

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, к.т.н.,

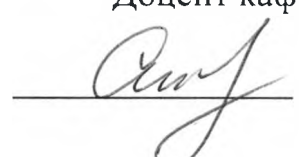
 М.М. Бобров
“ 22 ” 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти магістра на тему:
Аналіз конструкції та технології вантажного трюму базальтоцементної баржі
(Analysis of the design and manufacturing technology of the cargo hold of a basalt-cement barge)

Виконав:

 студент групи 6116м
Лазаренко В.М.

Керівник роботи:

Доцент кафедри БМ та ККК,
к.т.н., доцент
 Соломонюк Н.С.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Спеціальність 135 «Суднобудування»
Освітньо-професійна програма «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми
д.т.н, професор Коростильов Л.І.

“22” 12 2025 року.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Студенту Лазаренко В'ячеславу Миколайовичу

1. Тема роботи: Аналіз конструкції та технології вантажного трюму базальтоцементної баржі

Керівник роботи: Соломонюк Н.С., канд.техн.наук, доцент.

Затверджені наказом ректора № _____ від “___” _____ 2025 року

2. Термін подання роботи _____ 20.12.2025 _____.

3. Вихідні дані по роботі: об'єкт – плоскодонна баржа для внутрішніх річкових перевезень мінерально-будівельних вантажів: вугілля, лісу, контейнерів вантажопідйомністю до 5 тон, гусеничної техніки (з питомим навантаженням не більше 10 т/м²) і колісної техніки (з питомим навантаженням до 10-14 т.), а також інших генеральних вантажів, які не бояться підмочування.

Параметри баржі: найбільша довжина – 38, 34 м, , довжина вантажної палуби – 30, 78 м, ширина – 8,22 м, ширина вантажної палуби – 5,2 м, висота борту – 1,3 м, осадка до 1,02 м, вантажопідйомність 248 т.

4. Перелік питань, що належать до розробки

- 1) Провести аналіз літературних джерел для вивчення видів барж, технологій їх виготовлення з різних матеріалів та існуюча нормативна база для них.
- 2) Визначити зовнішні навантаження корпус баржі у стандартних робочих ситуаціях.
- 3) Виконати конструктивні розрахунки корпусу баржі.
- 4) Розробити зносостійке гідроізоляційне покриття для днища вантажної палуби.
- 5) Розробити технологічний процесу виготовлення базальтоцементної баржі.

5. Перелік презентаційних матеріалів: 1 – типи барж, 2 – актуальність роботи і постановка задачі 3- Схема загального розташування баржі-майданчика, 4, 5, 6 – Порівняльні характеристики різних волокон і властивості базальтобетону, 7 – Схеми напружень, що виникають в корпусі судна під час експлуатації, транспортування та зберігання, 7 – Технологія виготовлення пішохідного мосту, 8 - Розрахунок загальної поздовжньої міцності баржі, 9 – Розрахункова схема баржі, 10 - 13 – Конструкційні розрахунки параметрів баржі, 14 – 16 – креслення частин баржі, 17 – пултрузійна установка, 18, 19 – Технологія виготовлення баржі, 20 - висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1			
2			
3			
4			
5			

7. Дата видачі завдання 3.09.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури та постановка задачі	22.09.2025	виконано
2	Схема виробу і діючі навантаження	13.10.2025	викон.
3	Конструювання виробу	03.11.2025	викон.
4	Конструювання виробу	24.11.2025	викон.
5	Зносостійке покриття для баржі	8.12.2025	викон.

Студент Лазаренко В.М.

Керівник роботи Соломонюк Н.С.

АНОТАЦІЯ

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано аналіз конструкції та технології виготовлення вантажного трюму несамохідної базальтоцементної баржі, призначеної для перевезення мінерально-будівельних вантажів у умовах річкового та змішаного плавання.

Метою роботи є обґрунтування вибору конструктивних рішень вантажного трюму, зносостійкого гідроізоляційного покриття та технології його нанесення, а також розробка технологічного процесу виготовлення елементів корпусу базальтоцементної баржі, їх твердіння та з'єднання.

У роботі проведено аналіз сучасних матеріалів і технологій виготовлення корпусів барж, визначено зовнішні навантаження, що діють на корпус у стандартних експлуатаційних режимах, та виконано конструктивні й міцнісні розрахунки основних елементів вантажного трюму. Розроблено математичні моделі для оцінювання напружено-деформованого стану конструкції та виконано оптимізацію геометричних параметрів поперечного перерізу баржі.

Окрему увагу приділено розробці зносостійкого покриття днища вантажного трюму, вибору його складу та технології нанесення. Розраховано режими тепловологісної обробки базальтоцементних елементів в автоклаві, час їх прогріву, а також параметри технологічного обладнання.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та виготовленні несамохідних барж з базальтоцементу для внутрішніх водних шляхів.

Ключові слова: базальтоцемент, несамохідна баржа, вантажний трюм, зносостійке покриття, автоклавна обробка, технологічний процес, міцність конструкцій.

ABSTRACT.

This Master's thesis provides an analysis of the design and manufacturing technology of a cargo hold for a non-propelled basalt-cement barge, intended for the transportation of mineral and construction cargo in river and mixed (river-sea) navigation conditions.

The aim of the study is to justify the selection of structural solutions for the cargo hold, a wear-resistant waterproofing coating, and its application technology, as well as to develop a technological process for manufacturing, curing, and joining the hull elements of the basalt-cement barge.

The work includes an analysis of modern materials and technologies for barge hull manufacturing, determines external loads acting on the hull under standard operating conditions, and performs structural and strength calculations for the main elements of the cargo hold. Mathematical models have been developed to evaluate the stress-strain state of the structure, and optimization of the geometric parameters of the barge's cross-section has been carried out.

Special attention is paid to the development of a wear-resistant coating for the cargo hold bottom, the selection of its composition, and its application technology. The heat and moisture treatment parameters for basalt-cement elements in an autoclave, including heating times and technological equipment specifications, have been calculated.

Keywords: *basalt-cement, non-propelled barge, cargo hold, wear-resistant coating, autoclave treatment, technological process, structural strength*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	9
1.1 Типи барж.....	9
1.2 Матеріали для виготовлення барж.....	11
1.3 Технології виготовлення корпусу армоцементних барж.....	19
1.4 Постановка задачі.....	21
2 СХЕМА ВИРОБУ І ДІЮЧІ НАВАНТАЖЕННЯ.....	22
2.1 Визначення складу матеріалу.....	23
2.2 Розрахунок згинальних моментів в стандартних робочих ситуаціях.....	26
2.3 Математичні моделі для розрахунку конструкції баржі.....	28
2.4 Висновки за розділом.....	32
3 КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ.....	34
3.1 Визначення складу конструкції баржі.....	35
3.2 Формалізація задачі.....	35
3.3 Деталізація результатів оптимізації.....	36
3.4 Висновки за розділом.....	39
4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БАРЖІ-ПЛОЩАДКИ.....	41
4.1 Визначення частин баржі для поетапного формування корпусу.....	42
4.2 Отримання елементів конструкції несамохідної баржі з базальтоцементу методом пултрузії.....	43
4.3 Висновки за розділом.....	52

					КР.134.4161.01.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лазаренко В.М.	<i>В.М. Лазаренко</i>	19/12				
Керівник		Соломонюк Н.С.	<i>Н.С. Соломонюк</i>	19/12				
Н. контр.		Захарова І.О.	<i>І.О. Захарова</i>	19/12		НУК		
Зав. каф.		Бобров М.М.	<i>М.М. Бобров</i>					

5	ЗНОСОСТІЙКЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ БАРЖІ.....	53
5.1	Обґрунтування необхідності покриття і огляд матеріалів.....	54
5.2	Технологія нанесення покриття.....	60
5.3	Висновки за розділом.....	62
	ВИСНОВКИ.....	63
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

ВСТУП

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розвитку транспортної інфраструктури України.

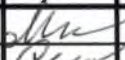
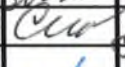
Ця задача є актуальною, оскільки її виконання дозволить збільшити строк експлуатації судна, захистивши його від абразивного зношування, збільшити водо- та морозостійкість, дозволить пришвидшити процес виготовлення базальтоцементної баржі.

Метою роботи є обґрунтування вибору зносостійкого покриття та технології його нанесення; розробка технологічного процесу виготовлення елементів конструкції та подальшого їх збирання. Встановлення режимів формування, твердіння елементів.

Для вирішення мети проекту поставлено задачі:

- конструювання та розробка технології виготовлення корпусу баржі;
- вибір зносостійкого покриття та обґрунтування технології його нанесення;
- розрахунки міцності технологічного обладнання;
- розрахунок параметрів технологічних режимів тепловологісної обробки в автоклаві для повного прогріву елементів;
- розрахунок товщини ізоляції.

					КР.135.5116м.01.ПЗ	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					КР.134.4161.01.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Огляд літератури та постановка задачі	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лазаренко В.М.		18.12				
Керівник		Соломонюк Н.С.		19.12				
Н. контр.		Захарова І.О.		19.12				
Зав. каф.		Бобров М.М.				НУК		

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Типи барж

Баржа – це плоскодонне судно, оснащене двигуном або без двигуна, яке використовується для перевезення вантажів по воді [1]. Для внутрішніх річкових перевезень використовують баржі вантажопідйомністю до 9,2 тисяч тонн, для морських перевезень - баржі вантажопідйомністю до 16,5 тисяч тонн. Як правило, слово «баржа» означає судно без двигуна; для пересування баржі використовують буксир. Якщо баржа має двигун, то додається уточнення: «самохідна баржа».

Баржі по району плавання поділяються на річкові, рейдові (рейд - частина акваторії порту або пристані поза суднового ходу, відведена для стоянки суден, формування та розформування составів, бортової перевалки вантажів, навантаження, постачання й бункеровки суден) та морські, а по вантажам, що перевозяться на суховантажні, наливні і ґрунтовідвізні. Особливе місце займають спеціалізовані самохідні баржі, наприклад десантні.

В якості прототипу в роботі прийнято несамохідну баржу-майданчик.

Дану баржу (Рисунок 1.1) використовують для внутрішніх річкових перевезень. Для перевезення мінерально-будівельних вантажів: вугілля, лісу, контейнерів вантажопідйомністю до 5 тон, гусеничної техніки (з питомим навантаженням не більше 10 т/м²) і колісної техніки (з питомим навантаженням до 10-14 т.), а також інших генеральних вантажів, які не бояться підмочування.

Основні характеристики конструкції баржі:

Найбільша довжина, м. 38.34
Довжина вантажної палуби, м 30.78
Ширина, м. 8.22
Ширина вантажної палуби, м 5.2
Висота борту, м. 1.3

Найбільша осадка, м. 1.02

Водотоннажність, т:

- в порожні 72

- при повному вантажі 320

Вантажопідйомність, т. 248

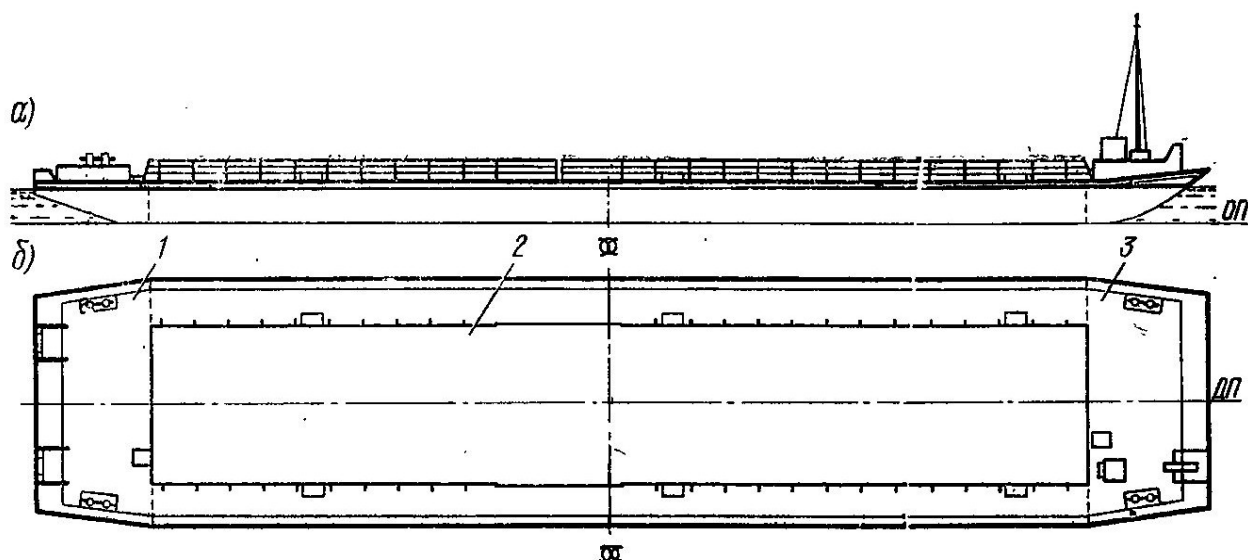


Рисунок 1.1 - Схема загального розташування баржі-площадки

а - вид збоку; б - план головної палуби;

1 - ахтерпик; 2 - вантажна палуба; 3 - форпик.

Несамохідна баржа-майданчик, у зв'язку з тим, що вона постійно знаходиться у воді (також і при низьких температурах), контактує з киснем, є ймовірність зіткнення (з іншими судами або іншими об'єктами) та іншими факторами, повинна мати такі експлуатаційні властивості:

- висока міцність при всіх видах напружених станів;
- здатність переносити великі деформації в пружному стані;
- висока водонепроникність;
- висока морозостійкість;
- висока корозійна стійкість;
- зменшене утворення мікротріщин і внутрішніх напружень;
- підвищена стійкість бетону до проникнення води і хімічних речовин.

