

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра матеріалознавства і технології металів

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



О.М. Дубовий

«19» грудня 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття вищої освіти «магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **«Дослідження структури і властивостей волокнистої
ізоляції для машинного відділення судна»**

Виконав: студент 6 курсу, групи 6131м



Є. О. Задорожний

(прізвище та ініціали)

Керівник д-р техн. наук, професор

(прізвище та ініціали)



Ю. О. Казимиренко

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2023 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет кораблебудівний навчально-науковий інститут
Кафедра матеріалознавства і технології металів

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий (ступінь магістра)

Спеціальність 132 – матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
д.т.н., професор Дубовий О. М.



" 14 " жовтня 2023р.

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Задорожньому Євгену Олександровичу

1. Тема роботи «Дослідження структури і властивостей волокнистої ізоляції для машинного відділення судна»

керівник проекту (роботи) д.т.н., доцент, професор каф. М і ТМ Казимиренко Юлія Олексіївна

затверджені наказом вищого навчального закладу від 30.11.2023 р. №1357-уч

2. Термін подання роботи 19.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, інструкції та методики, ТУ на матеріали

4. Перелік питань, що належать розробці (найменування розділів)

1. Сучасний стан і проблемні питання вибору композиційних матеріалів для ізолювання машинного відділення судна.

2. Методика та результати досліджень структури і експлуатаційних властивостей волокнистих ізоляційних матеріалів.

3. Практичні рекомендації, вибір обладнання та організація робіт на дільниці

4. Економічне обґрунтування доцільності застосування волокнистої ізоляції для машинного відділення

5. Охорона праці, довкілля, техніка безпеки на дільниці для розкрою волокнистої ізоляції.

Висновки. Список використаних джерел.

Додатки

5. Перелік презентаційних матеріалів Умови експлуатації та вимоги до матеріалів; дослідні матеріали; хімічний склад і структура; результати розрахунків коефіцієнту звукопоглинання; конструкція головки лазера, дільниця для розкрою композиційних матеріалів; порівняльні результати техніко-економічних показників.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. Казимиренко Ю. О.	01.11.2023	01.11.2023
2	проф. Казимиренко Ю. О.	05.11.2023	05.11.2023
3	проф. Казимиренко Ю. О.	10.11.2023	10.11.2023
4	проф. Казимиренко Ю. О.	15.11.2023	15.11.2023
5	проф. Казимиренко Ю. О.	15.11.2023	15.11.2023

7. Дата видачі завдання 01.11.202

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Сучасний стан і проблемні питання вибору композиційних матеріалів для ізолювання машинного відділення судна	13.11.2023	вик
2	Методика та результати досліджень структури і експлуатаційних властивостей волокнистих ізоляційних матеріалів	22.11.2023	вик
3	Практичні рекомендації, вибір обладнання та організація робіт на дільниці	29.11.2023	вик
4	Економічне обґрунтування реалізації розробки	05.12.2023	вик
5	Охорона праці, довкілля, техніка безпеки на дільниці для розкрою волокнистої ізоляції	11.12.2023	вик
6	Складання висновків	14.12.2023	вик
7	Оформлення списку використаних джерел інформації та додатків	14.12.2023	вик
8	Складання та переклад анотації	14.12.2023	вик
9	Виконання графічної частини (1 креслення формату A1 і слайд-презентація)	14.12.2023	вик
10	Перевірка на плагіат		
11	Попередній захист		

Студент магістратури



Є. О. Задорожний

Керівник роботи



д.т.н., професор Ю. О. Казимиренко

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота «Дослідження структури і властивостей волокнистої ізоляції для машинного відділення судна» за спеціальністю 132 – матеріалознавство.

Робота присвячена вирішенню важливого **науково-прикладного завдання** вибору ізоляційних матеріалів для машинного відділення судна.

Мета роботи полягає у ґрунтовному аналізі результатів досліджень функціональних властивостей ізоляційних волокнистих композиційних матеріалів з урахуванням особливостей їх структури та розробкою практичних рекомендації щодо їх розкроювання.

Об'єкт досліджень: процеси поглинання шуму і вібрацій композиційними матеріалами з волокнистою структурою.

Методи досліджень: аналіз літературних джерел, макро- і мікроаналіз зразків композиційних матеріалів.

Апробація роботи: результати були представлені на Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (17-18 травня 2023 р.) у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв та опубліковані у вигляді тез:

Казимиренко Ю.О., Савочкіна В.В., Давидова П.С., **Задорожний Є.О.**
Водні перевезення вантажів зі спеціальними температурними умовами: особливості проектування ізоляційних конструкцій. *Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд*: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – 2023, Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (17-18 травня), С. 52-59.

Робота написана на 73 сторінках машинописного тексту, містить 24 рисунка, 17 таблиць, 2 додатки і список використаних джерел з 25 найменувань.

Ключові слова: композиційні матеріали, макроструктура, мікроструктура, ізоляційні властивості

ABSTRACT

The Master's degree work "**Investigation of the structure and properties of fibrous insulation for the vessel's engine room**" for specialty 132 - materials science.

The work is devoted to solving the important scientific and applied task of choosing of insulating materials for the vessel's engine room.

The purpose of the work is a thorough analysis of the results of research into the functional properties of insulating fibrous composite materials, taking into account the peculiarities of their structure and the development of practical recommendations for their cutting.

The research object: noise and vibration absorption processes by composite materials with a fibrous structure.

The research methods: analysis of literary sources, macro- and microanalysis of samples of composite materials.

Approbation of the work: the results were presented at the All-Ukrainian scientific and technical conference with international participation «Modern technologies of design, construction, operation and repair of ships, marine facilities and engineering structures» (May 17-18, 2023) at the National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Mykolaiv

The work is written on 70 pages of typewritten text, contains 24 figures, 17 tables, 2 appendices and a list of used sources from 25 names.

Keywords: composite materials, macrostructure, microstructure, insulating properties.

ЗМІСТ

Вступ	7
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ВИБОРУ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ІЗОЛЮВАННЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ СУДНА	9
1.1 Умови експлуатації та вимоги до ізоляційних матеріалів у машинному відділенні судна	9
1.2 Огляд сучасних ізоляційних матеріалів	12
1.3 Висновки до розділу, аналіз невирішених питань і постановка завдань досліджень	18
РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СТРУКТУРИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	20
2.1 Матеріали і методи дослідження	20
2.1.1. Дослідні композиційні матеріали	20
2.1.2. Методи досліджень	21
2.1.3 Розрахункові методики	21
2.2 Результати досліджень структури волокнистих матеріалів	23
2.2.1. Дослідження ізоляції ROCWOOL	23
2.2.2. Дослідження ізоляції ISOVERKL-E	24
2.2.3. Дослідження гібридної карбон-кевларової тканини	26
2.3 Результати розрахунків коефіцієнту звукопоглинання та узагальнення властивостей дослідних матеріалів	30
2.4 Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ НА ДІЛЬНИЦІ	35
3.1. Рекомендації щодо вибору обладнання і устаткування для розкрою ізоляції з карбон-кевларової тканини	35
3.2. Модернізація устаткування	36

3.3. Сутність способу розкрою карбон-кевларової тканини	39
3.4 Складання технологічної схеми та вибір додаткового обладнання	40
3.5. Компоновка та опис ділянки для розкрою карбон-кевларової тканини	43
3.6 Висновки до розділу 3	47
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОЛОКНИСТОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ДЛЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ	48
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ДІЛЯНКІ ДЛЯ РОЗКРОЮ ВОЛОКНИСТОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ДЛЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ СУДНА	55
5.1 Нормативні документи	55
5.2 Аналіз небезпечних шкідливих факторів на ділянці для розкрою волокнистої ізоляції	56
5.3 Розрахунок освітленості робочого місця технолога	58
5.4 Заходи з охорони навколишнього середовища у акваторії портів	61
5.5 Висновки до розділу	64
ВИСНОВКИ	65
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	67
ДОДАТКИ	71

ВСТУП

Актуальність теми обумовлена необхідністю зниження шуму і вібрацій у машинному відділенні судна, що може бути реалізовано через застосування функціональних композиційних матеріалів з волокнистою структурою, здатних витримувати температури до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ і звуковий тиск до 190 дБ, до яких пред'являються вимоги стабільності звукоізоляційних властивостей у октавних смугах частот, нестисливості, вогнетривкості, зручності монтажу та ізоляції.

Мета роботи полягає у ґрунтовному аналізі результатів досліджень функціональних властивостей ізоляційних волокнистих композиційних матеріалів з урахуванням особливостей їх структури та розробкою практичних рекомендації щодо їх розкроювання.

Завдання досліджень:

- 1) провести аналітичний огляд літератури стосовно сучасних матеріалів, які застосовуються для виготовлення ізоляційних конструкцій для машинного відділення судна;
- 2) проаналізувати тепло- і звукоізоляційні властивості та дослідити особливості структури зразків волокнистих ізоляційних матеріалів з урахуванням будови вихідних волокон і технології плетіння;
- 3) обрати обладнання та розробити практичні рекомендації щодо їх розкроювання на виробничій дільниці;
- 4) надати економічне обґрунтування доцільності застосування волокнистої ізоляції для машинного відділення;
- 5) розглянути заходи щодо охорони праці, довкілля, техніки безпеки на дільниці для розкроювання волокнистої ізоляції.

