменші різниці за модулем становлять більше 75 мм = 0,075м. Це означає, що даний варіант розміщення листів є прийнятним з точки зору зазначених вище вимог за зварюванням. А тому цей варіант приймається до опрацювання в якості робочого. З табл. 4.62, орієнтуючись на рис. 4.9, враховуючи вище надані пояснення можна встановити, що необхідно 6 листів $2,5 \times 12$ м. Необхідно враховувати напуски на поперечні перегородки, а так як довжина перекриття $l = 13$ м, то напустивши лист за опорний контур однієї перегородки, ми отримаємо оголення протилежної перегородки (рис. 4.10). Але те оголення перекриється сусідніми листами сусідньої секції ВП. Якщо ж розроблювана секція ВП є кінцевою, то на оголеній ділянці може бути встановлено поздовжній лист потрібної ширини.

Перед зварюванням полотна секції ВП з листів металу виконується операція розділки кромek кожного з листів по всьому контуру, тому що товщина для розглядуваного випадку сягає 22 мм. Розділку бажано виконувати двохсторонньою. Листи будуть стикуватися між собою, а до полотна теж будуть

пристикуватися листи, тому розділка кромок вказана по всьому периметру для кожного листа.

Вартість V розділки кромок у вказаному випадку для листів визначається залежністю

$$V = 2(u + w) \cdot n_{\text{л}} \cdot p_{\text{кр1м}}, \quad (29)$$

де $u = 13$ м – довжина листа; $w = 2,5$ м – ширина листа; $n_{\text{л}} = 6$ – кількість листів.

Час T розділки кромок у вказаному випадку для листів визначається залежністю

$$T = 2(u + w) \cdot n_{\text{л}} \cdot t_{\text{кр1м}}. \quad (30)$$

Зварювання полотна секції ВП виконується по $n_{\text{л}} - 1 = 6 - 1 = 5$ стиках (рис. 4.10) з обох боків відносно площини листа (два шва).

Вартість V та час T зварювання полотна секції ВП визначаються відповідно залежностями

$$V = 2 \cdot (n_{\text{л}} - 1) l \cdot p_{\text{зє1м}}, \quad (31)$$

$$T = 2 \cdot (n_{\text{л}} - 1) l \cdot t_{\text{зє1м}}. \quad (32)$$

4) Приварювання набору до настилу ВП. Поздовжні балки і бімси приварюються до настилу ВП вздовж по обидва боки. При цьому, як вже було сказано вище, кромки, якими балки набору приєднуються до настилу мають попередню розділку кромок.

Вартість V та час T приварювання балок набору до полотна секції ВП визначаються відповідно залежностями

$$V = 2 \cdot (n_{\text{н}} l + n_{\text{б}} L) \cdot p_{\text{зє1м}}, \quad (33)$$

$$T = 2 \cdot (n_{\text{н}} l + n_{\text{б}} L) \cdot t_{\text{зє1м}}. \quad (34)$$