1.2 Матеріали для виготовлення барж

При будівництві барж застосовують різні матеріали: метали, дерево, пластмаси та ін.. Кожна партія матеріалу, яка поставляється на суднобудівний та судноремонтний заводи, обов'язково супроводжується документом - сертифікатом, в якому зазначено всі його характеристики; в лабораторіях заводів матеріал проходить хімічні, механічні та технологічні випробування.

Основним матеріалом для будівництва та ремонту суден служить вуглецева *сталь*, а для ряду морських та змішаного плавання суден - низьколеговані сталі. Використовують тільки сталі за ГОСТ 52927 – 2008 [2].

Лісоматеріали застосовують у вигляді колод, брусів, брусків, дощок, фанери, столярних та деревесношаруватих плит. Всі дерев'яні породи ділять на хвойні та листяні. З хвойних порід в суднобудуванні застосовують: сосну, ялину, модрина, ялицю і кедр. З листяних - березу, дуб, ясен і червоне дерево. Колоди і бруси використовують для виготовлення деталей, що підтримують корпусні конструкції при складанні на і на складальних площах. З брусків виготовляють підніжні решітки та інші суднові конструкції; з дощок - переборки, настили та ін.. Для захисту деревини від загнивання і додання їй вогнестійкості її просочують спеціальними розчинами - антисептиками і антиперенами.

Широкого розповсюдження для будівництва барж набуло застосування *залізобетону* [3]. Залізобетон є технічно й економічно більш досконалим матеріалом в порівнянні зі сталями і деревом. Отримали застосування нові матеріали: керамзитобетон, попередньо напружений залізобетон, армоцемент.

Вперше судно з *армоцемента* було побудовано в 1850 році. Це був прогулочний човен, який до самого кінця XIX століття катав парижан по ставках в парках. Побудував його француз Ламбо [4].

Суттєвий недолік металевих суден – корозія металу від атмосферного впливу (кисень, соляна пил, вода, агресивні середовища). А, також, в

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

порівнянні з армоцементними суднами, металеві судна в декілька разів важчі; відповідно буде меншою кількість вантажу, що можна перевозити на металевих суднах. Також, міцність металевих суден нижча, за міцність армоцементних суден.

1.2.1 *Різновиди портландцементу*

Для більш повного виконання специфічних вимог окремих видів будівництва промисловість випускає особливі види портландцементу [5].

При отриманні портландцементів із заданими спеціальними властивостями виконують наступні дії:

- 1) регулюють мінеральний склад і структуру цементного клінкеру, що надають вирішальний вплив на будівельно-технічні властивості цементу;
- 2) регулюють тонкість помелу і зернового складу цементу, що впливають на швидкість твердіння, міцність, тепловиділення та інші найважливіші властивості в'язучого;
- 3) регулюють речовинний склад портландцементу введенням в нього активних мінеральних і органічних добавок, що дозволяють цілеспрямовано змінювати властивості в'язучого, економити клінкер і витрату цементу в бетоні.

Швидкотвердіючий портландцемент відрізняється від звичайного більш інтенсивним набором міцності в перші 3 доби. Відповідно до вимог ГОСТ 10178-85 ШТЦ М400 повинен мати через 3 доби твердіння в нормальних умовах межу міцності при стисненні не менше 24,5 МПа, а ШТЦ М500 - не менше 27,5 МПа. Надалі зростання міцності сповільнюється, і через 28 діб міцність ШТЦ така ж, як у звичайного портландцементу М400 і 500.

Різновидом швидкотвердіючого цементу є портландцемент, який характеризується не тільки великою швидкістю твердіння в початковий період, але й високою маркою (М600, М700) [6].

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Розроблений також зверхшвидкотвердіючий цемент спеціального мінерального складу, який забезпечує інтенсивне наростання міцності вже в першу добу його твердіння (через 6 год - 10 МПа).

Пластифікований портландцемент отримують при помелі клінкеру з добавкою гідрофільно-пластифікуючої речовини (0,15 - 0,25% маси цементу). В якості такої добавки використовують лігносульфонат технічний (ЛСТ), який отримують, як відхід при сульфітному варінні целюлози. Адсорбуючись на поверхні зерен цементу, лігносульфонат кальцію покращує їх змочування водою. Утворені адсорбційно-гідратні шари води забезпечують гідродинамічну змазку зерен, зменшуючи тертя між ними, і одночасно перешкоджаючи їх злипанню в пластівці (флокули), завдяки чому підвищується пластичність цементного тіста, а отже, і бетонної суміші та її стійкість до розшарування. Властивості пластифікованого портландцементу (терміни схоплювання, швидкість твердіння, міцність) приблизно ті ж, що і у звичайних портландцементів. Застосування пластифікованого портландцементу дає можливість знизити трудомісткість укладання бетонної суміші, зменшити витрату цементу або (при тій же витраті цементу і рівної рухливості суміші) знизити водоцементне відношення (В/Ц) і тим самим збільшити густину, міцність, морозостійкість і водонепроникність бетону. Цей цемент широко використовують у дорожньому, аеродромному і гідротехнічному будівництві.

Сульфатостійкий портландцемент доцільно застосовувати в тих випадках, коли одночасно потрібна висока стійкість проти впливу сульфатних вод і поперемінного заморожування і відтавання, висихання і зволоження в прісній або слабомінералізованій воді.

Білий і кольоровий портландцементи - це декоративні в'язучі матеріали, використання яких в будівництві дозволяє поліпшити естетичний вигляд будівель і споруд при менших витратах, ніж з іншими оздоблювальними матеріалами.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Портландцементи з органічними поверхнево-активними добавками отримують шляхом сумісного помелу портландцементного клінкеру, гіпсу та невеликої кількості (0,1 - 0,3% від маси цементу) добавок поверхнево-активних речовин (ПАР). Відповідно до ГОСТ 10178-85 допускається за погодженням із споживачем випускати не тільки портландцемент, але всі цементи з поверхнево-активними добавками, не виділяючи їх в особливий клас. Основне призначення добавок ПАР зводиться до підвищення пластичності цементного тіста, розчинних і бетонних сумішей при тому ж вмісті в них води, або до зниження водопотреби суміші і витрати цементу при збереженні заданої рухливості і проектної міцності бетону. Разом з тим ПАР роблять позитивний вплив на формування структури цементного каменю і сприяють підвищенню морозостійкості, водонепроникності та інших властивостей бетону.

Поверхнево-активні речовини в залежності від їх впливу на властивості цементів і цементного каменю підрозділяють на гідрофільно-пластифікуючі, що підвищують змочуваність цементного порошку водою, і гідрофобно-пластифікуючі, понижуючі змочуваність. Відповідно до цього портландцементи з гідрофільними добавками називають пластифікованими, а з гідрофобними добавками - гідрофобними.

Гідрофобний цемент доцільно використовувати при виготовленні бетонів для гідротехнічного, дорожнього, аеродромного будівництва, а також у випадках, коли цемент необхідно тривало зберігати і перевозити на далекі відстані.

1.2.2 Прискорення твердіння цементу

Сучасне індустріальне будівництво потребує прискореного набору міцності при твердінні цементу, особливо при виробництві збірних конструкцій в заводських умовах. Скорочення часу набору відпускнуї міцності армоцементних виробів необхідно для більшої оборотності форм, більш

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ефективного використання устаткування і підвищення продуктивності підприємств.

На наростання міцності цементу в значній мірі впливають вид і марка цементу, склад бетонної суміші і температура [7]. Крім того, твердіння цементу на початковій стадії можна уповільнити або прискорити добавками. Технолога повинні цікавити не тільки значення міцності, що досягаються до певного моменту, але й фактори, що впливають на хід твердіння бетону в часі.

При твердінні бетону утворюється цементний гель. Цей процес протікає тим швидше, чим менше води, тобто чим більшу частку обсягу займає цемент в цементному тесті і чим швидше реагує цемент. З цієї основної залежності впливають такі закономірності:

- 1) при невеликих значеннях В/Ц цемент, а значить і бетон твердіють швидше;
- 2) за інших рівних умов жорстка суміш з невеликим вмістом води твердіє швидше, ніж суміш з високим вмістом води замішування;
- 3) при використанні цементу високої марки, як правило, з високою тонкістю помелу і високим вмістом реакційно-здатних компонентів міцність бетону зростає швидше.

На Рисунку 1.2 показано наростання міцності цементу при нормальному твердінні з різним співвідношенням води до цементу. Вихідна величина: 28 діб при В/Ц = 0,4 прийнята за 100 %.

Для прискорення твердіння цементу застосовують способи, які можна розділити на технологічні, хімічні та теплові.

Технологічні способи прискорення твердіння передбачають збільшення витрати цементу, використання швидкотвердіючих і особливо швидкотвердіючих цементів високих марок, зниження відношення В/Ц, вібропомолу цементу, застосування спеціальних способів укладання і ущільнення сумішей (пресування, вакуумування і т.д.). Однак ці прийоми, як правило, пов'язані з ускладненням виробничого процесу.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

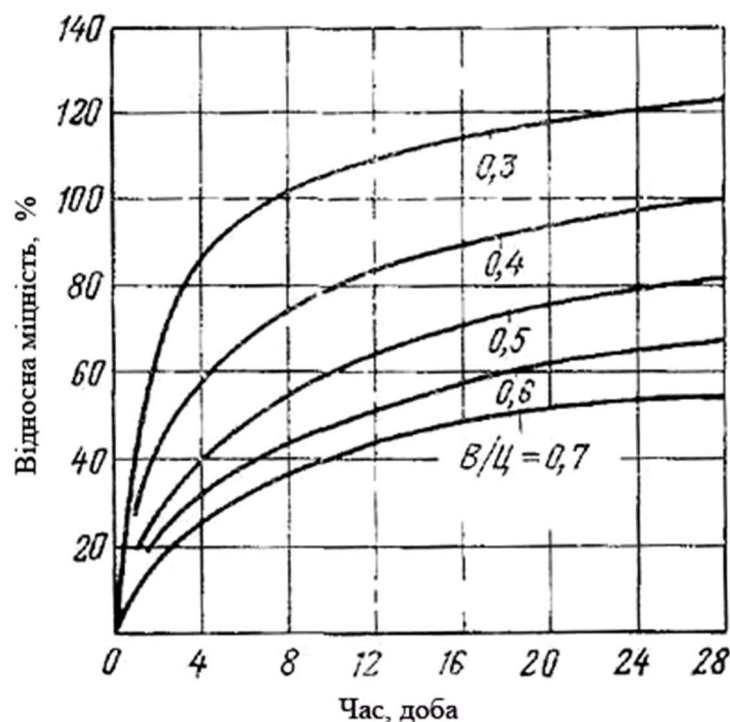


Рисунок 1.2 - Наростання міцності цементу при нормальному твердінні з різними значеннями В/Ц.

Хімічні способи прискорення твердіння засновані на введенні в суміш хімічних добавок (електролітів) - хлоридів (кальцію, натрію, амонію, заліза, алюмінію), сульфатів кальцію і натрію, лугів або солей лужних металів, рідкого скла, кристалічних затравок (тонко подрібнених частинок гідратованого цементу) та ін. Найбільш вивчена добавка - хлористий кальцій (CaCl_2), який вводиться у вигляді розчину у воду замішування при приготуванні суміші для неармованих конструкцій у кількості до 3 % від маси цементу в перерахунку на безводну сіль. Більша кількість добавки може призвести до швидкого схоплювання цементу і збільшення усадки цементного каменю.

В останні роки стали широко застосовувати комплексні добавки - прискорювачі твердіння: нітрит-нітрат кальцію (ННК), нітрит-нітрат хлориду кальцію (ННХК) і Na_2SO_4 спільно з ННХК. Перспективні також комплексні добавки, що представляють собою поєднання добавок-прискорювачів твердіння з пластифікуючими добавками і суперпластифікаторами.

Технологічні та хімічні способи прискорення твердіння бетону можна використовувати далеко не в кожному випадку і не для кожного виду виробів. Крім того, ці способи не вирішують проблеми прискорення твердіння при заводській технології виробництва цементних виробів і використовуються частіше як допоміжні. Доцільність і можливість застосування кожного з них повинна обґрунтовуватися з урахуванням економічних, технологічних і експлуатаційних показників.

Теплові способи прискорення твердіння бетону є в даний час найбільш ефективними і універсальними, а тому широко вживаними у виробництві збірних армоцементних виробів і конструкцій. До таких способів відносять: пропарювання при атмосферному тиску і підвищеній температурі й вологості навколишнього середовища; запарювання при підвищених температурі, тиску і вологості в автоклавах; контактний обігрів; електротермообробка (електропрогрівання, електрообігрів, індукційний нагрів); попередній розігрів бетонної суміші (при так званому гарячому формуванні). Перші два способи називають тепловологісною обробкою.

Сутність тепловологісних способів обробки цементних і армоцементних виробів полягає в тому, що при підвищеній відносній вологості навколишнього середовища (більше 95%) і температурі 60-100°C і більше, швидкість реакцій гідратації цементу збільшується (в 10-20 разів), процес твердіння цементу прискорюється, та вироби в більш короткий термін здобувають міцність, необхідну для їх розформовки, транспортування та монтажу.

Основні способи прискорення твердіння бетону, що дозволяють отримати необхідну міцність бетону за 2,5-14 год - пропарювання в камерах при температурі до 100°C і атмосферному тиску і запарювання в автоклавах при температурі насиченої водяної пари 160-200°C і тиску 0,6-1,3 МПа. Відмінна особливість цих способів, інтенсивний волого- і теплообмін між тепловологісним середовищем і цементом.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Контактний обігрів бетону в касетах, пакетах і термоформах здійснюють шляхом його контакту з нагрітою теплоносієм (гострою парою, перегрітою водою та ін.) формою, її окремими елементами або перегородками, при цьому виключається можливість вологообміну між тепловим середовищем і цементом.