Об'єкт дослідження – процеси поглинання шуму і вібрацій композиційними матеріалами з волокнистою структурою.

Методи досліджень: аналіз літературних джерел, макро- і мікроаналіз

Інформаційну базу досліджень становлять наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених в області створення функціональних композиційних матеріалів, інтернет-ресурси, власний досвід автора.

Науково-практичне значення роботи полягає у можливості застосування для ізолювання машинного відділення судна волокнистих матеріалів, виготовлених з неорганічних і полімерних волокон за трикотажними технологіями, серед яких найбільш перспективними є прошивні мати ISOVER, ROCKWOOL та плетені гібридні карбон-кевларові тканини.

Апробація результатів досліджень. Результати були представлені на Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (17-18 травня 2023 р.) у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв та опубліковані у вигляді тез:

1. Казимиренко Ю.О., Савочкіна В.В., Давидова П.С., **Задорожний Є.О.** Водні перевезення вантажів зі спеціальними температурними умовами: особливості проектування ізоляційних конструкцій. *Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд*: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – 2023, Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (17-18 травня), С. 52-59 .

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ВИБОРУ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ІЗОЛЮВАННЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ СУДНА

1.1. Умови експлуатації та вимоги до ізоляційних матеріалів у машинному відділенні судна

У машинному відділенні розташовуються головні двигуни, їх холодильники з повітряними насосами, циркуляційні помпи та інші прилади для управління корабельними двигунами. Потужним джерелом суднових вібрацій сучасних теплоходів є економічні малообертові дизелі та гребні гвинти [1], резонансні коливання яких можуть призвести до утворення втомних тріщин у суднових корпусних конструкціях та пошкодження суднових механізмів. Як приклад, на рис. 1.1 у схематичному вигляді показано як розповсюджуються звукові сигнали у звукових приміщеннях, чому присвячено дослідження, викладені авторами роботи [2].

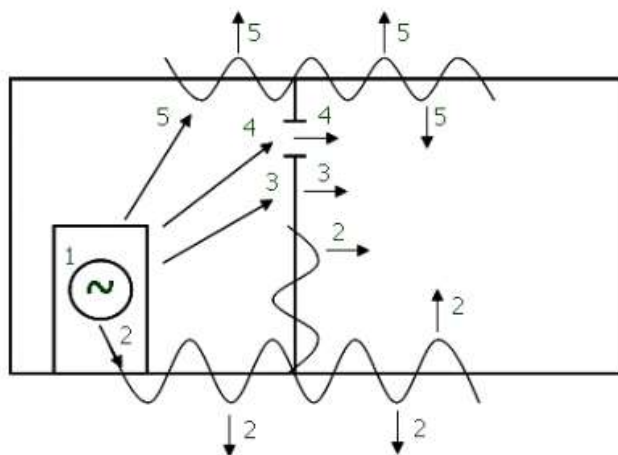


Рис. 1.1. Основні види та шляхи розповсюдження акустичних сигналів у суднових приміщеннях [2]:

- 1 – вібрація звукового та інфразвукового діапазонів частот по машинних рамах; 2 – вібрація (структурний звук через фундаменти та корпусні конструкції судна; 3 – повітряний звук через суднові переборки;
- 5 – повітряний шум, викликаний звуковою вібрацією огорожень

Згідно з «Рекомендаціями щодо боротьби зі шкідливими шумами в приміщеннях для екіпажу та на робочих місцях на борту суден» [3] серед заходів щодо зменшення надмірного шкідливого шуму на борту суден передбачено застосування звукоізоляційних матеріалів, які застосовуються у обшивках та ізоляційних конструкціях машинного відділення, зокрема при встановленні звуконепроникних дверей. Ізоляційна конструкція, яка у більшості випадках складається з перфорованого та сталевих листів, між якими розташовується шар волокнистого ізоляційного матеріалу. Як приклад, на рис. 1.2 наведені частотні характеристики зразків матеріалів, які застосовуються для формування суднових звукоізоляційних конструкцій [2], це .сталь, скло, гіпсокартон, ламіноване ДВП.

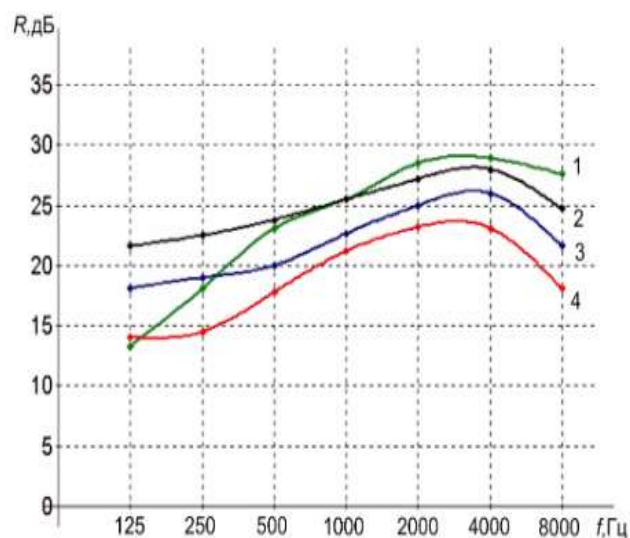


Рис. 1.2. Частотні характеристики звукоізоляції зразків матеріалів [2]:

1 – гіпсокартон; 2 – сталь; 3 – скло; 4 – ламіноване ДВП

Підвищенню рівня екологічної безпеки на морському транспорті та особливостям ізолювання суднових приміщень присвячено роботу [4]. До ізоляційних матеріалів висуваються наступні вимоги:

- здатність витримувати температури до + 125 °С
- здатність витримувати звуковий тиск до 190 дБ,

- стабільності звукоізоляційних властивостей у октавних смугах частот;

- теплоізолювальна здатність;
- корозійна та хімічна стійкість
- нестисливість;
- вогнетривкість;
- нетоксичність;
- технологічні вимоги, а саме зручність розкрою та монтажу.

В табл. 1.1 наведені рівні звукового тиску двигуна потужності 25 МВт [1].

Таблиця 1.2

Рівні звукового тиску як джерела шуму
[складено авторами за аналізом джерел 1-4]

Елементи, що являються джерелом шуму	Lp, дБА
Корпус машини	107
Основа коробки передач	114
Випускний пристрій	95
Глушник на випуску	102
Система вентиляції:	
• на всмоктуванні	96
• на випуску	87
Система впуску компресора:	
• отвір впуску	93
• трубопровід перед глушником	103
• трубопровід після глушника	85
• трубопровід, перпендикулярно глушникам	92

Нормативними документами для оцінювання шуму та вібрацій є:

- ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006 [5];
- ДСТУ ISO 354:2007. Акустика. Вимірювання звукопоглинання у реверберційній камері. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006 [6];
- ДСТУ ISO 10055:2006. Вібрація механічна. Вимоги до вібраційного випробування суднового обладнання механізмів (ISO 10055:1996, IDT). Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006 [7].

Більшість видів заповнювачі кріпляться до листів обшивки механічно. Однак слід врахувати, що механічні елементи кріплень є провідниками тепла та утворюють теплові містки. Тому для виготовлення несучих елементів ізоляційних конструкцій використовуються перфоровані оцинковані сталеві листи, які добре гасять вібрації та коливання.

1.2. Огляд сучасних ізоляційних матеріалів

В роботі [8] аналізуються протипожежні заходи на морському транспорті. Застосовані ізоляційні матеріали повинні відповідати вимогам вогнетривкості, що зумовлено їх хімічним складом.

Дослідженням впливу хімічного складу, технологія отримання на структуру та функціональні властивості мінеральних волокон присвячено роботу [9], де переваги надаються базальтовим ультратонким волокнам, з яких виготовляються валяні або прошивні мати. Звукоізоляційні властивості у середньооктавних смугах частот наведено у таблиці 1.3. Оптимальна щільність матеріалу (40 кг/м^3), хаотичне розташування волокон і однорідна структура прошивного мату забезпечують поглинання звуку. Теперішнім часом на підприємствах машинобудування використовують волокнисту продукцію на основі базальтових ультратонких волокон (БУТВ), технологія

виготовлення яких розроблена науково-дослідною лабораторією Інституту проблем матеріалознавства Національної Академії Наук України.

Таблиця 1.3

Звукоізоляційні властивості прошивних матів з базальтових
ультратонких волокон

[складено автором за результатами аналізу джерел 3-9]

Средньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Нормальні коефіцієнти звукопоглинання $\alpha(f)$ прошивних матів з БУТВ, товщина		
	50мм	75мм	100мм
125	0,10	0,17	0,26
250	0,29	0,60	0,73
500	0,66	0,91	0,88
1000	0,85	0,93	0,90
2000	0,87	0,94	0,93
4000	0,85	0,95	0,96

Слід відмітити, що найбільш розповсюдженим є волокнисті теплоізоляційні матеріали, до яких відносяться різновиди продукції з базальтових волокон та мінеральна вата «ROCKWOOL», яка випускається у Данії. Група компаній ROCKWOOL працює на 27 заводах Європи, Азії та

Північної Америки. Завдяки спеціально підібраній структурі та обробці волокон мінеральна вата «ROCKWOOL» має унікальними властивостями, що забезпечують підвищену тепло та звукоізоляцію, вологонепроникність, вогнестійкість. Це негорючі матеріали, вологопоглинання матів становить близько 1,5 %, їх стисливість в умовах вібрацій не перевищує 12 %.