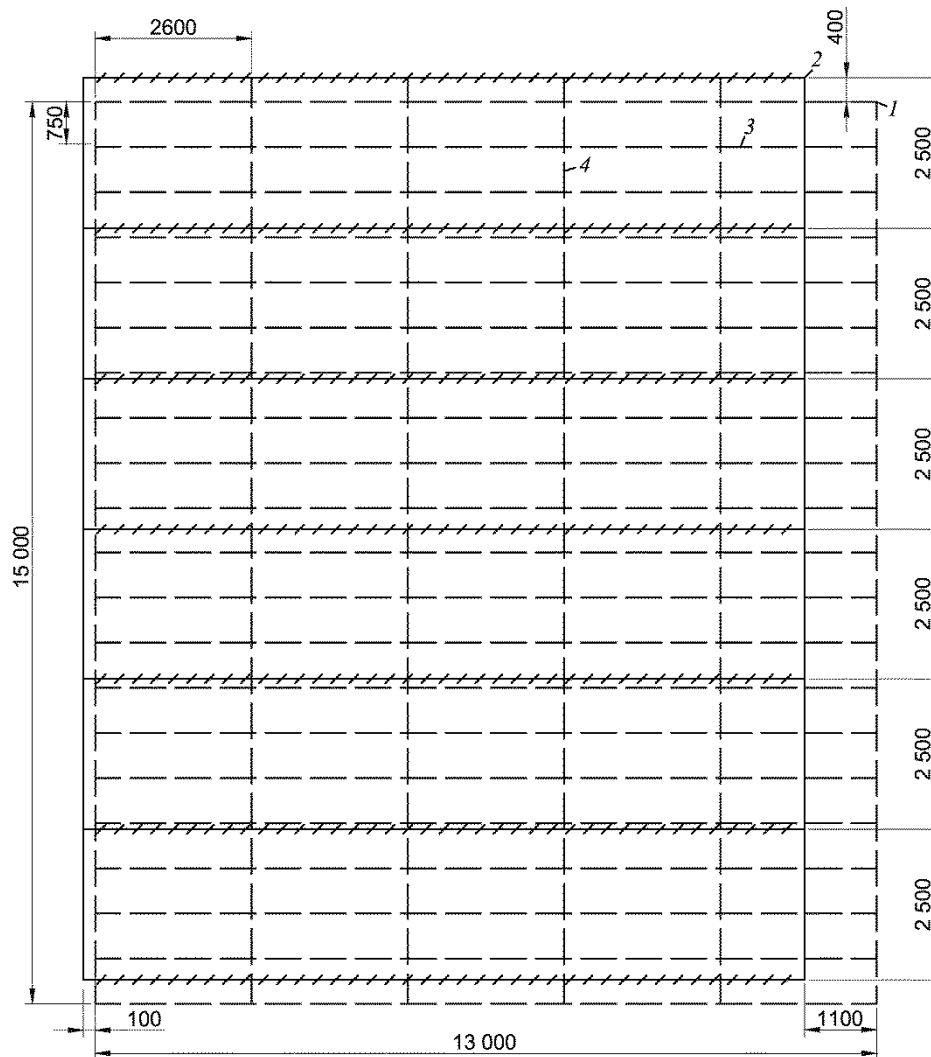


Рис. 4.10 – Схема технологічного розміщення листів і балок секції ВП: 1 – контур секції; 2 – листи; 3 – поздовжні РЖ; 4 – бімси

Зауваження. При розрахунку вартості виготовлення V і часу виконання T технологічних операцій необхідно враховувати, що для кожного випадку питома вартість p і час t таких операцій як різка, розділка кромки і зварювання повинні визначатися окремо. Тому що умови реального виробництва можуть бути різними. Вид зварювання може бути різний. Десь можливо використовувати різні діаметри дроту в напівавтоматі, а десь – ні. Якщо зварювання ручне, то розділка кромки, яка описана вище у всіх випадках обов'язкова. Операція фарбування не врахована.

ВИСНОВКИ

В рамках магістерської роботи були вирішені всі поставлені задачі для досягнення сформульованої мети роботи.

1) Були сформульовані моделі розрахунку перекриття верхньої палуби в цілому і його складових елементів зокрема, таких як ребер жорсткості і пластин. Вказані моделі передбачали розрахунок міцності і стійкості.

2) В рамках варіювання числа поздовжніх РЖ і бімсів були зроблені наступні висновки. При збільшенні числа бімсів маса перекриття зростає практично лінійно. При збільшенні числа поздовжніх балок маса перекриття зменшується. Динаміка зменшення маси перекриття при зростанні числа поздовжніх РЖ є більшою, ніж динаміка росту маси перекриття при збільшенні числа бімсів. Проте збільшення кількості поздовжніх РЖ може призвести до подорожчання виробництва, не дивлячись на загальне зменшення маси перекриття при цьому.

Для кожного з варіантів фіксованого числа поздовжніх РЖ і бімсів була проаналізована можливість застосування таких поздовжніх профілів як катаних, зварних та полоси та створено відповідні математичні моделі економічно-вартісного аналізу з врахуванням технологічних факторів, які дозволять прийняти рішення щодо вибору конкретного профілю в умовах даного постачання і виробництва.

Було показано, що маса листового настилу складає 50÷80% від загальної маси перекриття і запропоновані заходи для зменшення маси листового настилу та озвучені деякі з них для майбутнього опрацювання.

3) Була розроблена принципіальна схема технологічного процесу виготовлення секції ВП, яка може бути масштабована під конкретні умови постачання і виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 5 Справочник по строительной механике корабля./Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. – В трех томах. Том 2. Пластины. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы. – Л.: Судостроение, 1982. – 464 с., ил.
- 6 Справочник по строительной механике корабля: В трех томах. Т. 3. Динамика и устойчивость корпусных конструкций/ Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. – Л.: Судостроение, 1982, 320 с.
- 7 Регістр Судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 2. Київ: РСУ, 2020. 792 с.
- 8 Суслов В.П., Кочанов Ю.П., Спихтаренко В.Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости. Л.: Судостроение, 1972. 720 с.
- 9 Строительная механика корабля и теория упругости: Учеб. для вузов: В 2 т. – Л.: Судостроение, 1987. Т.2: Постнов В.А., Ростовцев Д.М., Суслов В.П., Кочанов Ю.П. Изгиб и устойчивость стержнем, стержневых систем, пластин и оболочек. – 416 с.: ил.
- 10 Основы технологии судостроения: Учебник/В.Д. Мацкевич, Э.В. Ганов, В.П. Доброленский, В.С. Кравченко, В.Ю. Лейзерман, В.Д. Наумов, Е.И. Никитин. Под общ. ред. В.Д. Мацкевича. – Л.: Судостроение, 1980. 351 с.