Електротермообробка здійснюється шляхом електропрогрівання цементу при включенні його безпосередньо в електричний ланцюг в якості активного опору, електрообігріву - при використанні електронагрівачів, або індукційного нагріву - при використанні електромагнітних або електроіндукційних камер, на внутрішній або зовнішній (відповідно) поверхні яких змонтована електрообмотка.

Попередній розігрів цементної суміші, з метою скорочення тривалості або повного виключення тепловологісної обробки виробів при термосному витримуванні їх, виконують шляхом подачі пари в бетонозмішувач або інші підігріваючі пристрої.

Теплові способи прискорення твердіння бетону вимагають додаткових паливно-енергетичних витрат.

Автоклавна обробка цементних виробів, полягає у прискоренні твердіння цементу при підвищеній температурі і збереженні достатньої вологості середовища []. Температура автоклавної обробки становить $+160^{\circ}\text{C}$ і більше. Встановлено, що при 8-годинному прогріванні при температурі $174,5^{\circ}\text{C}$ і тиску 0,8 МПа цемент пов'язує таку кількість води, яке зв'язується після 2-3 місяців твердіння на повітрі. У зв'язку з цим міцність бетону, підданого автоклавній обробці, значно більше міцності бетону, що твердіє на повітрі, при збереженні інших рівних умов. Ефект автоклавної обробки підвищується при введенні в бетонну суміш мелених кремнеземистих добавок (меленого кварцового піску, золи, глини, трепелу), які хімічно взаємодіють з гідратом окису кальцію, що виділяється при твердінні портландцементу. Утворений гідросилікат кальцію збільшує вміст цементуючого речовини в бетоні. Підвищений тиск насиченої

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

пари запобігає переходу води з рідкого в пароподібний стан, завдяки чому значно прискорюються процеси твердіння цементів і утворюються нові цементуючі сполуки (гідросилікати кальцію і магнію), що підвищують міцність цементу.

1.3 Технології виготовлення корпусу армоцементних барж

Існують різні технології формування корпусу барж. Основними є:

- на пуансоні;
- в матриці;
- по каркасу, обтягнутому сталевією сіткою;
- з окремих елементів (збірна конструкція).

Перші дві технології – технології контактного формування. Це методи, при яких поєднуються стадії просочування й формування в формі. Методи полягають в тому, що на поверхню форми по черзі наноситься сполучник, а потім накладають армуючий матеріал й притискають все до поверхні форми. Притискання до форми й ущільнення здійснюється валиком вручну або механічно з метою видалення повітряних включень і рівномірного розподілу сполучника по всьому об'єму. Розміри виробів обмежуються тільки виробничими можливостями. Методи не вимагають складного встаткування. Тому основна вимога до оснащення - жорсткість конструкції, що забезпечує стабільність формуючої порожнини на всіх стадіях виготовлення.

Основні *переваги* методу:

- простота процесу й універсальність;
- можливість одержання виробів складної форми й великого розміру;
- широкий вибір постачальників і матеріалів;
- мінімальні капіталовкладення на устаткування, недорогі інструменти;
- низька вартість оснащення;

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

- для виготовлення гнізда форми може бути використаний будь-який матеріал, що зберігає свою форму;
- можна легко міняти конструкцію виробу;
- можна одержувати шаруваті конструкції;
- не потрібна дуже висока кваліфікація персоналу, простота навчання.

Основні *недоліки* методу:

- значні витрати ручної праці, низька продуктивність;
- вироби мають гладку поверхню тільки з однієї сторони;
- якість суміші цементу й модифікатору, вміст волокон дуже залежать від кваліфікації робітників;
- значний час твердіння виробу;
- труднощі в забезпеченні однорідності виробів;
- висока ймовірність повітряних включень;

Суть методу побудови базальтоцементного судна *по каркасу, обтягнутому сталеву сіткою*, в тому, що замість пуансона виготовляють каркас, що складається шпангоутів, стрингерів та інших елементів штатного набору самого судна, поверх якого натягують один шар ткані сталеві сітки. Натягнута сталева сітка утворює поверхню, на яку потім наносять шари базальтоцементу. Щоб уникнути провисання сітки між шпангоутами встановлюють тимчасові підставки.

Після виготовлення базальтоцементної обшивки сталева сітка і каркас залишаються в корпусі і складають невід'ємну частину його конструкції. Перевагою методу є те, що виключаються роботи з виготовлення пуансона.

Споруда баржі *збірної конструкції* з базальтоцементних профілів. Цей метод має ряд переваг в порівнянні з методами, описаними вище. По-перше, відпадає необхідність у виготовленні пуансона або матриці. По-друге, значно скорочується час будівництва корпусу. По-третє, можна отримати гладку поверхню обшивки судна.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

1.4 Постановка задачі

Для базальтоцементної несамохідної баржі для перевезення мінеральних грузів, вантажопідйомністю 248 т, довжиною 38,34 м, шириною 8,22 м, висотою 1,3 м:

- проаналізувати існуючі конструкції барж і матеріали, що використовують для їх виготовлення, та розглянути можливість використання базальтоцементу для баржі;
- розробити конструкцію БФБ – баржі;
- розробити технологію виготовлення деталей корпусу БФБ баржі та з'єднання її деталей;
- вибрати зносостійке покриття, його склад та технологію нанесення.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.01	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					КР.134.4161.01.ПЗ.02			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Схема виробу і діючі навантаження	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лазаренко В.М.		19.12				
Керівник		Соломонюк Н.С.		19.12				
Н. контр.		Захарова І.О.		19.12		НУК		
Зав. каф.		Бобров М.М.						

2. СХЕМА ВИРОБУ І ДІЮЧІ НАВАНТАЖЕННЯ;

2.1 Визначення складу матеріалу

Структура цементу з застосуванням базальтових волокон (базальтоцементу) близька до структури, армоцементу з арматурою із сталевих сіток. Однак базальтоцемент володіє більш високою міцністю і деформативністю [8] (Табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики матеріалів для барж.

Характеристика	Базальто-цемент	Скло-цемент	Залізо-бетон	Портландцемент М500
Модуль пружності, ГПа	27	21	4	20
Межа міцності при розтягуванні, МПа	870	620	40	5
Межа міцності при стисненні, МПа	340	240	50	52
Межа міцності при згинанні, МПа	670	770	44	6,2

Цемент

Для приготування суднобудівного бетону застосовують портланд-цемент. Марка не нижче М-500. За поділ портландцементів на марки відповідає [9]. Марка цементу позначає межу міцності. Додавання меленого кварцового піску до портландцементу при автоклавній обробці бетонів, може значно збільшити їх міцність за рахунок реакцій синтезу гідросилікатів. Тому для автоклавної обробки доцільно застосовувати піщанисті портландцементи, які містять 3°-6°% меленого піску або інших дисперсних силікатних або алюмосилікатних компонентів.

Бетони автоклавного твердіння на таких цементах мають більш високу міцність, щільність, а іноді й більшу довговічність, ніж бетони на «чистому» портландцементі.

Пластифікатор

Для підвищення технологічності цементної суміші її пластифікують. Найкращим пластифікатором є сульфітно-спиртова барда, що відповідає вимогам [3]. Ми використовуємо ССБ у порошкоподібному вигляді КБП – концентрат барди порошкоподібний. Вона підвищує рухливість цементної суміші, її легкоукладальність і морозостійкість. Пластифікатор розчиняється в воді, що призначена та відміряна для утворення цементу. Після розчинення пластифікатора у воді вводиться портландцемент і ретельно перемішується, утворюючи цементний клей, вже готовий до використання. Цементний клей варто робити в розчино змішувачах, в яких рівномірно змішаються всі компоненти.

Вода

Для приготування бетону дозволяється застосовувати водопровідну воду, а також будь-яку воду, придатну для пиття. Використання стічних, промислових і болотних вод не допускається. Для виготовлення цементного клею не дозволяється більше 100 мг/л солей.

Наповнювач

Вибір базальтового волокна, як основного матеріалу для армування пов'язаний з наступними факторами:

- базальтові волокна володіють властивостями, які по багатьом показникам перевищують скляні волокна, але значно поступаються вуглецевим волокнам;
- сировинна база для виготовлення базальтових волокон доступна і практично не обмежена;
- технологічні досягнення останніх років дозволили значно знизити собівартість виробництва безперервних базальтових волокон до рівня виробництва скляних волокон.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.02	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

У порівнянні з металом безперервне базальтоне волокно не піддається корозії. У порівнянні з скловолоком безперервне базальтоне волокно є лугостійким матеріалом. Безперервні базальтові волокна володіють високою корозійною і хімічною стійкістю до дії агресивних середовищ: розчинів солей, кислот і особливо лугів.

Таблиця 2.2 – Порівняльні характеристики різних волокон (у тканині).

Характеристики	Базальтові волокна	Е-скляні волокна	S-скляні волокна	Вуглецеві волокна
Густина, кг/м ³	2600-2800	2540-2600	2520-2590	1790-1880
Границя міцності на розрив, МПа	3000-4840	3100-3800	4020-4650	3500-6000
Подовження при розриві, %	3,1	4,7	5,3	1,5-2,0
d волокна, мкм	6-21	6-21	6-21	5-15
Температура використання, °C	-260 до +600	-50 до +380	-50 до +300	-50 до +700
Ціна, грн/м ²	~200	~150	~200	Від 2000

Проаналізувавши таблицю 2.2. вище можна зробити наступні висновки: При виробництві скловолокон використовується особливо дефіцитний компонент - окис бору (B_2O_3). Вуглецеві волокна досить дорогі для масового застосування в промисловості і будівництві.

Безперервні базальтові волокна за своїми показниками займають проміжну позицію між цими типами волокон. Тому базальтові волокна є найбільш оптимальними для завдання за показником співвідношення ціни і якості.

У якості армуючої структури буде використане базальтова тканина ТБК - 100.

Механічні властивості базальтової тканини ТБК-100 визначаються характеристиками базальтового волокна, яке за міцністю значно перевищує скловолокно.

Основні показники міцності (згідно з ТУ) [] представлено у таблиці 2.3:

Таблиця 2.3 – Властивості базальтової тканини БТ – 11.

Показник	Значення
Розривне навантаження (по основі і по качку)	784 Н
Питома міцність	2100–4840 МПа
Модуль пружності	80–115 ГПа
Подовження при розриві	2,4–3,15 %
Термомеханічна стабільність	+600...700°C
поверхнева щільність тканини	210 ± 20 г/м ²
Зносостійкість	тканина стійка до механічного тертя та вібрацій
Стійкість до агресивних середовищ	механічні властивості зберігаються при контакті з лугами та кислотами

Завдяки цим властивостям БТ-11 є ефективною заміною склотканин у виробництві базальтопластиків та вогнетривких конструкцій.

Характеристики базальтобетону (КЗО 20%):

$\sigma_R=870$ МПа межа міцності базальтоцементу при розтягуванні

$\sigma_S=340$ МПа межа міцності базальтоцементу при стисненні

$\sigma_I=670$ МПа межа міцності базальтоцементу при згинанні

$E=27$ ГПа модуль пружності

2.2 Розрахунок згинальних моментів в стандартних робочих ситуаціях

2.2.1 Розрахунок загальної поздовжньої міцності

На рисунку 2.1 приведені схеми напружень, що виникають в корпусі судна під час його експлуатації, зберігання і транспортування [10].

Розрахунок згинальних моментів на мідель-шпангоуті баржі проводиться відповідно до [10].

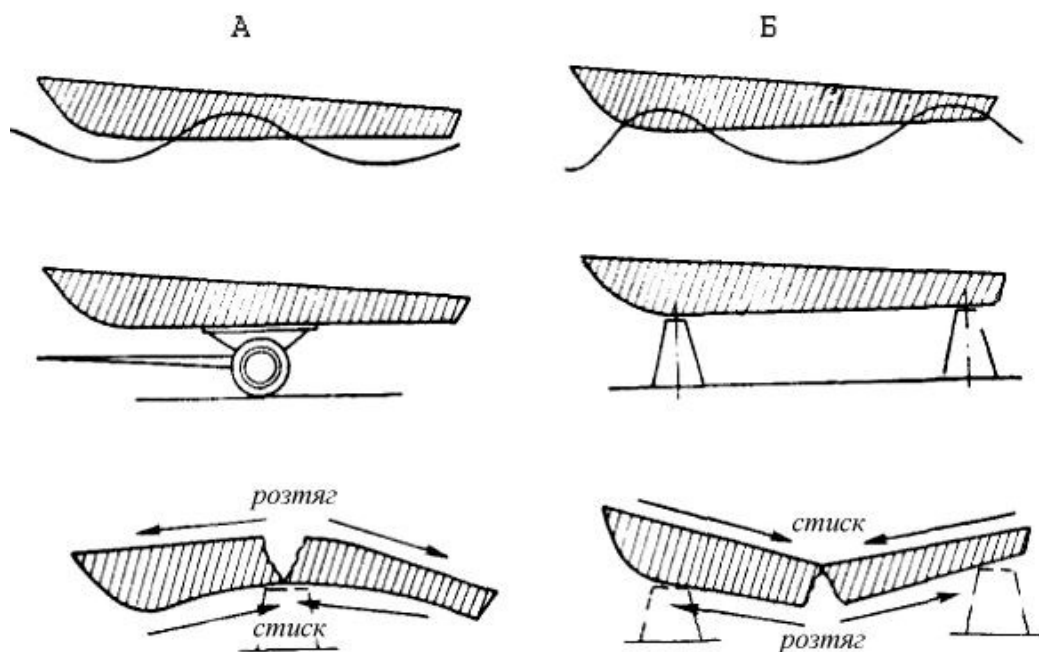


Рисунок 2.1- Схеми напружень, що виникають в корпусі судна під час експлуатації, транспортування та зберігання: А – на одній опорі; Б – на двох опорах.