Прошивний мат Rocwool WIRED MAT 80 (виробництво Чехія) випускається товщиною від 30 до 100 мм, шириною 1 м та довжиною від 2 до 7 м, з одної сторони покрито металевою гальванізованою сіткою з розміром комірки 25 мм. Його суттєвим недоліком є відсутність поліетиленового чохла для захисту від пилу, замаслювання та вологи, а також покриття зі склотканини.

Завдяки пористої структурі волокнисті матеріали здатні значно зменшувати виникнення вертикальних звукових хвиль, між обгороджуваними конструкціями, скорочують час резонансу, і, тим часом, знижують рівень звуку за межами покриття. Ця продукція представляє собою плити, теплозвукоізоляційні мати, неткані матеріали, картон, базальтові прошивні матеріали, в'язально-прошивні матеріали. Матеріали, які отримують кожним з названих способів, характеризуються своєю особливою будовою. Для створення шаруватих екрануючих матеріалів широко застосовують трикотажні технології [10-12]. Такі матеріали виготовляють у вигляді трикотажу, у вигляді тканини, плетеного або нетканого матеріалів. Як сировину ткацьке та трикотажне виробництво використовує пряжу та різні типи ниток. Неткані матеріали отримують з натуральних або хімічних волокон в'язально-прошивним, голкопробивним, в'язально-войлочним та клейовим методами [19-20]. На рис. 1.3-1.6 наведено структури композитних тканин різного плетіння [10].

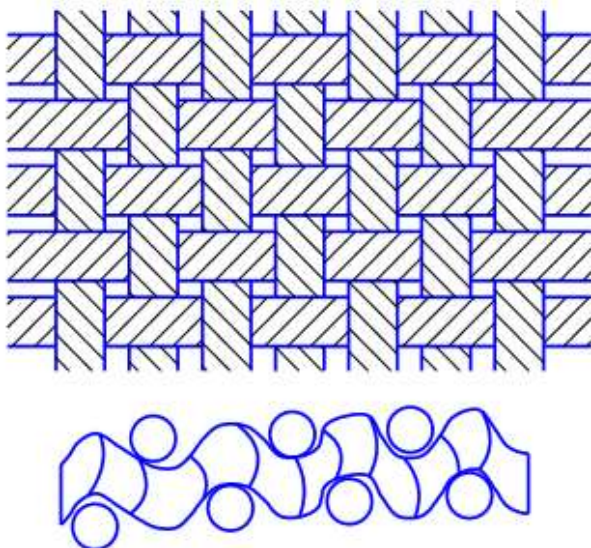


Рис. 1.3. Полотняне плетіння
[10]

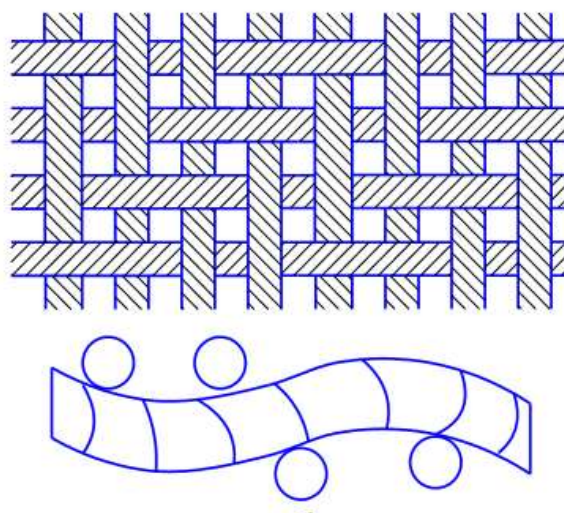


Рис. 1.4. Саржеве плетіння [10]

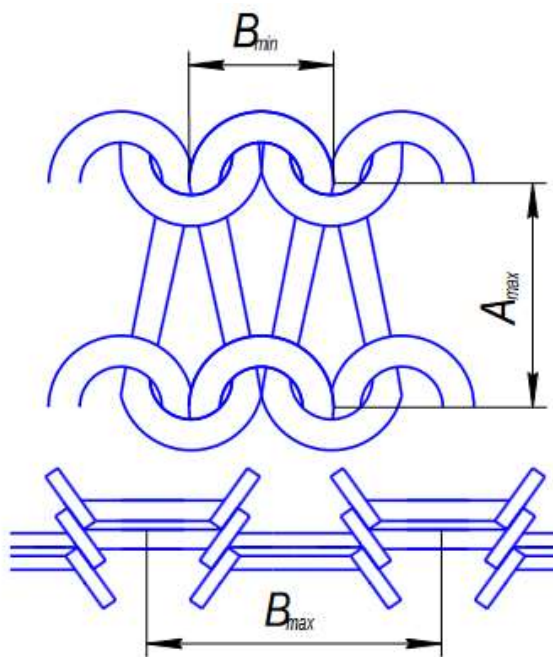


Рис. 1.5. Плетіння «курина гладь» [10]

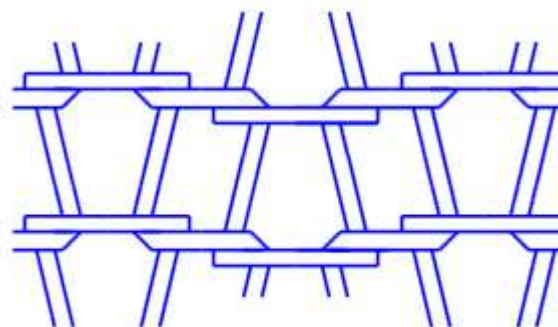


Рис. 1.6. Плетіння «ластик 1+1»
[10]

При підготовці пряжи волокна проходять технологічні операції рихлення, прядіння, чесання, кручення, в результаті якої формують пряжу підвищеної міцності та шорсткості, необхідного волокнистого складу, та з

необхідними фізико-механічними властивостями. Полотна, одержані різними способами, мають різну будову та відповідно різні захисні властивості. До цих матеріалів відносяться вуглецеві (карбонові), кевларові та гібридні тканини, захисні та механічні властивості яких залежать саме від виду плетіння.

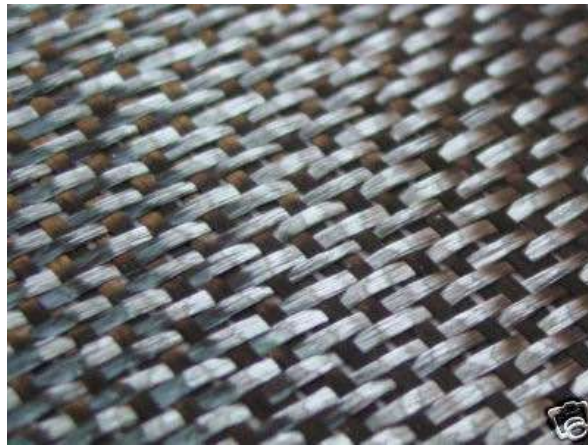
Карбонові вуглеткані виконують різними видами плетіння, в залежності від їх подальшого використання. Розрізняють чотири основних види плетіння карбонових вуглетканей: рогожисте (Plain); сатинове (satin); саржеве (Twill) та односпрямоване (unidirectional). Кожен вид плетіння має свої переваги та недоліки. Крім того, всі означені види плетіння розрізняються за своїми фізичними і механічними властивостями, тобто спостерігається анізотропія властивостей. На рис. 1.7 наведено різновиди плетіння тканин.



а



б

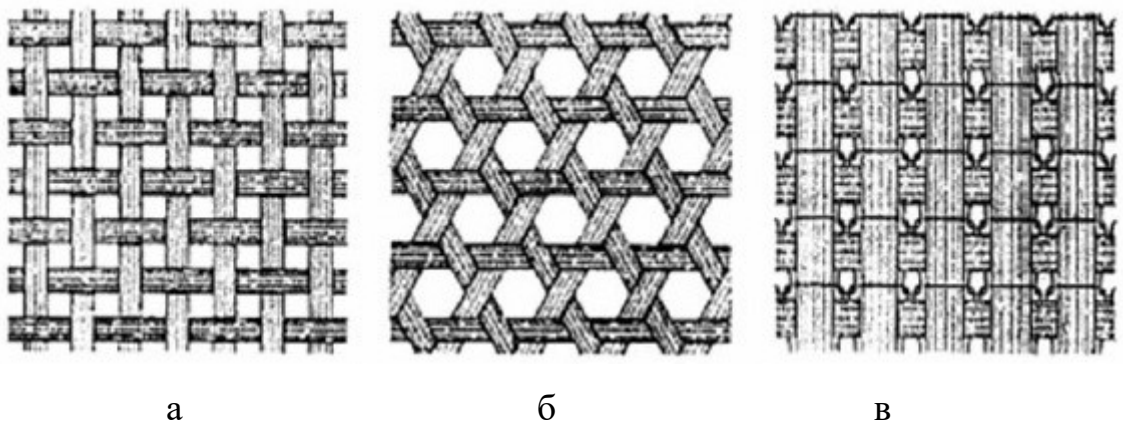


в

Рис. 1.7. Різновиди плетіння тканин [10-11]:

а – рогожисте (Plain) плетіння; б – саржеве (Twill) плетіння; в – сатинове (Satin) плетіння

Гібридні тканини складаються з одного або декількох шарів довгих волокон, які утримуються додатковим неструктурованим шаром тканого матеріалу [12]. Тканини такого типу класифікуються за орієнтацією волокон, що схематично показано на рис. 1.8.



а

б

в

Рис. 1.8. Класифікація плетіння гібридних тканин [10]:

а – односпрямовані тканини; б – двоспрямовані тканини;
в – в'язані тканини

Технологія виготовлення гібридних тканин реалізує найбільш перспективні рішення текстильних технологій: використання різних за масою

шарів, варіювання відстанями між волокнами тощо. Таку структуру одержують на спеціальних машинах, за допомогою яких одночасно здійснюються процеси переплетіння волокон та з'єднання стіжками. На рис. 1.9 схематично наведено формування структури гібридної карбон-кевларової тканини.

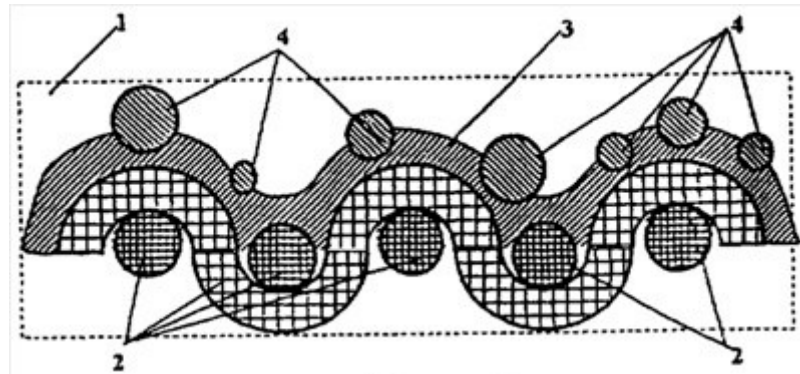


Рис. 1.9. Схема формування структури гібридної тканини карбон-кевлар [14]: 1 – матриця; 2 – кевларові джути; 3 – вуглецеві джути; 4 – поліефірна нитка для прошивання

1.3 Аналіз невирішених питань та постановка завдань досліджень

В результаті виконано огляду літературних наукових джерел зроблено наступні висновки:

1. Проаналізовано умови експлуатації і вимоги, які висувуються до ізоляційних матеріалів машинного відділення судна, серед яких найважливішими є здатність витримувати температури до $+125^{\circ}\text{C}$ і звуковий тиск до 190 дБ, водонепроникність, стабільності теплоізоляційних характеристик та звукоізоляційних властивостей у октавних смугах частот, нестисливість, вогнетривкість, зручності монтажу та ізоляції.

2. Проведено аналітичний огляд сучасних ізоляційних матеріалів, серед яких перевага надається застосуванню волокнистої ізоляції, виготовленої з неорганічних і полімерних волокон.

3. Серед широкого асортименту волокнистої ізоляції вітчизняних і зарубіжних виробників найбільшої уваги заслуговують неткані та в'язально-

прошивні матеріали, виготовлені за трикотажними технологіями, такі як ізоляційні мати ISOVER, ROCKWOOL та гібридні тканини з карбон-кевлару.

Мета роботи полягає у ґрунтовному аналізі результатів досліджень функціональних властивостей ізоляційних волокнистих композиційних матеріалів з урахуванням особливостей їх структури та розробкою практичних рекомендації щодо їх розкроювання.

Завдання досліджень:

1) провести аналітичний огляд літератури стосовно сучасних матеріалів, які застосовуються для виготовлення ізоляційних конструкцій для машинного відділення судна;

2) проаналізувати тепло- і звукоізоляційні властивості та дослідити особливості структури зразків волокнистих ізоляційних матеріалів з урахуванням будови вихідних волокон і технології плетіння;

3) обрати обладнання та розробити практичні рекомендації щодо їх розкроювання на виробничій ділянці;

4) надати економічне обґрунтування доцільності застосування волокнистої ізоляції для машинного відділення;

5) розглянути заходи щодо охорони праці, довкілля, техніки безпеки на ділянці для розкроювання волокнистої ізоляції.

Об'єкт дослідження – процеси поглинання шуму і вібрацій композиційними матеріалами з волокнистою структурою.

Методи досліджень: аналіз літературних джерел, макро- і мікроаналіз

Інформаційну базу досліджень становлять наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених в області створення функціональних композиційних матеріалів, інтернет-ресурси, власний досвід автора.

РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СТРУКТУРИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Матеріали і методи дослідження

2.1.1. Дослідні композиційні матеріали.

Для досліджень в роботі обрані наступні види композиційних матеріалів (табл. 2.1):

- тепло- і звукоізоляційні мати ROCWOOL з мінераловатного матеріалу, якій використовується як суднобудуванні, так і для улаштування будівельних та інженерних конструкцій, житлових, промислових, офісних та інших приміщеннях;
- тепло- та звукоізоляційні мати ISOVER KL- E – м'яка, еластична плита зі скловати найвищої якості, яку застосовують у внутрішніх приміщеннях, для утеплення вентиляційних фасадів, у каркасному будівництві; плити KL класифіковані як негорючі;
- гібридна карбон-кевларова тканина, виготовлена за трикотажною технологією, яка застосовується для ізолювання комбіновано навантажених конструкцій приміщень, де потрібно дотримуватися певних умов захисту від електромагнітних випромінювань, термічного впливу, вібрацій тощо.

Таблиця 2.1

Властивості композиційних матеріалів

[складено автором за аналізом джерел 9-15]

Матеріал	Товщина, δ , мм	Щільність	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м·К)	Термостійкість $^{\circ}\text{C}$
ISOVER KL-E	60	140 кг/м ³	0,038	200
Карбон-кевларова тканина	0,25...2	205 г/м ²	0,30	500
ROCKWOOL	60	130 кг/м ³	0,035	750

2.1.2. Теоретично-методологічне підґрунтя досліджень

Особливості структури зразків обраних матеріалів було проаналізовано за допомогою макрознімки, зробленої за допомогою цифрової камери OLYMPYC, при масштабуванні яких визначено характер плетіння та взаємного розташування волокон у структурі композиційних матеріалів. Для досліджень особливостей плетіння застосовували оптичні мікрофотографії, зроблені на оптичному мікроскопі БІОЛАМ-И при невеликому збільшенні ($\times 90$).

Теоретично-експериментальним підґрунтям для дослідження акустичних властивостей матеріалів є аналіз існуючих результатів вимірювання рівней звукового тиску, джерелом яких звукові колонки (марки Samson Expedition Pro XP300) з частотними характеристиками 60...15000 Гц та частотою розділення 2300 Гц (24 дБ на октаву), як це запропоновано у роботі [16]. Теоретичну основу обробки експериментальних даних становлять основні положення реверберації як техніки звукозапису [17].

2.1.3. Розрахункові методики

Звукоізолююча здатність матеріалу визначається величиною:

$$R = L_{m1} - L_{m2} + 10 \lg \frac{S}{A} \quad , \quad (2.1)$$

де L_{m1} і L_{m2} – середні рівні звукового тиску в приміщеннях високого та низького рівнів відповідно, дБ; S — поверхня досліджуємої конструкції, м²; A – загальне звукопоглинання в тихому приміщенні (у даному у машинному відділенні з вимкнутим устаткуванням), яке дорівнює сумі добутку усіх площі на їх коефіцієнт звукопоглинання, м².

Загальне звукопоглинання визначається експериментальною формулою Себіна [17]:

$$A = \frac{0,162V}{T} \quad , \quad (2.2)$$

де V – об'єм вимірювального приміщення, м³; T – час реверберації (час, у

плині якого рівень звукового тиску у камері зменшується на 60 дБ після вимкнення джерела звукового тиску).

Для визначення коефіцієнта звукоізоляції необхідна наявність звукомірної ревербераційної камери.

Октавний рівень звукової потужності шуму $L_{p_{пр}}$ в дБ, що проходить через перешкоду або канал, який з'єднує приміщення з атмосферою, визначається за формулою

$$L_{p_{пр}} = L + 10 \lg S_p - \Delta L_p - \delta_d, \quad (2.3)$$

де, L – октавний рівень звукового тиску в дБ біля перешкоди; S_p – площа перешкоди в m^2 ; ΔL_p – зниження рівня звукової потужності шуму в дБ при проходженні звуку через перешкоду; δ_d – поправка в дБ, що враховує характер звукового поля при падінні звукових хвиль на перешкоду.