Знайдемо згинальні моменти на тихій воді для середньої частини судна:

для перегину - $M_{sw} = f \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_v + 0.7) = 11\,641.76 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$

для прогину - $M_{sw} = f \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_v + 0.7) = 13\,304.87 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$, де

$B = 8.22 \text{ м}$ – ширина

$L = 38.34 \text{ м}$ – довжина

$f = 0.07$ – при перегині

$f = 0.08$ – при прогині

Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.5116м.01.ПЗ.02

Лист

$C_w = 9.3$ – розрахункова висота хвилі [7].

Хвильові згинальні моменти перерізуючої сили:

- що викликають перегин судна

$$M_w = 190 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot C_v \cdot \alpha \cdot 10^{-3} = 16\,653.56 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$$

- що викликають прогин судна

$$M_w = -190 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot C_v \cdot \alpha \cdot 10^{-3} = -18\,294.19 \text{ (кН}\cdot\text{м)}, \text{ де } \alpha = 1$$

Хвильові перерізуючі сили:

позитивні - $N_w = 30 \cdot C_w \cdot B \cdot L \cdot (C_v + 0.7) \cdot f_1 \cdot 10^{-2} = 1041 \text{ (кН)}$

негативні - $N_w = -30 \cdot C_w \cdot B \cdot L \cdot (C_v + 0.7) \cdot f_1 \cdot 10^{-2} = -1041 \text{ (кН)}, \text{ де } f_1 = 0.8$

Сумарні розрахункові згинальні моменти:

для перегину - $M_y = |M_{sw} + M_w| = 11641.76 + 16653.56 = 28295 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$

для прогину - $M_y = |M_{sw} + M_w| = 13304.87 - 18294.19 = 4989 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$

На рисунку 2.2 приведено поперечний переріз баржі:

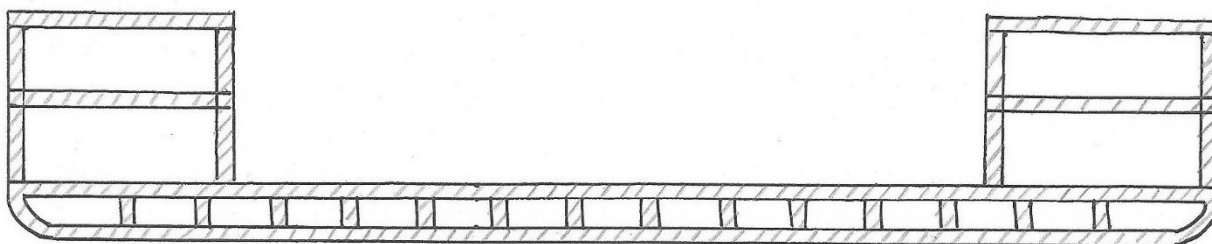


Рисунок 2.2 – Поперечний переріз несамохідної армоцементної баржі

2.2.2 Розрахунок місцевих міцності на згин та втрати стійкості

Міцність на згин.

Прогин в центрі пластини знайдемо за формулою: $v = \delta^2/6$

Згинальні моменти (де t – менший з геометричних розмірів сторін навантаженої пластини): $M_x = C_1 \cdot q \cdot t_2$, $M_y = C_2 \cdot q \cdot t_2$.

$C_1 = 0.12$, $C_2 = 0.04$ – коефіцієнти для згинальних моментів шарнірно опертої прямокутної пластини під рівномірним тиском q (коефіцієнт Пуассона $\nu=0.3$) [7];

Напруження по осях: $\sigma_x = M_x/V$ $\sigma_y = M_y/V$

Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.5116м.01.ПЗ.02

Лист

Місцева втрата стійкості.

Критична сила для шарнірно опертої прямокутної пластинки:

$P = 4 \cdot \pi \cdot D/h$, (де h – розмір сторони, до якої прикладено стискаюче навантаження)

Критичне напруження для перегину і прогину знаходимо за формулою:

$$\sigma_{кр} = K \cdot \pi^2 \cdot D / (h^2 \cdot \delta)$$

Діюче навантаження стиснення: $\sigma_3 = M/W_{палуб}$

2.3 Математичні моделі для розрахунку конструкції баржі

2.3.1 Небезпечні напруження загальних згинальних моментів

Знайдемо переносні моменти інерції (Рисунок 2.3):

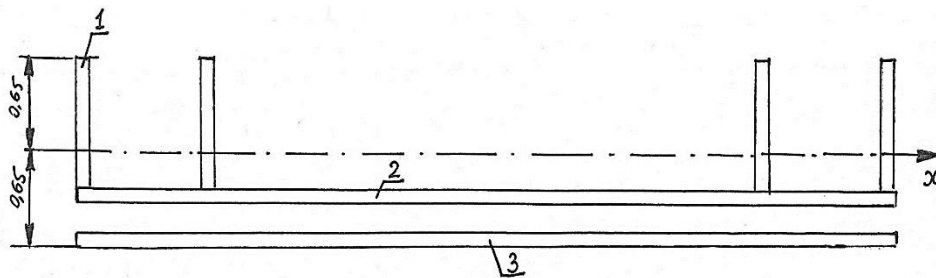


Рисунок 2.3 – Спрощена схема поперечного перерізу для пошуку переносних моментів інерції:

1- бортові пластини, 2– пластина другого дна, 3 – пластина дна.

Переносний момент інерції борта 4 шт:

$$I_{11}(\delta, b, H) := \left[\delta + \frac{(1.51 \cdot \delta \cdot b)}{2 \cdot (1.3 - H)} \right] \cdot \frac{(1.3 - H)^3}{12} + (1.3 - H) \cdot \left[\delta + \frac{(1.51 \cdot \delta \cdot b)}{2 \cdot (1.3 - H)} \right] \cdot e_1(H)^2$$

Відстань до осі $e_1(H) := 0.65 - \frac{(1.3 - H)}{2}$

Переносний момент інерції другого дна:

$$I_{22}(\delta, a, H) := \frac{8.22}{12} \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]^3 + 8.22 \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right] \cdot e_2(\delta, a, H)^2$$

Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.5116м.01.ПЗ.02

Лист

відстань до осі
$$e2(\delta, a, H) := 0.65 - H + \frac{\left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]}{2}$$

Переносний момент інерції дна:

$$I3(\delta, a, H) := \frac{8.22}{12} \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]^3 + 8.22 \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right] \cdot e3(\delta, a, H)^2$$

відстань до осі
$$e3(\delta, a, H) := 0.65 - \frac{\left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]}{2}$$

Сумарний переносний момент інерції:

$$I(\delta, a, b, H) := 4 I1(\delta, b, H) + I2(\delta, a, H) + I3(\delta, a, H)$$

Знайдемо момент опору:

$$W(\delta, a, b, H) := \frac{I(\delta, a, b, H)}{0.65}$$

Тепер можна знайти небезпечні напруження від згинальних моментів:
для перегину

$$\sigma1(\delta, a, b, H) := \frac{M1}{W(\delta, a, b, H)} \quad \sigma1(\delta, a, b, H) \leq \sigma R$$

для прогину
$$\sigma2(\delta, a, b, H) := \frac{M2}{W(\delta, a, b, H)} \quad \sigma2(\delta, a, b, H) \leq \sigma S$$

2.3.2 Небезпечні напруження для пластин другого дна (прогин та згинальні моменти в центрі пластини).

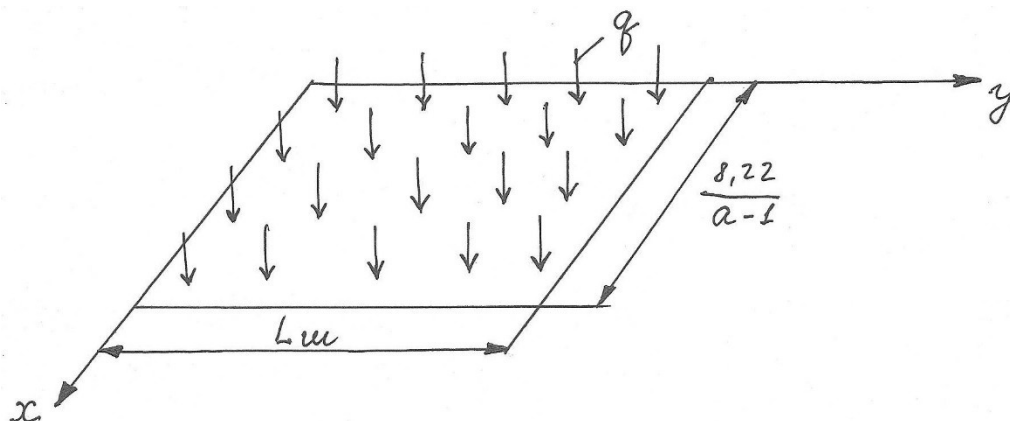


Рисунок 2.4 – Завантажена пластина другого дна.

Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.5116м.01.ПЗ.02

Лист

$q = (248 \cdot 103 \cdot g)/30.785$ – сила, з якою вантаж діє на пластину другого дна (борту);

$g = 9.8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

Прогин в довільній точці пластини $V(\delta) := \frac{\delta^2}{6}$

Згинальні моменти знайдемо по формулам:

$$M_x(a) := C1 \cdot q \cdot \left(\frac{8.22}{a-1} \right)^2 \quad M_y(a) := C2 \cdot q \cdot \left(\frac{8.22}{a-1} \right)^2$$

Напруження по осі X $\sigma_x(\delta, a) := \frac{M_x(a)}{V(\delta)}$

Напруження по осі Y $\sigma_y(\delta, a) := \frac{M_y(a)}{V(\delta)}$

Небезпечні напруження для бортової пластини (прогин та згинальні моменти в центрі пластини. Рисунок 2.5);

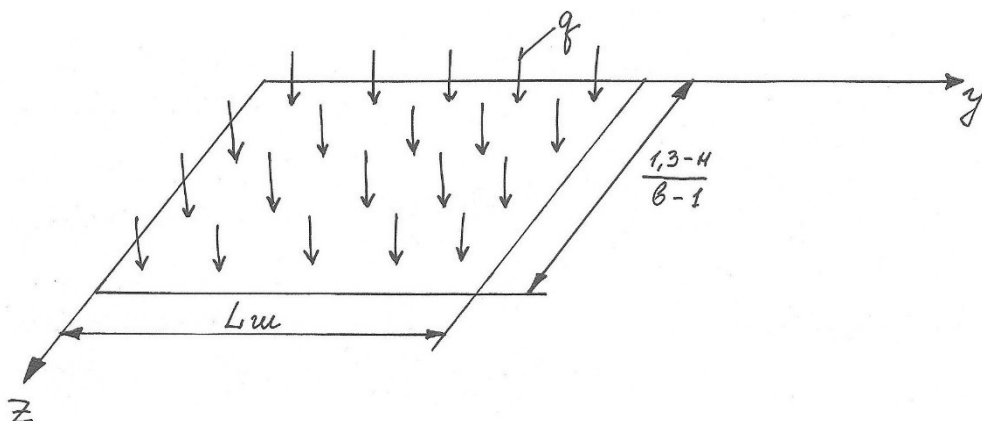


Рисунок 2.5 – Завантажена пластина борту.

Згинальні моменти:

$$M_{xB}(b, H) := C1 \cdot q \cdot \left(\frac{1.3 - H}{b-1} \right)^2 \quad M_{yB}(b, H) := C2 \cdot q \cdot \left(\frac{1.3 - H}{b-1} \right)^2$$

$$\sigma_{xB}(\delta, b, H) := \frac{M_{xB}(b, H)}{V(\delta)}$$

Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.5116м.01.ПЗ.02

Лист

Напруження по осі X

Напруження по осі Y

$$\sigma_{yB}(\delta, b, H) := \frac{M_{yB}(b, H)}{V(\delta)}$$

Умови міцності:

$$\sigma_x(\delta, a) \leq \sigma_l$$

$$\sigma_{xB}(\delta, b, H) \leq \sigma_l$$

$$\sigma_y(\delta, a) \leq \sigma_l$$

$$\sigma_{yB}(\delta, b, H) \leq \sigma_l$$

2.3.3. Критичні напруження втрати стійкості

Критична сила для шарнірно опертої прямокутної пластинки – $P=4\pi D/h$

Модуль пружності – $E=27\text{ГПа}$

Жорсткість

$$D(\delta) := \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$$

Для стиснутої прямокутної пластини (Рисунок 2.6) критичне напруження при перегині буде:

$$\sigma_4(\delta, a) := 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D(\delta)}{\left(\frac{8.22}{a-1}\right)^2 \cdot \delta}$$

Напруження перегину знайдемо по формулі:

$$\sigma_3(\delta, a, b, H) := \frac{M_1 \cdot 0.65}{I(\delta, a, b, H)}$$

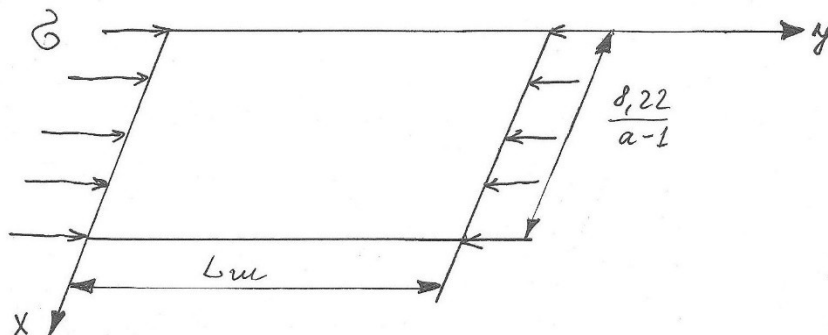


Рисунок 2.6 – Схема стиснутої пластинки другого дна.