Розглянемо два випадки:

1) проведення дослідження у випадку розділення верхньої та нижньої камер зразком.

$$L_{p_{прзр}} = L + 10 \lg S_p - \Delta L_{p_{зр}} - \delta_d; \quad (2.4)$$

$$\Delta L_{p_{зр}} = \Delta L_1 + \Delta L_{зр} + \Delta L_2, \quad (2.5)$$

де ΔL_1 , ΔL_2 – ізоляція повітряного шуму відповідно до зразка і після нього; $\Delta L_{зр}$ – ізоляція зразком.

$$\Delta L_{p_{прзр}} = L + 10 \lg S_p - \Delta L_1 - \Delta L_{зр} - \Delta L_2 - \delta_d; \quad (2.6)$$

2) проведення дослідження у випадку з'єднання камер каналом.

$$\Delta L_{p_{без}} = \Delta L_1 + \Delta L_3 + \Delta L_2, \quad (2.7)$$

де ΔL_3 – звукоізоляція повітряного шуму в місці, де раніше був зразок.

$$\Delta L_{p_{прбез}} = L + 10 \lg S_p - \Delta L_1 - \Delta L_3 - \Delta L_2 - \delta_d. \quad (2.8)$$

Оскільки ΔL_3 – значно мала величина, то її можна прийняти рівною 0 ($\Delta L_3 = 0$). Виходячи з того, що $L = const, S_p = const, \delta_d = const$ та з умови, що

$\Delta L_3 = 0$, рівняння (2.7) та (2.8) можна навести в наступній формі

$$L_{p_{pp_{zp}}} + \Delta L_{zp} = L_{p_{pp_{\delta\epsilon z}}} ; \quad (2.9)$$

$$\Delta L_{p_{zp}} = L_{p_{pp_{\delta\epsilon z}}} - L_{p_{pp_{zp}}} \quad (2.10)$$

Отже, відповідно до формули (2.9) визначення параметра звукоізоляції у даному експерименті зводиться до визначення рівнів звукового тиску при використанні зразка та при його відсутності у звукоізоляційній камері.

Визначення середнього коефіцієнту звукопоглинання α який характеризує відношення падаючої енергії до пройденої через перешкоду визначається за формулою:

$$\alpha = 1 - \frac{L_{\text{пог}}}{L_{\text{пр}}} , \quad (2.11)$$

де $L_{\text{пог}}$ – рівень звукового тиску поглинутий матеріалом; $L_{\text{пр}}$ – рівень звукового тиску, що пройшов через матеріал.

2.2. Результати досліджень структури матеріалів

2.2.1. Результати досліджень ізоляції ROCKWOOL

Оптична мікрофотографія ізоляції Rocswool наведена на рис. 2.1

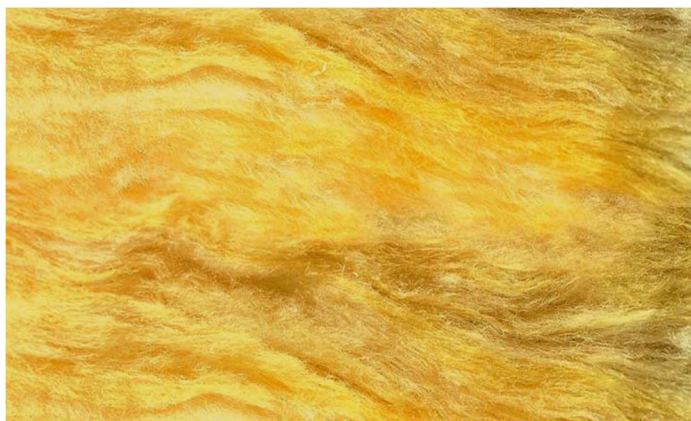


Рис. 2.1. Оптична мікрофотографія ізоляції Rocswool [18]

Структура у перетині мату являє собою перехрещені штучні вертикальні і горизонтальні мінеральні волокна (95,5...99,5 % об'ємн.) діаметром 3...6 мм,

просочені водною емульсією фенолоформальдегідної смоли (0,5...4,5 % об'ємн.), яка випаровується при температурі 250 °С.

Середній діаметр волокон складатиме 3 мкм (рис. 2.2) і має наступний хімічний склад: мас., %: 34...45 % SiO_2 , 15...24 % Al_2O_3 , 2...11 % Fe_2O_3 , 20...35 % $(\text{CaO}+\text{MgO})$, 1...7 % $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$.

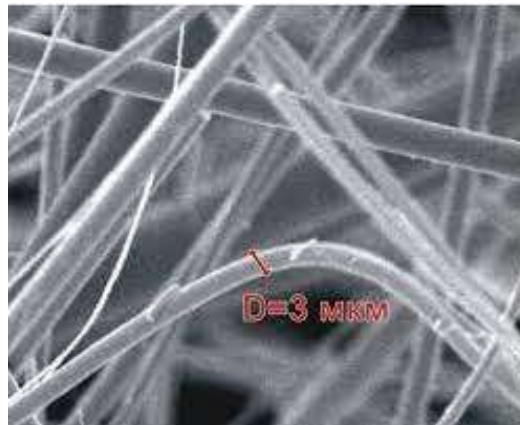


Рис. 2.2. Електронна мікрофотографія мінерального волокна [13]

Завдяки такої структури та обробки цей вид ізоляції матиме підвищену вологостійкість, вогнетривність і може застосовуватися до 750, а в окремих випадках і до 900 °С.

2.2.2. Результати дослідження стекломату ISOVER KL-E

На рис. 2.3 зображена оптична фотографія перетину стекломату ISOVER KL- E, на якій можна побачити пухку, ще не zdeформовану текстуру волокнистого матеріалу.



Рис. 2.3. Оптична фотографія стекломату ISOVER KL- E
[фото зроблено автором]

Високі експлуатаційні властивості скломату ISOVER KL- E зумовлені хімічним складом волокон, мас.: % SiO_2 (47,5...55,0); TiO_2 (1,36...2,0), Al_2O_3 (14,0...20,0), $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ (5,38...13,5), MnO (0,25...0,5), MgO (3,0...8,5), CaO (7...11,0), Na_2O (2,7...7,5), K_2O (2,5...7,5), P_2O_5 (не більш ніж 0,5); SO_3 (не більш ніж 0,5) [11] і їх майже бездефектною структурою (рис. 2.4).

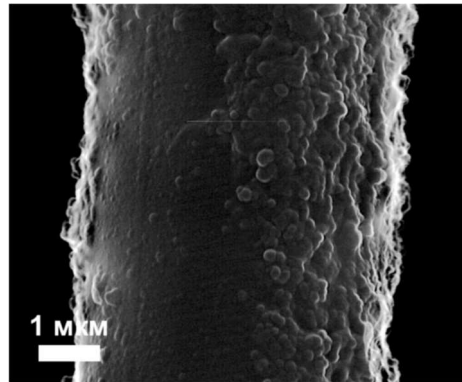


Рис. 2.4. Електронна мікрофотографія волокна [11]

На оптичній фотографії, наведеній на рис. 2.5, добре видно характер валяної структури, де тонкі волокна діаметром 50 мкм розташовані між скрученими грубими волокнами діаметром 500 мкм.



Рис. 2.5. Оптична фотографія розташування волокон

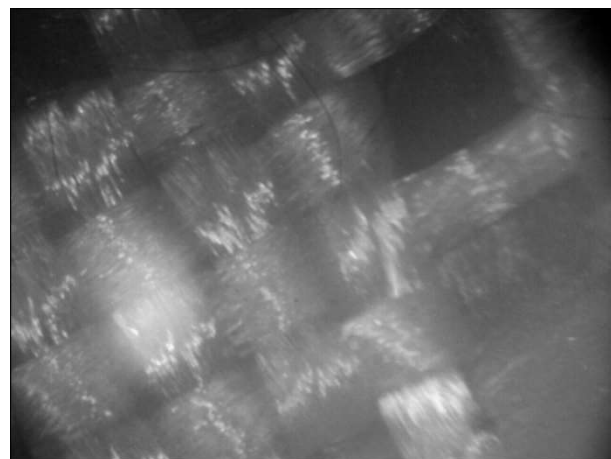
Проте суттєвим недоліком волокнистих матів є вологопоглинання, стисливість та втрачання тепло- та звукоізоляційних властивостей під час роботи у складі ізоляційних конструкцій.

2.2.3. Результати досліджень технічного текстилю з карбонових і кевларових волокон

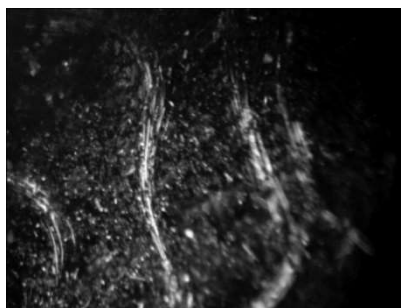
На рисунку 2.6 наведено: зразок гібридної карбон-кевларової тканини (рис. 2.6 а), оптичну мікрофотографію структури (рис. 2.6 б) та оптичну мікрофотографію ниткового плетіння (рис. 2.6 в). Дослідження показали, що тканина має просте рогожисте плетіння (Plain) 1x1. Перевагами цього виду плетіння є висока щільність зчеплення джутів. Края полотен добре оброблені, що підвищує їх технологічність. Механічні властивості тканини безпосередньо залежать від виду плетіння. Завдяки спеціально зшитій структурі у гібридних тканин відсутній ефект складок, який характерний для тканих матеріалів. Саме ця особливість дозволяє отримувати максимально можливу міцність та звести до мінімуму можливість розшарування.



а



б



в

Рис. 2.6. Гібридна карбон-кевларова тканина [фото зроблені автором]:

а – зовнішній вигляд; б – фрагмент структури, $\times 90$;

в – ниткове плетіння, $\times 180$

Як показали проведені експериментальні дослідження гібридні тканини володіють найкращими механічними характеристиками, особливо при розтягуванні, що безпосередньо пов'язано з їх структурою та видом плетіння.

Карбонові волокна мають переважно фібрилярну будову з кристалами стрічкоподібної форми товщиною 10...20 нм. Оскільки аморфний карбон не має дальнього порядку, структура волокон має велику кількість дефектів, зменшення кількості яких досягається через поверхневу обробку апретами, аморфними плівками, карбідами кремнію та карбідами металів. Фізико-хімічні основи технологій органічних і неорганічних волокон описано у роботі [14]. Діаметр пор дорівнюється $(1-2) \cdot 10^{-3}$ мкм, а їх довжина – $(2-3) \cdot 10^{-3}$ мкм: це можна побачити на електронній мікрофотографії, зробленій з бокової поверхні (рис. 2.7). Вихідними матеріалами для отримання карбонових волокон є віскозні та поліакрилові волокна або пекі.

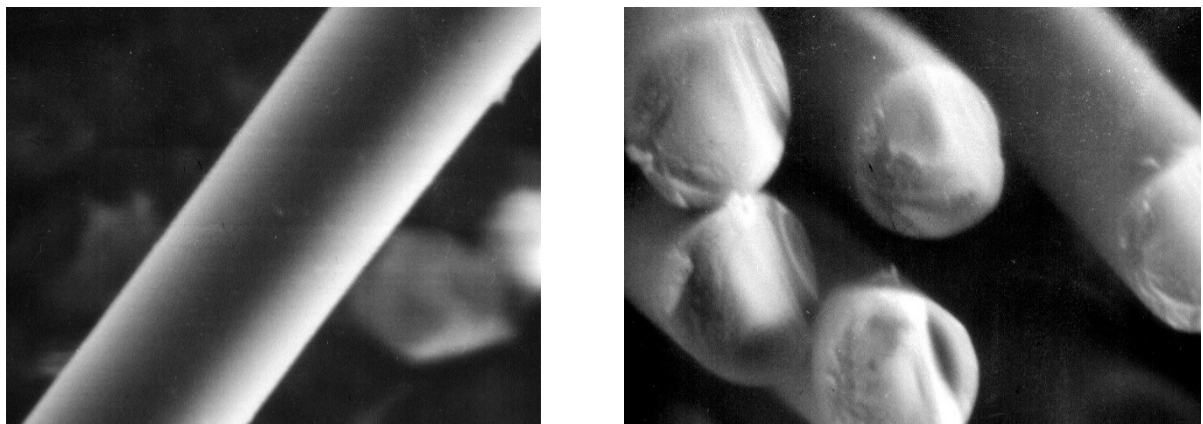
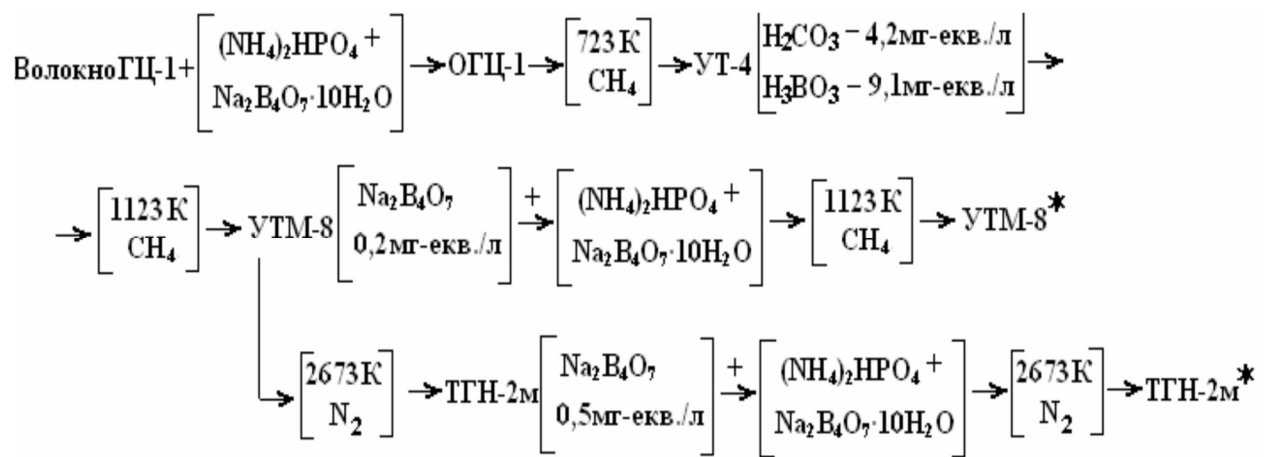


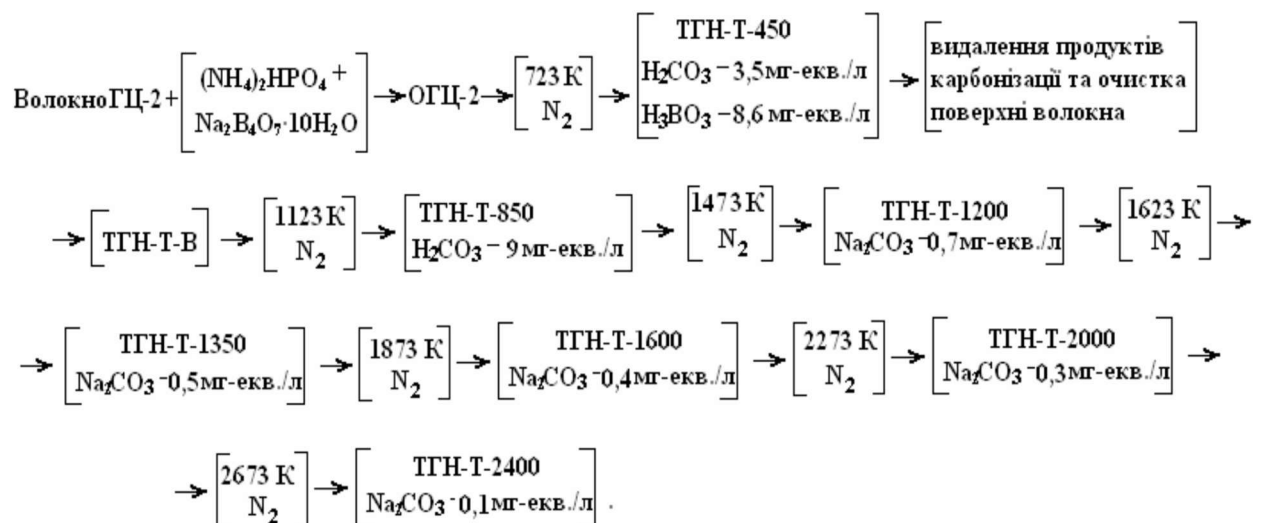
Рис. 2.7. Електронна мікрофотографія бокової поверхні карбонового волокна, $\times 1000$ [14]

Технологічні етапи включають у себе наступні стадії, які описуються наступними хімічними реакціями [14]:

- перша стадія



- друга технологічна стадія



Сучасна промисловість випускає карбонові волокна у вигляді штапелю, пряжи (кручених нитей, які складаються з різаних волокон) або ровінгу (пасма, які складаються з паралельних або ледь підкручених волокон). Карбонові волокна можуть бути переробленими у різні види текстильних структур, зокрема у войлок або нетканий матеріал.

Волокно «Кевлар» являють собою кристалічний полімер [13] сітчастої структури, де жорсткі полімерні ланцюги знаходяться у розпрямленому стані та утворюють щільне пакування у об'ємі волокна. Це саме й визначає їх високі міцнісні властивості. Кристалічна природа полімеру забезпечую високу термічну стабільність волокон, а наявність ароматичних кілець у структурі макромолекули обумовлює високу хімічну стабільність волокон. Завдяки

жорсткої структурі макромолекул при нагріванні арамідних волокон у їх структурі не відбуваються фазові перетворення, поки температура не буде відповідати температурі термічного розкладання. Волокна «Кевлар» виробляються у вигляді технічних нитей з різною лінійною щільністю та структурою (рис. 2.8). Число елементарних волокон при виготовленні тканини у типових нитках можуть змінюватися від 130 до 1000. «Кевлар» виробляється у вигляді пряжі, нитей, ровінга та тканин. Волокна не прозорі, середній діаметр їх складає 11 мкм [13].