Умова міцності –

$$\sigma_3(\delta, a, b, H) \leq \sigma_4(\delta, a)$$

Для стиснутої прямокутної пластини (Рисунок 2.7) критичне напруження при прогині буде:

$$\sigma_6(\delta) := 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D(\delta)}{1.5 l^2 \cdot \delta}$$

Напруження прогину знайдемо по формулі:

$$\sigma_5(\delta, a, b, H) := \frac{M \cdot 0.65}{I(\delta, a, b, H)}$$

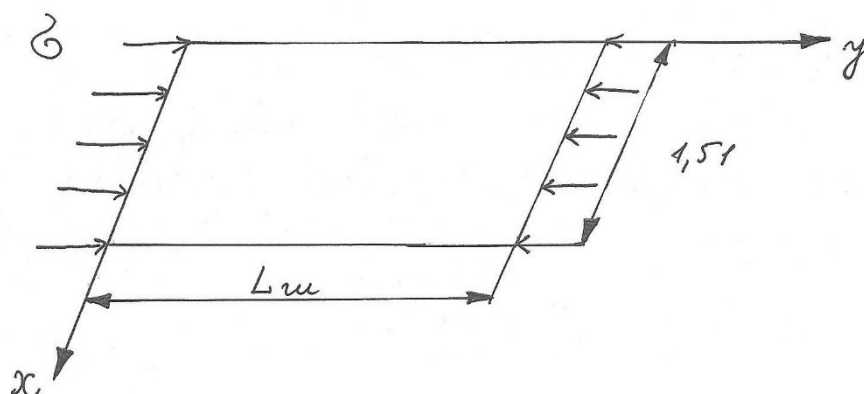


Рисунок 2.7 – Схема стиснутої пластинки палуби.

Умова міцності – $\sigma_5(\delta, a, b, H) \leq \sigma_6(\delta)$

2.4 Висновки за розділом

1. Обґрунтовано вибір матеріалу, зроблено порівняльну характеристику з іншими типовими матеріалами для вироблення несамохідної баржі-площадки.
2. Приведені характеристики матеріалу, який використовується для створення несамохідної баржі з базальтоцементу.

Характеристики базальтоцементу (КЗО 20 %):

$\sigma_R=870$ МПа межа міцності базальтоцементу при розтягуванні

$\sigma_S=340$ МПа межа міцності базальтоцементу при стисненні

$\sigma_I=670$ МПа межа міцності базальтоцементу при згинанні

$E=270$ ГПа модуль пружності

$\rho=2223$ кг/м³

3. В якості армуючого матеріалу прийнято використовувати однонаправлене базальтове волокно (17%), а в якості матриці – пластифікований портландцемент марки М-500 (61%) з додаванням меленого кварцового піску (3%).

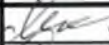
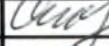
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.5116м.01.ПЗ.02

Лист

4. Розраховано небезпечні навантаження, що діють на баржу під час експлуатації, міцність, жорсткість і стійкість за математичними моделями, за якими проводитиметься подальша оптимізація об'єкту.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.02	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					КР.134.4161.01.ПЗ.03			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Конструювання виробу	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лазаренко В.М.		19.12				
Керівник		Соломонюк Н.С.		19.12				
Н. контр.		Захарова І.О.		19.12		НУК		
Зав. каф.		Бобров М.М.						

3. КОНСТРУЮВАННЯ БАРЖІ

3.1 Визначення складу конструкції баржі

На рис.3.1 представлено поперечний переріз несамохідної баржі-площадки з базальтоцементу.

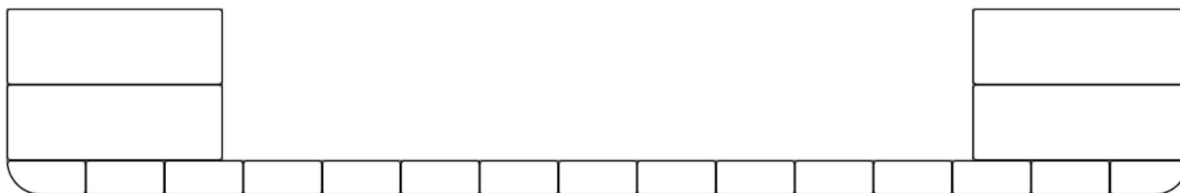


Рис. 3.1 – Мідель-шпангоут базальтоцементної баржі

Пропонується оптимізувати елементи поперечного перерізу баржі. Мета оптимізації: мінімізувати площу поперечного перерізу. Перевіряється відповідність отриманих результатів умовам міцності та визначається можливий ступінь завантаженості баржі.

3.2 Формалізація задачі

Параметрами оптимізації є геометричні розміри перерізу. При виконанні оптимізації необхідно забезпечити виконання умов міцності і жорсткості, а також умов стійкості.

Дано:

Згинальний момент для перегину - $M_y = 28\,295 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Згинальний момент для прогину - $M_y = 4\,989 \text{ кН} \cdot \text{м}$

$g = 9.8 \text{ м/с}^2$ прискорення вільного падіння

$\nu = 0.3$ коефіцієнт Пуассона

Для проведення оптимізації необхідно ввести обмеження:

$$1 \leq a \leq 100 \quad 1 \leq b \leq 90 \quad 0.25 \leq H \leq 1.3 \quad 0.001 \leq \delta \leq 0.1$$

$$\sigma_1(\delta, a, b, H) \leq \sigma_R$$

$$\sigma_x(\delta, a) \leq \sigma_l$$

$$\sigma_2(\delta, a, b, H) \leq \sigma_S$$

$$\sigma_y(\delta, a) \leq \sigma$$

$$\sigma_5(\delta, a, b, H) \leq \sigma_6(\delta)$$

$$\sigma_{yB}(\delta, b, H) \leq \sigma_l$$

$$\sigma_3(\delta, a, b, H) \leq \sigma_4(\delta, a)$$

$$\sigma_{xB}(\delta, b, H) \leq \sigma_l$$

3.3 Деталізація результатів оптимізації

Оптимізація параметрів проведена за допомогою програми Mathcad

Параметрами варіювання:

H – висота другого борта, м

a – кількість дніщевих стрингерів

b – кількість бортових стрингерів

δ – товщина базальтоцементного шару, м.

Цільова функція – площа базальтоцементу у поперечному перерізі:

$$F(\delta, a, b, H) := 8.22 \cdot \delta \cdot 2 + H \cdot \delta \cdot a + (1.3 - H) \delta \cdot 4 + 1.51 \cdot \delta \cdot b \cdot 2$$

Прийmemo початкові наближення:

$$a = 6$$

$$b = 5$$

$$H = 0.3 \text{ м}$$

$$\delta = 0.04 \text{ м}$$

Розрахункові формули:

$$D(\delta) := \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \quad q := \frac{248000 \cdot g}{30.78 \cdot 5.2}$$

$$C1 = 0.12$$

$$C2 = 0.04$$

Розташування нейтральних осей для частин поперечного перерізу балки

$$e1(H) := 0.65 - \frac{(1.3 - H)}{2} \quad e2(\delta, a, H) := 0.65 - H + \frac{\left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]}{2}$$

$$e3(\delta, a, H) := 0.65 - \frac{\left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]}{2}$$

Моменти інерції для перерізу баржі

$$I1(\delta, b, H) := \left[\delta + \frac{(1.51 \cdot \delta \cdot b)}{2 \cdot (1.3 - H)} \right] \cdot \frac{(1.3 - H)^3}{12} + (1.3 - H) \cdot \left[\delta + \frac{(1.51 \cdot \delta \cdot b)}{2 \cdot (1.3 - H)} \right] \cdot e1(H)^2$$

$$I2(\delta, a, H) := \frac{8.22}{12} \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]^3 + 8.22 \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right] \cdot e2(\delta, a, H)^2$$

$$I3(\delta, a, H) := \frac{8.22}{12} \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right]^3 + 8.22 \cdot \left[\delta + \frac{(H \cdot \delta \cdot a)}{2 \cdot 8.22} \right] \cdot e3(\delta, a, H)^2$$

Сумарний момент інерції перерізу

$$I(\delta, a, b, H) := 4 \cdot I1(\delta, b, H) + I2(\delta, a, H) + I3(\delta, a, H)$$

Момент опору перерізу

$$W(\delta, a, b, H) := \frac{I(\delta, a, b, H)}{0.65}$$

Максимальні напруження в перерізі

$$\sigma1(\delta, a, b, H) := \frac{M1}{W(\delta, a, b, H)}$$

$$\sigma2(\delta, a, b, H) := \frac{M2}{W(\delta, a, b, H)}$$

Згинальні моменти перегину і прогину

$$Mx(a) := C1 \cdot q \cdot \left(\frac{8.22}{a - 1} \right)^2 \quad My(a) := C2 \cdot q \cdot \left(\frac{8.22}{a - 1} \right)^2$$

Напруження по осі x та y пластини II-го дна

$$\sigma x(\delta, a) := \frac{Mx(a)}{V(\delta)}$$

$$\sigma y(\delta, a) := \frac{My(a)}{V(\delta)}$$

$$V(\delta) := \frac{\delta^2}{6}$$

Напруження по осі x пластини борта

$$MxB(b, H) := C1 \cdot q \cdot \left(\frac{1.3 - H}{b - 1} \right)^2$$

$$MyB(b, H) := C2 \cdot q \cdot \left(\frac{1.3 - H}{b - 1} \right)^2$$

$$\sigma xB(\delta, b, H) := \frac{MxB(b, H)}{V(\delta)}$$

$$\sigma yB(\delta, b, H) := \frac{MyB(b, H)}{V(\delta)}$$

Напруження втрати стійкості для перегину

$$\sigma3(\delta, a, b, H) := \frac{M1 \cdot 0.65}{I(\delta, a, b, H)}$$

$$\text{Критичні напруження для перегину} \quad \sigma_4(\delta, a) := 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D(\delta)}{\left(\frac{8.22}{a-1}\right)^2 \cdot \delta}$$

$$\text{Напруження втрати стійкості для прогину} \quad \sigma_5(\delta, a, b, H) := \frac{M_2 \cdot 0.65}{I(\delta, a, b, H)}$$

$$\text{Критичні напруження для прогину} \quad \sigma_6(\delta) := 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D(\delta)}{1.51^2 \cdot \delta}$$

В результаті оптимізації за вище вказаними параметрами

$$\begin{pmatrix} \delta \\ a \\ b \\ H \end{pmatrix} := \text{Minimize}(F, \delta, a, b, H)$$

$$\text{Отримано наступні результати по розмірам перерізу баржі} \quad \begin{pmatrix} \delta \\ a \\ b \\ H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 13.964 \\ 1.445 \\ 0.25 \end{pmatrix} \text{ (м)}$$

Згідно операції оптимізації прийнято наступні значення конструктивних параметрів: $a = 14$ $b = 2$ $H = 0.25 \text{ м}$ $\delta = 0.01 \text{ м}$

Після прийняття значень результатів оптимізації, проведемо розрахунки діючих та критичних напружень. Отримані результати представлені у таблиці 3.1 для площі поперечного перерізу $F(\delta, a, b, H) = 0.296 \text{ м}^2$

Таблиця 3.1 – Напруження, отримані в результаті оптимізації

Характер напружень	Значення, МПа
для перегину	$\sigma_1(\delta, a, b, H) = 264$
для прогину	$\sigma_2(\delta, a, b, H) = 46.5$
по осі x пластини II-го дна	$\sigma_x(\delta, a) = 40.4$
по осі y пластини II-го дна	$\sigma_y(\delta, a) = 13.5$
по осі x пластини борта	$\sigma_{xB}(\delta, b, H) = 670$

Характер напружень	Значення, МПа
по осі у пластини борта	$\sigma_{yB}(\delta, b, H) = 223.3$
втрати стійкості для перегину	$\sigma_3(\delta, a, b, H) = 264$
критичні для перегину	$\sigma_4(\delta, a) = 264$
втрати стійкості для прогину	$\sigma_5(\delta, a, b, H) = 46.54$
критичні для прогину	$\sigma_6(\delta) = 46.6$

Знайдені величини напружень відповідають умовам міцності (таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 – Порівняння діючих напружень з умовами міцності [12]

Діюче напруження, МПа	Критичне напруження, МПа	Ступінь недовантаженості, φ , %
$\sigma_1(\delta, a, b, H) = 264$	$\sigma_R = 870$	69
$\sigma_2(\delta, a, b, H) = 46.5$	$\sigma_S = 340$	80
$\sigma_x(\delta, a) = 40.4$	$\sigma_I = 670$	90
$\sigma_y(\delta, a) = 13.5$	$\sigma_I = 670$	95
$\sigma_{xB}(\delta, b, H) = 670$	$\sigma_I = 670$	0
$\sigma_{yB}(\delta, b, H) = 223.3$	$\sigma_I = 670$	65
$\sigma_3(\delta, a, b, H) = 264$	$\sigma_4(\delta, a) = 264$	0
$\sigma_5(\delta, a, b, H) = 46.54$	$\sigma_6(\delta) = 46.6$	0

3.4. Висновки за розділом

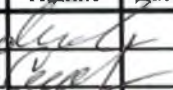
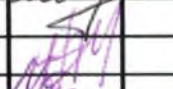
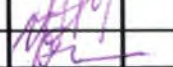
1. За результатами оптимізаційних розрахунків вибрано параметри поперечного перерізу баржі-площадки з базальтоцементу

- висота другого борта $H = 0.25$ м,
- кількість дніщевих стрингерів $a = 14$
- кількість бортових стрингерів, $b = 2$
- товщина базальтоцементного шару $\delta = 1$ мм

					КР.135.5116м.01.ПЗ.03	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

2. Перевірено відповідність отриманих результатів умовам міцності та знайдено ступінь завантаженості конструкції.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.03	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					КР.134.4161.01.ПЗ.04			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технологічного процесу для виготовлення баржі-площадки	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лазаренко В.М.						
Керівник		Соломонюк Н.С.						
Н. контр.		Захарова І.О.			НУК			
Зав. каф.		Бобров М.М.						