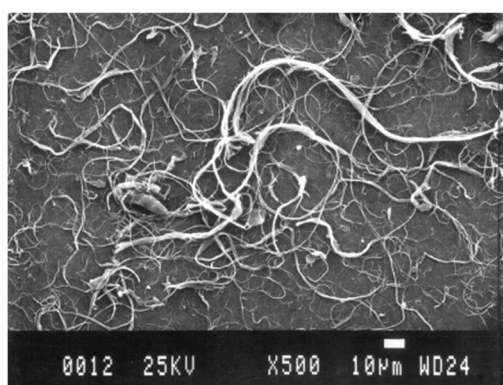


Рис. 2.8 – Мікрофотографія волокна «Кевлар» [13]

Структуру арамідного волокна «Кевлар» представлено рис. 2.9.

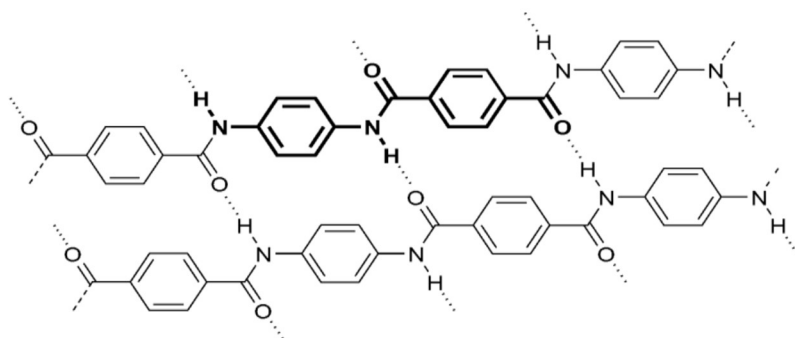


Рис. 2.9. Будова ланцюжка арамідного волокна «Кевлар» [13]

Таким чином, за своєю структурою дослідна гібридна карбон-кевларова тканина являє собою шаруватий матеріал, який характеризується високою анізотропією властивостей, яка безпосередньою впливає на тепло-

звукоізоляційні та захисні властивості конструкцій, у яких вони працюють, наприклад, для захисту від електромагнітних випромінювань.

2.3. Результати розрахунків коефіцієнту звукопоглинання та узагальнення властивостей дослідних матеріалів

Поставлено завдання: розрахувати (див. § 2.1) значення коефіцієнтів звукопоглинання для наступних видів матеріалів: ізоляція ROCKWOOL ($h=23$ мм); скловолокнисті мати ISOVER KL- E ($h=60$ мм); карбон-кевларова тканина та порівняти отримані результати з вже відомими значеннями будь-якого ізоляційного матеріалу. Для порівняння обрано базальтові мати Paroc - InVent 80G2, $h = 60$ мм ($\rho = 14$ кг/м³). За допомогою шумоміра визначаються рівні звуку у середньгеометричних частотах (L_i , дБ) та рівні звукового тиску за шкалою «А» (L_A , дБ). Приклад обробки результатів для карбон-кевларової тканини наведено на рис. 2.10.

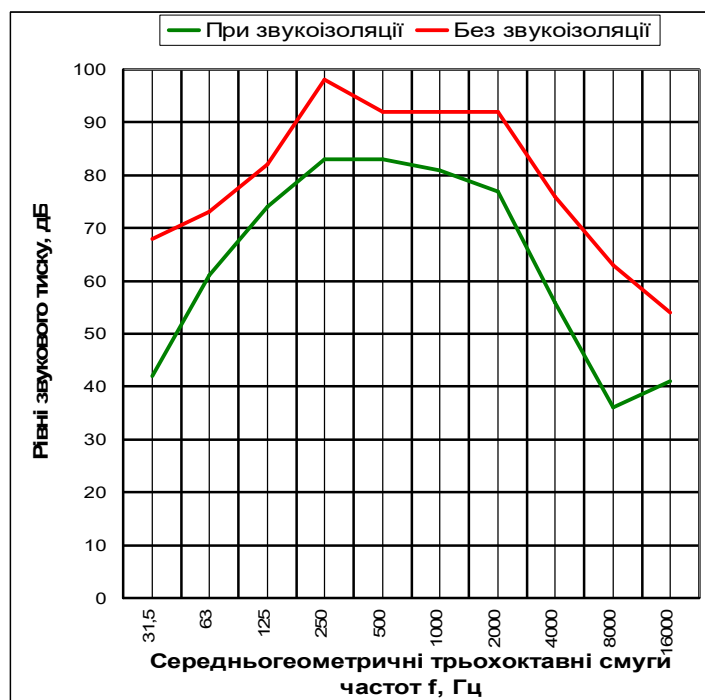


Рис. 2.10. Рівні звукового тиску у трьохоктавних смугах частот для зразку карбон-кевларової тканини

Спочатку визначаються дані характеристики при відсутності зразка, а потім — при його використанні для кожного з матеріалів. Вимірювання відбуваються за ДСТУ БВ.2.6-86:2009 у середньо геометричних трьохоктавній смузі частот 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Гц за наявності зразка.

На рис. 2.11 наведено порівняльні характеристики волокнистої ізоляції ISOVER KL-E різної товщини ($h = 55$ мм і $h = 60$ мм) з ізоляцією Paroc- in VentG2 товщиною 30 і 60 мм.

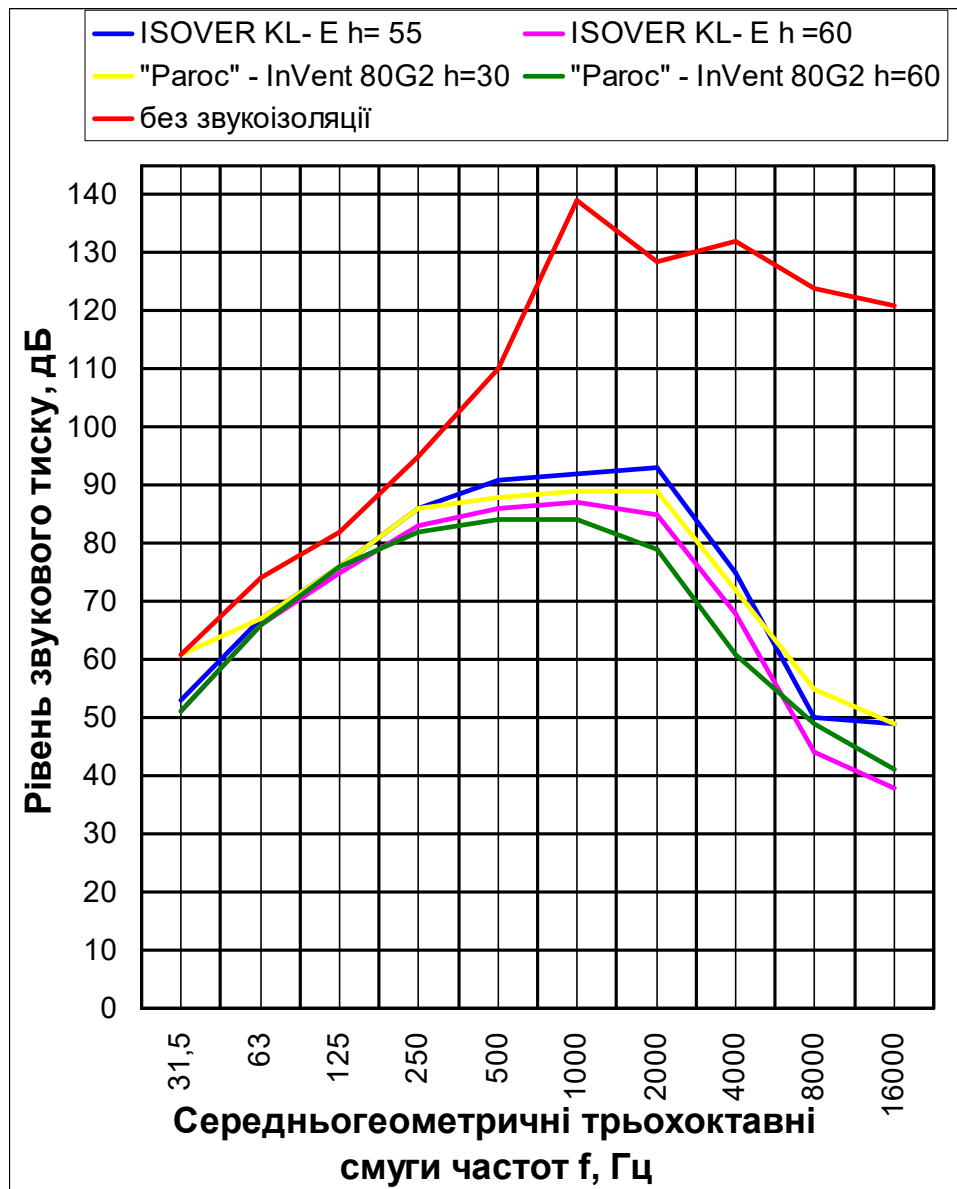


Рис. 2.11. Рівень звукового тиску у середньгеометричних трьохоктавних смугах частот для волокнистих матеріалів ISOVER KL-E і Paroc- in VentG2