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БАРЖІ-ПЛОЩАДКИ

4.1 Визначення частин баржі для поетапного формування корпусу

Баржа має великий габаритний розмір, який не дає можливості використовувати стандартні методи формування корпусу, наприклад у матриці чи на пуансоні. Тому прийнято рішення, поетапного формування елементів баржі, та наступного їхнього збирання методом приформовки частин баржі.

Спочатку методом пултрузії виготовляються прямокутні профілі товщиною $1/2\delta = 0,005$ м, загальною кількістю 68 штук: 52 днищевих (Рис.4.1 а) і 16 бортових (Рис. 4.1 б) довжиною 9,32 м.

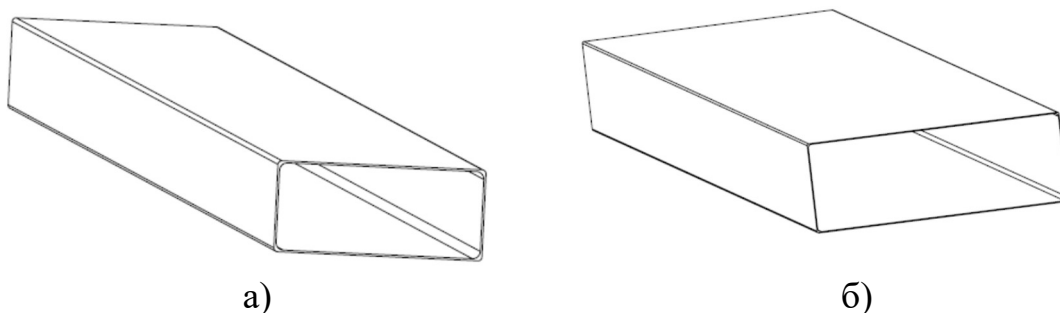


Рис. 4.1 – Зовнішній вигляд профілів з яких складається конструкція баржі
а – днищові, б - бортові

Потім методом пултрузії виготовляються вилиці, для плавного з'єднання днищевих і бортових елементів баржі. Ці вилиці виготовляються товщиною 5 мм, та довжиною 2 шт по 7,2 м і 8шт по 9,32 м (Рис.4.2), приформовуються одна до одної та до днищевій конструкції базальтоцементом.

В автоклаві відбувається остаточне твердіння усіх елементів конструкції баржі.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

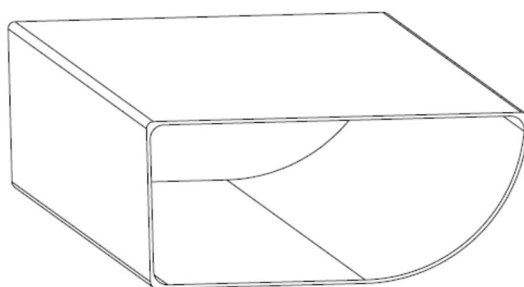


Рис.4.2 – Зовнішній вигляд виличних профілів баржі

Окремо методом викладки виготовляється 4 округлені форми, які з'єднують бортові секції з носовими і кормовими (Рис. 4.3). Товщина секцій 2°мм.

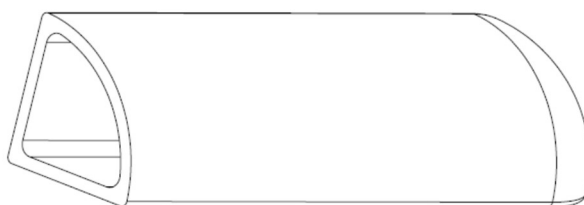


Рис.4.3 – З'єднуючі частини базальтоцементної баржі

Після повного твердіння всіх елементів конструкції корпусу баржі на збірному стапелі склеюються прямокутні профілі, що утворює конструкцію дна баржі. Далі приформовуються вилиці по периметру дна та обформовуються базальтоцементом товщиною $0,5\delta = 5 \text{ мм}$.

Після твердіння конструкція перевертається. Приклеюються прямокутні профілі, що утворюють бортову та палубну частини баржі та знову обформовується вже зібрана конструкція несамохідної баржі повністю.

У процесі формування палубних деталей заформовуються закладні деталі під допоміжні пристрої, на кшталт підйомного, буксировочного, кнехтів. Після повного твердіння основного корпусу, встановлюються допоміжні пристрої та закладні деталі.

4.2 Отримання елементів конструкції несамохідної баржі з базальтобетону методом пултрузії

4.2.1 Метод пултрузії

Пултрузія - це технологія виробництва композитних виробів з постійною площею поперечного перерізу на основі волокон скла, вуглецю, базальту і смол. Процес пултрузії - це автоматизований безперервний процес, що вимагає невеликих трудових витрат. Це одна з найбільш гнучких технологій, але в той же час найменш розповсюджена та відома [11].

Пултрузійний установка включає в себе (Рисунок 4.4): В якості КМ використовуємо базальтоволокно і цементну суміш.

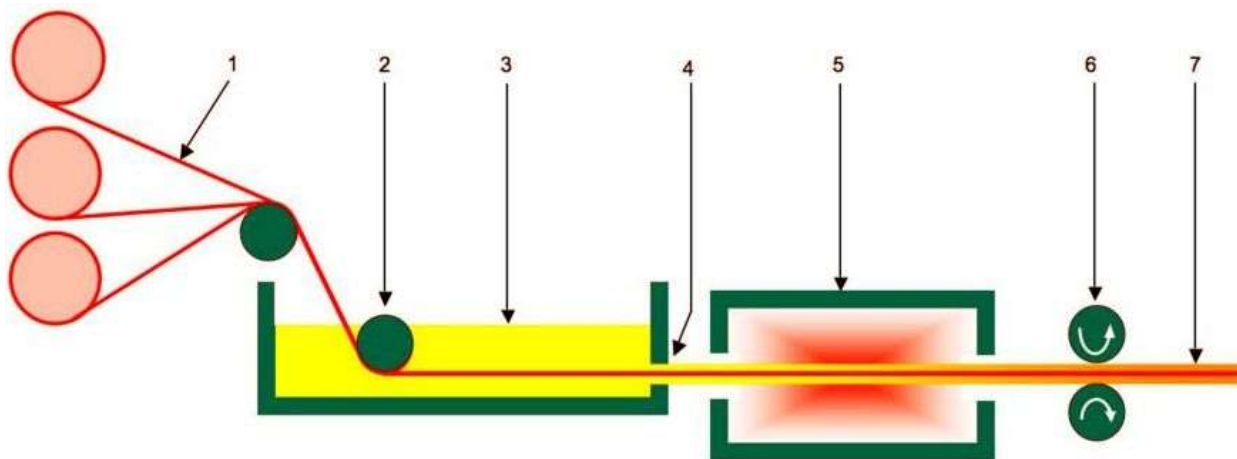


Рисунок 4.4 – Будова пултрудера:

1 – система подачі волокна, 2 – натяжний ролик, 3 – полімерна ванну, 4 – преформувальний пристрій, 5 – нагріта фільеру (пресформу), 6 –синхронізована тягнуча машина, 7 – відрізна машина.

В даний час існують пултрузійні машини з розмірами робочої зони від 305×100 мм (зусилля протягання 5,5 тон) до 2795 × 655 мм (зусилля протягання 45,3 тон). На рисунку 4.5 вказана схема пултрузійного виробництва.

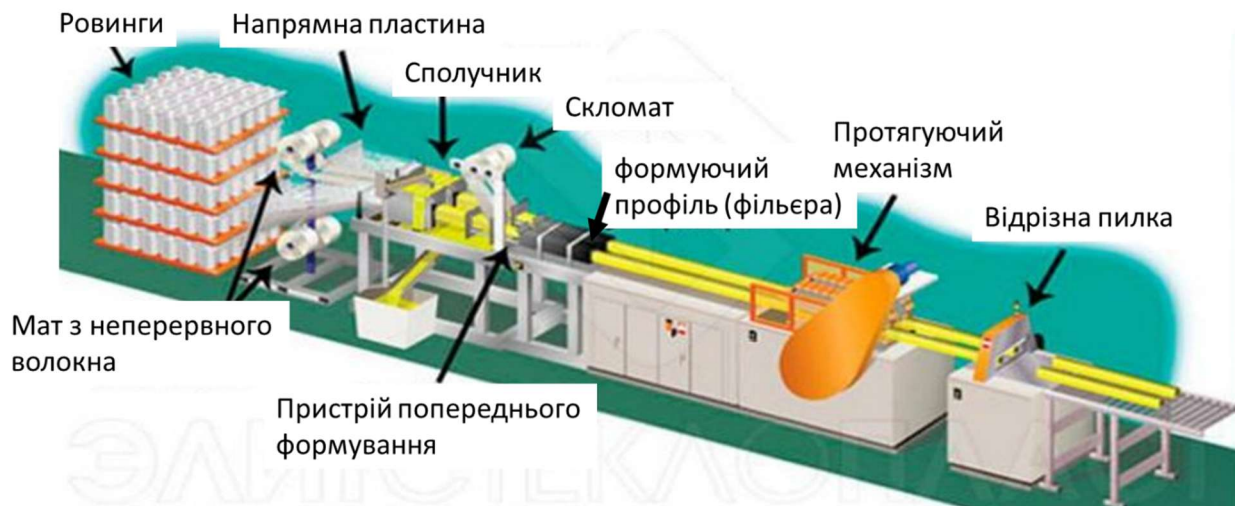


Рисунок 4.5 - Схема пултрузійної лінії

Ми використовуємо пултрузійну машину МРІ 25 (Рисунок 4.6). Із зусиллям протягання 11,3 тонн, швидкістю протягання 2,1 м/хв., та розмірами робочої зони 1560×550 мм.



Рисунок 4.6 - Пултрузійна машина МРІ 25

Технологічний процес виготовлення методом пултрузії складається з наступних операцій:

- підготовка робочих місць і приміщень;
- підготовка армуючих матеріалів та котушок з базальтовим волокном;
- готування сполучників та добавок;

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

- підготовка пултрузійної лінії та оснащення;
- введення параметрів лінії та встановлення філь'єри;
- відрізання профілю та твердіння виробу;
- контроль технологічного процесу і якості виробу

Підготовка армуючих матеріалів

Контроль вихідної арматури. Випробування її на відповідність паспортним даним: перевірка механічних характеристик, розмірів, номера нитки, вміст вологи.

Тип армуючого матеріалу – однонаправлена базальтова тканина, базальтова тканина БТ-11, що надходять у вигляді великих рулонів постійної ширини. Її характеристики представлені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Властивості базальтової тканини БТ-11 [12]

Показник	Значення
Ширина, см	100±2
Товщина тканини, мм	0,27±0,03
Маса одиниці площі г/м ²	380±25
Щільність тканини	
- за основою	18±1
- за вутком	9±1
Розривне навантаження	
- за основою	784
- за вутком	784
Робоча температура, °С	700

Підготовка сполучника

В якості сполучника для виготовлення базальтоцементної баржі

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

використовується пластифікований цементний клей на основі портланд-цементу М-500. Найкращим пластифікатором є сульфітно-спиртова барда (використовується у порошкоподібному вигляді КБП – концентрат барди порошкоподібний). Пластифікатор розчиняється в воді, що призначена та відміряна для утворення цементу. Після розчинення пластифікатора у воді вводиться портландцемент і ретельно перемішується, утворюючи цементний клей, вже готовий до використання [13].

Цементний клей варто робити в розчино-змішувачах, в яких рівномірно змішаються всі компоненти.

Підготовка оснащення

- Перевірка котушок з ровінгом та натяг ниток з допомогою динамометра
- Перевірка у цементній ванній готових сполучників
- Встановлення фільтри та температури у ній
- Перевірка тягнучого та відрізного пристрою

Формування виробу

Волоконні нитки або мати подаються з котушок і пропускаються через цементну ванну, де вони просочуються цементним клеєм. Потім просочені цементним клеєм волокна пропускаються через преформовочний пристрій, який надає волоконно-цементному складу бажану форму прямокутних профілів і вирівнює волокна.

Після проходження преформовочних пристроїв волокна і незатверділий цементний клей пропускаються через пресформу (фільтру). Вхідна зона фільтри при певних режимах охолоджується водою. Кілька комплектів нагрівачів, що знаходяться в прямому контакті з фільтри, створюють 10 зон нагріву і забезпечують оптимальний для процесу гідратації температурний профіль. Температурний профіль задає система управління залежно від виробу і

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

швидкості протягання. Як і процесі екструзії, під час пултрузії виникають ефекти саморазогріву (екзотермічна реакція в цементі).

Кінцевий продукт, що виходить з фільери - це сильно отверділий продукт, який не потребує обробки. Отверділий продукт витягується з фільери витяжною машиною і в відрізній машині розрізається на готові до використання сегменти. Параметри переробки оказують значний вплив на цілісність композитного виробу. Правильний вибір швидкості протягування, температурний профіль фільери, оптимальний обсяг волокна, вибір і сумісність волокон і матриці, хороша упаковка волокон, кінетичні властивості цементного клею і правильне просочування цементним клеєм є ключовими факторами, що визначають якість продукту.

Отже, знаючи продуктивність обраної пултрузійної машини можна порахувати час, за який буде виготовлено комплект профілів для однієї базальтоцементної баржі.

Конструкція баржі складається з 76 профілів (52 днищових, 16 бортових та 8 скул) довжиною 9,32 м, та з двох профілів (скул) довжиною 7,2 м.

Для виготовлення на пултрузійній установці одного профілю довжиною 9,32 м необхідно $9,32/2,1=4,56$ хв. Для виготовлення 76 таких профілів треба $4,56 \times 76 = 346,56$ хв. Для виготовлення одного профілю довжиною 7,2 м потрібно $7,2/2,1=3,9$ хв, для двох таких профілів 7,8 хв. На виготовлення всіх складових базальтоцементної баржі піде 355 хв ≈ 6 годин. Цей розрахунок не враховує скільки часу піде на очищення фільери, та заміну одної на іншу. Тому процес виготовлення усіх профілів буде розбито на два дні. В перший день виготовляємо 52 днищові профілі, два рази за день чиститимо фільеру для можливості її нормального функціонування. На чищення піде по півгодини, тому витрата часу буде приблизно 5 годин. Наступного дня виготовлятимемо профілі скул та борта (26 штук), з заміною а також чищенням необхідних фільер. На виконання цього процесу піде 3,5 - 4 години.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

4.2.2 Твердіння профілів в автоклаві

Для обтиснення пакет шарів армування виробу поміщається в автоклав, та піддається ізостатичному обтисненню за рахунок створюваного усередині автоклава тиску газу. Тиск 0,62 МПа та температура 160°C при підвищеній вологості, що природно вимагає наявності досить міцного та дорогого устаткування. Як правило, в методі додатково використовується вакуумування, для більш повного видалення повітря. Як робоче середовище застосовуються повітря, гази (пара, інертні гази).

При автоклавному формуванні, завдяки можливості створювати значні зусилля обтиснення з застосуванням вакуумування можливе одержання армованих матеріалів з високим вмістом волокон, низькою пористістю і, відповідно, більш високими фізико-механічними властивостями.

Типова схема облаштування автоклавного формування показана на Рисунку 4.7.

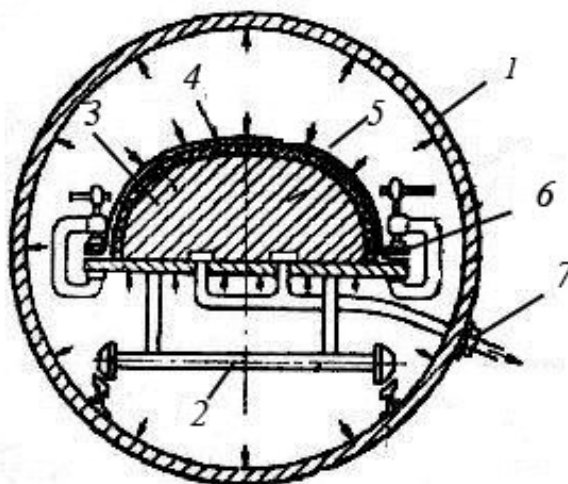


Рисунок 4.7 - Схема автоклавного формування:

1 – міцний корпус автоклава; 2 – візок на рейках; 3 – матриця; 4 – пакет, що підлягає обпресуванню; 5 – еластична діафрагма; 6 – ущільнення; 7 – штуцер до вакуумного насосу;

Функціонування автоклава забезпечується системами нагрівання й охолодження, системою вакуумування, контролю за технологічними

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

параметрами, пристроями герметизації міцного корпусу. Діапазон температур, створюваних в автоклаві – до 300°C

Оскільки продуктивність пултрузійної установки вища, за продуктивність автоклавів, доцільно розбити процес виготовлення і твердіння профілів на декілька днів. Пултрузійна установка працює одну зміну до 6 год/добу, в той час як три автоклави (2 D = 1м, і один D = 1,9м) працюють по дві зміни до 12 год/добу. З таким режимом роботи пултрузійної установки ми отримаємо 52 днищові профілі в перший день і 26 інших профілів - в другий. Використовуючи три автоклави ми отвердимо по 14 профілів за добу (автоклави роблять по 2 цикли отвердіння за робочу зміну). Тобто необхідні 78 профілів для однієї баржі ми отвердимо за 6 робочих днів.

4.2.3 Контроль технологічного процесу і якості готового виробу

Контроль процесів формування містить у собі:

- вхідний технічний контроль вихідних компонентів сполучника й арматури;
- технічний контроль сполучника та добавок;
- технічний контроль якості просочення базальтового волокна;
- технічний контроль якості формування;
- технічний контроль процесу затвердження;
- технічний огляд готового виробу;

Під час технологічного процесу перевіряються режими формування - величини технологічного натягу армуючого волокна, температури формування і швидкості; а також контроль макро- і мікроструктурних показників на предмет відповідності їх заданим і розрахунковим значенням.

Для оцінки якості процесів формування використовуються методи мікро- і макроструктурного аналізу.

Після витягування профілів із автоклава проводиться ретельний огляд виробу з метою виявлення поверхневих дефектів і ушкоджень, а також

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

контроль геометричних форм, розмірів, точності і чистоти поверхонь готових виробів.

4.2.4 З'єднання елементів конструкції між собою і формування корпусу баржі

З'єднують елементи між собою та з іншими матеріалами одним із наступних методів:

- Склеювання накладкою з базальтоцементу;
- За допомогою сталевих анкерів;
- За допомогою закладних деталей;
- Болтами й заклепками;
- Синтетичними клеями.

Вибір типу з'єднання залежить від виду конструкції, її форми, товщини з'єднувальних елементів, вимог, пред'явлених до конструкції. Ми будемо з'єднувати базальтоцементні елементи на синтетичних клеях. А саме - Литокол К17. Це потребує ретельної підгонки склеювальних поверхонь.

LITOKOL K17 – цементний клей, базовий, відноситься до класу С1 згідно класифікації Європейських Норм EN 12004. LITOKOL K17 - порошкоподібний клей на основі сірого портландцементу з додаванням ефірів целюлози [14]. Як наповнювач використовуються кварцові піски з відсортованим розміром гранул.

При змішуванні клею LITOKOL K17 з водою виходить клейовий розчин, що має високу фіксуючу здатність, зручний в нанесенні, надійний і економічний в роботі. Клей водо-, морозостійкий.

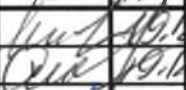
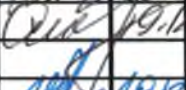
Спочатку на стапелі склеюємо прямокутні профілі, що утворюють конструкцію дна баржі, приформовуємо скули по периметру дна та обформовуємо базальтоцементом товщиною $0,5\delta = 0,005$ м. Перевертаємо конструкцію. Приклеюємо прямокутні профілі, що утворюють бортову частину баржі та знову обформовуємо вже зібрану конструкцію несамохідної баржі.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

4.3 Висновки за розділом

- 1 Розроблена технологія виготовлення профілів для конструкції баржі. Використання методу пултрузії дозволяє отримати деталі постійного поперечного перерізу, а застосування автоклава - обробити їх за короткий проміжок часу. Твердіння та отримання максимальних фізико-механічних властивостей елементів конструкції відбувається не за 28 днів, а за кілька годин. Обробка в автоклаві також покращує властивості бетону у порівнянні зі звичайним твердінням.
- 2 Наведено принцип збору та з'єднання елементів конструкції базальтоцементної баржі, що і утворюють корпус судна.
- 3 Для захисту від абразивного зносу на палубу та внутрішні стінки борта треба нанести зносостійке покриття (розглянуто у розділі 4). А також треба нанести водостійке покриття (2 мм).
- 4 В результаті проведення виробничого процесу отримаємо конструкцію несамохідної базальтоцементної баржі з характеристиками:

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					КР.134.4161.01.ПЗ.04			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зносостійке покриття для баржі	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лазаренко В.М.		19.12				
Керівник		Соломонюк Н.С.		19.12				
Н. контр.		Захарова І.О.		19.12				
Зав. каф.		Бобров М.М.					НУК	

5. ЗНОСОСТІЙКЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ БАРЖІ

5.1 Обґрунтування необхідності покриття і огляд матеріалів

Базальтоцементні баржі використовуються в основному для переправлення піску, тому їх днище схильні до абразивного і втомного зносу. Отже актуальним є питання захисту базальтобетону від такого ушкодження. Бетон досить міцний матеріал, але одним з істотних його недоліків є низька зносостійкість, слабка стійкість до води і хімікатів, підвищене пилевиділення при абразивних навантаженнях. До руйнування, у першу чергу, схильний верхній шар бетону у зв'язку з наявністю в його структурі слабких солей та порівняно з металом низька міцність на розтяг, що може призвести при великих навантаженнях навіть до руйнування самої бетонної плити. Для підвищення експлуатаційних характеристик БФБ використовуються технологічні прийоми поверхневого зміцнення з допомогою рідких або сухих зміцнюючих частинок на стадії бетонування або за допомогою нанесення захисних полімерних покриттів вже після набору бетоном своїх характеристик [15].

Проблема полягає в тому, що досі в багатьох випадках використовуються такі методи захисту бетону, які не відповідають вимогам експлуатації. Нижче розглядаються деякі традиційні технології. Необхідність їх розгляду викликана тим, що їх використання, незважаючи на великий негативний досвід, все ще є дуже поширеним.

Традиційні технології:

1) *Залізнення* проводиться для зміцнення і ущільнення поверхні цементу шляхом нанесення на свіжеукладений бетон сухого цементу або його розчину. При цьому, також збільшується товщина шару «цементного молочка», що дозволяє вирівняти і гладко затерти поверхню ручним інструментом до темно-сірого або "металевого" відтінку. Іноді для підвищення безпилковості і

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

вологостійкості бетону використовуються цементні розчини з добавками ("рідке" скло, алюмінат натрію та ін.).

Звичайний результат залізнення експлуатованих бетонних поверхонь - це численні тріщини, пилення, відшарування і руйнування поверхні протягом короткого часу після початку експлуатації.

2) *Цементно-піщані покриття (стяжки)* наносяться у вигляді розчину на сухий цемент з метою вирівнювання поверхні, а також ремонту великих дефектів, закладення стиків та ін. Товщина залежить від того, наскільки необхідно вирівняти і загладити поверхню, і може становити від декількох міліметрів до декількох сантиметрів. Висока плинність і пластичність розчинної стяжки дозволяє зробити її поверхню досить рівною і гладкою.

Незалежно від марки цементу, добавок, способів нанесення і підготовки поверхні, результат незмінно один і той же - слабка адгезія з основою, висока пористість, дуже низька міцність і, як наслідок, сильне пилення, відшарування, тріщини, здуття, руйнування поверхні.

3) *Мозаїчну підлогу* зазвичай роблять невеликими картами на твердій основі (бетонній або цементно-піщаній) у вигляді шару товщиною 20 - 25 мм. В якості наповнювача використовується кам'яна крихта (фракції до 15 мм) з порід середньої твердості, в основному, з мармуру. Поверхня мозаїчної підлоги на 75 – 85 % складається з наповнювача, решта - цемент марки 400 (з мінеральними пігментами для кольорових підлог). Для забезпечення легкоукладальності мозаїчної суміші часто використовують пластифікатори. Іноді мозаїчну підлогу роблять шляхом вдавнення мармурової крихти в свіжоукладений цемент. Механічне шліфування поверхні проводиться через 5 - 7 днів після укладання підлоги.

Недоліки методу: Низька міцність, висока стиранність, швидке руйнування і недовговічність при інтенсивній експлуатації.

4) *Механічне шліфування* проводиться з метою згладжування і вирівнювання поверхні затверділого цементу, затертого вручну після

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

укладання. Для цієї мети використовуються шліфувальні машини з абразивними каменями або алмазними дисками. Отримання гладкої і рівної поверхні сухого цементу без значних витрат, використовуючи тільки звичайні шліфувальні машини, практично неможливо.

Шліфування лише дозволяє зняти слабкий поверхневий шар, часто залишаючи його в невеликих западинах, з дрібним наповнювачем. Після шліфування оголюються нерідко всі дефекти поверхні, приховані при укладанні і затирці свіжеукладеного цементу.

5) *Topping* – це сухі зміцнюючі частинки цементу, що складаються з певних сортів цементу, абразивностійких наповнювачів і містять іноді активні хімічні добавки. Дані зміцнюючі частинки зтираються в свіжеукладений бетон, частково проникаючи в поверхню бетону і утворюючи більш тверде і зносостійке поверхнєве покриття.

Перевагами методу є можливість нанесення через кілька годин після укладання цементу, висока термостійкість, не боїться капілярної вологи, висока міцність на стиск, стійкість до ультрафіолету, низька вартість.

Недоліки методу:

- Сильна залежність від якості застосовуваного цементу, можлива поява тріщин;
- Неможливість нанесення на старі бетонні стяжки;
- Не дає повного знепилювання;
- Слабка хімічна стійкість, особливо до кислих середовищ;
- Низька межа міцності на згин і розрив;
- Низька стійкість до впливу розчинників і пориста структура, необхідна подальше просочення полімерними сполуками;

6) Використовують *рідкі просочення* на основі водних розчинів або дисперсій певних солей та оксидів, що дозволяють задіяти баластову частину цементу в бетоні, тим самим, підвищити його міцність і зменшити

вологопоглинання. Рідкі просочення на основі кремнійорганіки (силанів і силосанів). Водні дисперсії акрилових полімерів [16].

7) *Покриття зі зміцнюючими частинками на основі епоксидних систем* - не взаємодіють з цементом на хімічному рівні, але проникають в його структуру і мікрокапіляри, заповнюючи їх. Після полімеризації епоксидної системи, верхній шар цементу являє собою монолітну структуру з високими хімічними і механічними характеристиками, подібну за властивостями до полімербетонів. Застосовуючи спеціальні епоксидні системи можливе нанесення зміцнюючого просочення вже на третій день після укладання бетону або відразу на покладений бетон у разі застосування водорозбавних епоксидних сполук. Покриття зі зміцнюючими частинками на основі поліуретанів мають склади аналогічної дії за винятком зниженої міцності на стиск та хімічної стійкості, а так само більш високу вартість.

Переваги:

- Можливість нанесення через кілька годин після укладання цементу або на третій день при використанні водорозбавних епоксидних систем;
- Не бояться капілярної її вологи в разі застосування водорозбавних епоксидних сполук;
- Висока адгезія до основи (набагато вище, ніж міцність самого цементу);
- Висока міцність на стиск, згин і розрив;
- Стійкість до удару;
- Підвищена хімічна стійкість поверхні;
- Можливість нанесення на старі бетонні стяжки і зміцнення бетонних підстав низьких марок.

Недоліки:

- Температура експлуатації не вище 120°C
- Серед недоліків епоксидного покриття необхідно відзначити також недостатню міцність на точкові навантаження, тобто при сильному ударі або падінні важкого предмета можна очікувати утворення тріщин або скол.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

- Неприпустимість нанесення при наявності підсосу капілярної вологи за винятком використання водорозбавних епоксидних систем.

Найбільш ефективним і поширеним захисним покриттям є **полімерні матеріали** [17].

Переваги полімерних наливних підлог:

- Висока міцність і зносостійкість: полімерні підлоги мають високу стійкість до стираючих впливів на покриття. У першу чергу, абразивом є піщинки.
- Стійкість до ударних і вібраційних навантажень
- Тріщиностійкість наливних покриттів. При їх використанні перекриваються невеликі (до 1 мм) тріщини в цементі, вони можуть працювати в режимі постійного вібраційного впливу (більшою мірою це відноситься до поліуретанових і епоксиполіуретанових покриттів). Також наливні покриття витримують сильні термічні навантаження.
- Довговічність. При правильній експлуатації і грамотному підборі типу наливного покриття терміни служби епоксидних або поліуретанових наливних покриттів можуть досягати 15 років і більше. Покриття виключно довговічні, що окупає витрати з їх нанесення.
- Безпилковість і монолітність (відсутність швів)
- Нешкідливість і гігієнічність
- Висока хімічна стійкість.

Класифікація наливних підлог:

Полімерні наливні підлоги розрізняються між собою за типом сполучника, останнє визначає основні властивості покриття.

Частіше за інших застосовуються епоксидні, поліуретанові, акрилові, метілметакрілатні епоксиполіуретанові покриття. Залежно від виду розчинника наливні полімерні підлоги бувають органічними і водорозчинними.

Епоксидні покриття відзначаються високою механічною міцністю і хімічною стійкістю. *Поліуретанові покриття* мають високу еластичність і тріщиностійкість.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Полімерні наливні покриття досить легко ремонтуються. Витрати на покриття визначаються обраною товщиною. А товщина визначає термін експлуатації. Чим більше товщина, тим більше навантаження може витримати полімерне покриття. Мінімальна товщина для товстошарових покриттів - 1 мм. Нанесення полімерних підлог - процес, що вимагає певних умінь і знань, але нічого складного в ньому немає, для цього є спеціальні інструкції, розроблені професіоналами.

Для розробленої базальтоцементної баржі доцільніше обрати поліуретанову основу зносостійкого покриття. Хоча епоксидні мають більші механічні властивості і більшу хімічну стійкість, поліуретанові більше підходять для основи з присутньою вібрацією або рухливістю, за наявності грубого абразивного навантаження.

В якості наповнювача зносостійкого покриття використовуються базальтовий порошок (лусочки, або короткі волокна), корунд або карборунд, для збільшення міцності цементних основ, захисту поверхні від стирання, механічних і погодних впливів, в якості гідроізоляції цементних споруд, для запобігання запилювання і розтріскування цементу.

Нині досить широко відомо, що лусочки або пластівці можуть служити хімічно активними наповнювачами різноманітних композиційних матеріалів для отримання захисних і захисно-декоративних покриттів з високими показниками по атмосферо- і водостійкості, і стійкості до абразивного зносу.

Скляні пластівці зазвичай менш міцні, їх поверхнева хімічна активність без додаткової обробки (наприклад, вакуумної металізації) невелика, а металеві лусочки з високою питомою поверхнею нестійкі до корозії.

Тому одним з найбільш бажаних напрямків створення пластинчастих наповнювачів для полімерних композитів слід визнати виготовлення пластівців або лусочок із природних мінералів (базальту) [9]. Вони отримуються плавленням базальту, формуванням з розплаву твердих осклованих пластинчастих частинок і хіміко-термічною обробкою таких частинок в

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

окислювальному газовому середовищі до додання їм переважно кристалічної структури, що включає нагрів склоподібних частинок зі швидкістю 4-19°C/хв. до температури в інтервалі 60 - 95°C з одночасною продувкою повітрям протягом 5 - 3 хв. і подальше примусове охолодження зі швидкістю не нижче 95°C/хв. Мінеральний пластинчастий наповнювач після такої обробки практично не містить FeO і характеризується високою густиною, що щонайменше в 1,5 рази перевищує густину осклованих частинок. У таблиці 4.1 приведено порівняльну характеристику зносостійких покриттів з різними наповнювачами.

Таблиця 4.1 – Характеристики зносостійких покриттів.

Показники міцності	Наповнювач	
	Базальтові лусочки	Корунд
Адгезійна міцність, МПа	45	27
Міцність на стискання, МПа	95	72
Модуль пружності при згині, ГПа	3,8	2,85
Питома ударна в'язкість, кДж/м ²	18	14,2

5.2 Технологія нанесення покриття

5.2.1 Підготовка цементної основи

Основою для нанесення полімерної системи є цемент. Детально вимоги до цементної основи викладені в [17, 18],

Величина адгезії до основи в значній мірі визначається шорсткістю поверхні. Найбільш ефективним способом підготовки бетону є механічна обробка дробеструйним обладнанням. Вона видаляє з поверхні затверділе цементне покриття (молочко), частинки, що погано тримаються і підвищує ступінь шорсткості. Це дозволяє збільшити площу зчеплення покриття з цементом в 2-2,5 рази. У ряді випадків, замість дробеструйної, потрібна

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

фрезерувальна або шліфувальна обробка. Якісна первісна обробка дозволяє запобігти так званому деламінуванню - відшаруванню частини або всього покриття від основи.

Цементна основа має температуро-усадкові і деформаційні шви, а також вибоїни та тріщини, які закладаються перед нанесенням полімерного покриття. Очищені за допомогою промислового пилососа шви і тріщини ґрунтують і заповнюють спеціальним шпаклювальним складом.

Після того, як з основи видалено цементне «молочко» і частинки, що погано тримаються, основа вирівняна і зашпакльована, її знепилують. Далі приступають до ґрунтувально-шпаклювальних робіт.

5.2.2 Ґрунтування / Шпаклювання

Ґрунтування зміцнює верхній шар цементу, запечатує пори, знепилують основу, забезпечуючи надійну адгезію основи з полімером. Зміцнення верхнього шару цементу відбувається за рахунок проникнення ґрунтовки в пори цементу на глибину 1-3 мм. Це значно збільшує термін служби готового покриття і усуває ризик деламінації.

Повне запечатування пір основи, надзвичайно важливий елемент підготовки, оскільки якщо залишаться відкритими пори, то повітря, що виходить з цих пір, може порушити цілісність поверхні свіжонанесеного рідкого полімеру.

5.2.3 Нанесення шарів покриття

Залежно від обраної полімерної системи, існують різні особливості технології нанесення базового або основного шару.

Матеріал для основного шару зазвичай складається з двох компонентів і готується безпосередньо на будмайданчику. Базальтовий порошок (6 – 7 %) і поліуретановий сполучник перемішують в заданих пропорціях до однорідного стану і рівномірно розподіляють масу по поверхні підлоги. Попадання вологи

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

на покриття до його затвердіння неприпустимо. Для забезпечення рівномірності якості поверхні і видалення бульбашок повітря з наливного покриття проводять прокатку свіженанесеного наливного покриття голчастим валиком.

Після цього наноситься фінішний шар, що надає поверхні високу зносостійкість, хімічну стійкість і декоративність. В якості фінішного покриття може використовуватися смола основного шару або захисний прозорий лак.

Полімерне покриття є безусадковим, проте в цементній основі, вік якої менше одного року, потрібна нарізка швів, тому що в ній відбуваються деформаційні і усадочні процеси. Шви в полімерному покритті повторюють існуючі шви цементної основи. Нарізані шви заповнюються поліуретановим герметиком.

5.3 Висновки за розділом

- 1 Обґрунтовано використання зносостійкого покриття для базальтоцементної вантажної палуби баржі.
- 2 Покриття має витримувати абразивний та втомний знос, за абразивний відповідають часточки базальту (6 – 7 %), за втомний – поліуретановий сполучник. Поліуретановий сполучник забезпечує еластичність, тріщиностійкість та стійкість до грубого абразивного навантаження.
- 3 Вибрана технологія нанесення покриття, згідно якої вантажна палуба баржі спочатку піддається дробеструйній обробці для підвищення шорсткості, потім ґрунтується для кращої адгезії, потім наноситься основний шар покриття яке і забезпечуватиме необхідні механічні властивості, і на останок наноситься фінішний шар для захисту покриття.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.04	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

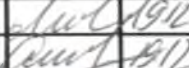
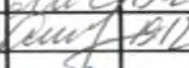
ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано існуючі конструкції барж і матеріали, що використовують для їх виготовлення, та виявлено, що використання базальтофібробетону (БФБ) є доцільним. Це дозволить збільшити термін експлуатації несамохідної баржі, зменшити осадку, зменшить вагу, відповідно, збільшити вантажопідйомність.
2. Розроблено конструкцію БФБ - баржі, яка складатиметься з 78 окремих профілів (52 днищеві прямокутні профілі, 16 бортових профілів, та 120 скул). Окремо методом викладки виготовляється 4 округлені форми, які з'єднуються бортові секції з носовими і кормовими.
3. Розроблено технологію виготовлення корпусу баржі методом пултрузії, що дозволяє отримати деталі постійного поперечного перерізу, а застосування автоклава - обробити їх за короткий проміжок часу.
4. Також розроблено технологію з'єднання частин баржі. Після операцій з'єднання елементів конструкції отримано несамохідну баржу-площадку довжиною 38,34 м, шириною 8,22 м, висотою 1,3 м.
5. Визначено зносостійке покриття, його склад та технологія нанесення. Покриття має витримувати абразивний та втомний знос, за абразивний відповідають часточки базальту (6 – 7 % базальтового порошку від загальної маси), за втомний – поліуретановий сполучник. Основний шар покриття 2 мм забезпечуватиме необхідні механічні властивості, і на останок наноситься фінішний шар для захисту основного покриття.

					КР.135.5116м.01.ПЗ.05	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Особливості проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник / О. В. Бондаренко, О. І. Кротов, Л. О. Матвєєв, С. О. Прокудін. — Миколаїв: УДМТУ, 2003. — Ч. 1. — 72 с.
2. Сталь для суднобудування — http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=2419
3. ДСТУ 3314-96 - Будування залізобетонних суден. - Дата прийняття: 01.01.1997. Документ, що затверджує: 27.02.1996. Наказ от 27.02.1996 № 81.
4. "Local History - Concrete Barges and The Diver". londonriversidebid.co.uk. Retrieved 3 September 2022.
5. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2007. — Т. 2 : Л — Р. — 670 с. — ISBN 57740 - 0828-2.
6. ДСТУ Б В.2.7-46-2010. Будівельні матеріали. Цементи загального будівельного призначення. Технічні умови - Дата початку дії: 01.09.2011. Дата прийняття: 14.12.2010. Документ що затверджує: Наказ от 14.12.2010 № 493.
7. Хоменко О.Г. Залізобетонні конструкції: електронний навчальний посібник. Глухів. 20178. – 208 с.
8. Соломонюк Н.С., Копійка С.В., Сергєєва Є.Є. Довженко О.С. «Скло- та базальтофібробетон для плавучих доків та інших морських споруд» Друк. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: XI Міжнародна науково - технічна конференція. – Миколаїв: НУК, 30.09-1.10 2021 р. с. 43 – 46.
9. ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови - Дата початку дії: 01.09.2023. Дата прийняття: 27.12.2022. Документ, що затверджує: Наказ от 27.12.2022 № 275.

					КР.134.4161.01.ПЗ.00			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Аркуші
Студент		Лазаренко В.М.		19/12				
Керівник		Соломонюк Н.С.		19/12				
Н. контр.		Захарова І.О.		19/12				
Зав. каф.		Бобров М.М.						
						НУК		

10. Правила класифікації та побудови малих суден. Київ: Регістр судноплавства України. 2015. Том 2. 318 с.
11. The Pultrusion Process – <https://www.libertypultrusions.com/pultrusion-process/>
12. ГОСТ 59987361-009-2008. Базальтові тканини ТБК-100П-КВ12
13. Чувашов Ю.М., Дідук І.І., Ященко О.М., Трофимова Т.П., Краснікова К.С., Композиційні матеріали на основі волокнистих компонентів з гірських порід та їх відходів –Будівельні матеріали та вироби. November 2018 – с.58 – 61. DOI:10.48076/2413-9890.2018-99-06
14. LITOKOL K17 – https://full-pool.com.ua/sites/default/files/pdf/559610_teh.karta_litokol_k17.pdf?srsId=AfmBOopYrKoKcyqh_UENpwcLy1TEynI0xAT-M-av8Iy_0c5-pbxcAOVm
15. ДСТУ Б В.2.7-145:2009 «Матеріали будівельні. Покриття підлоги. Загальні технічні умови»
16. Захист будівельних залізобетонних конструкцій – https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9D%D0%9F%20%D1%88%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%20%D0%BE%20%D1%84/page32.html
17. Сучасне покриття для бетону: довговічність, захист, функціональність – <https://dverikupe.com.ua/suchasne-pokrittya-dlya-betonu-dovgovichnist-zakhist-funkcionalnist/>
18. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»

					КР.135.5116м.01.ПЗ.00	Лист
Ізм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		