З рис. 2.11 є очевидним, що значення по зниженню звукового тиску спостерігаються з збільшенням товщини дослідних зразків, і найбільше зниження звукового тиску має базальтові мати Paroc- InVent 80G2 товщиною 60 мм при щільності 40 кг/м^3 та скловолокнисті мати ISOVER KL- E товщиною 60 мм при щільності 14 кг/м^3 . Ізоляційні мати ISOVER KL- E товщиною 60 мм на частотах 16000 Гц і 8000 Гц мають високі звукоізоляційні характеристики. Найменше значення звукоізоляції 7 дБ даний матеріал має на частоті 125 Гц при потужності джерела 82 дБ. На частоті 31,5 Гц значення звукоізоляції 10 дБ спостерігається при потужності джерела 61 дБ. На частоті 63 Гц звукоізоляція 8 дБ при потужності 74 дБ. На частоті 250 Гц при потужності 95 дБ найбільше значення звукоізоляції — 12 дБ; на частоті 500 Гц при потужності 110 дБ — найбільше значення 24 дБ; на частоті 1000 Гц при потужності 139 дБ — найбільше значення 52 дБ; на частоті 2000 Гц найбільше значення звукоізоляції 43,5 дБ при потужності джерела 128,5 дБ; на частоті 4000 Гц найбільше значення звукоізоляції 64 дБ при потужності джерела 132 дБ. Виходячи з результатів досліджень базальтових матів Paroc- InVent 80G2 та скловолокнистих матів ISOVER KL- E різної висоти зразків можна зробити висновок, що з зменшенням товщини досліджених зразків звукоізолюючих матів зменшуються акустичні характеристики. Для досягнення зниження маси звукоізолюючих конструкцій доцільно використовувати в якості звукопоглинаючого наповнювача використовувати скловолокнисті мати ISOVER KL- E для зниження шуму на низьких, середніх, та високих частотах.

Для порівняння акустичних характеристик досліджуваних матеріалів використовується середній коефіцієнт звукопоглинання (α), який розраховується за формулою (2.11). За допомогою середнього коефіцієнта звукопоглинання можна порівняти матеріали за їх здатністю зниження звукового тиску незалежно від потужності джерела звукових коливань на середньгеометричних трьохоктавних смугах частот. Результати розрахунків наведено на рис. 2.12.

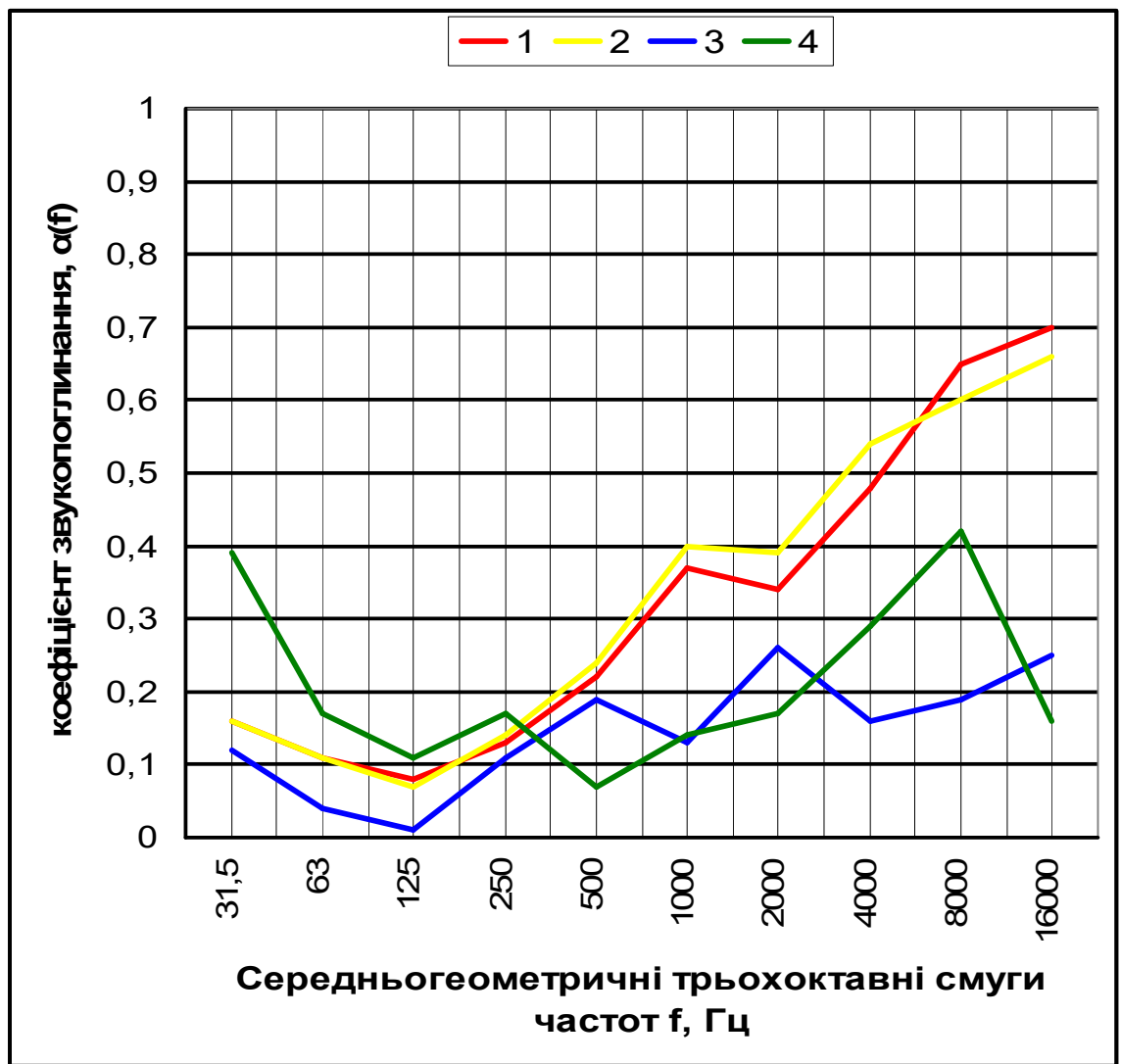


Рис. 2.12. Результати розрахунків коефіцієнту звукопоглинання зразків композиційних матеріалів у середньогометричних трьохоктавних смугах

частот: 1 – скловолокнисті мати ISOVER KL- E, $h = 60$ мм;

2 – базальтові мати "Paroc" - InVent 80G2, $h = 60$ мм;

3 – ізоляція ROCKWOOL, $h = 23$ мм; 4 – карбон-кевларова тканина

Результати показали доцільність використання всіх розглянутих видів матеріалів. Проте через малу товщину шару, нестисливість в умовах водопоглинання та вібрацій в роботі можна рекомендувати карбон-кевларову тканину, для якої далі в роботі будуть розроблені практичні рекомендації.

2.5 Висновки до розділу

1 Для досліджень обрано валяні мати ROOCWOOL, ISOVER KL-E та гібридну карбон-кевларову тканину, виготовлену за трикотажною технологією.

2 В основу постановки теоретично-експериментальних досліджень покладено методи макроаналізу з цифровою мікроз'ємкою, які застосовуються для композитних текстильних матеріалів, теоретично-практичні основи реверберації та розрахункові методики визначення коефіцієнту звукопоглинання з використанням відомих експериментальних даних.

3 Структура ізоляції ROCKWOOL у перетині мату являє собою перехрещені штучні вертикальні і горизонтальні мінеральні волокна (95,5...99,5 % об'ємн.) діаметром 3...6 мм, просочені водною емульсією фенолоформальдегідної смоли (0,5...4,5 % об'ємн.), яка випаровується при температурі 250 °C.

4. Багатокомпонентний хімічний склад волокон ізоляції ISOVER KL-E та характер їх валяння, особливість якого полягатиме у розташуванні тонких волокон з діаметром 50 мкм між скрученими грубими волокнами діаметром 500 мкм визначають високі експлуатаційні властивості.

5. За своєю структурою дослідна гібридна карбон-кевларова тканина являє собою шаруватий матеріал, яка характеризується високою анізотропією властивостей, що безпосередньою впливає на її експлуатаційні властивості.

6. Розрахункова частина роботи полягатиме у розрахунках коефіцієнта звукопоглинання дослідних матеріалів у трьохоктавних смугах частот, результати яких у графічному вигляді представлені на даному слайді. Результати показали доцільність використання всіх розглянутих видів матеріалів, проте через малу товщину шару, нестисливість в умовах водопоглинання та вібрацій в роботі можна рекомендувати карбон-кевларову тканину

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ НА ДІЛЬНИЦІ

3.1. Рекомендації щодо вибору обладнання і устаткування для розкрою ізоляції з карбон-кевларової тканини

Розкрій гібридної карбон-кевларової тканини є важливою технологічною операцією при виготовленні шаруватої ізоляції та вимагатиме ретельного вибору обладнання, устаткування та інструменту. Трудомісткість робіт, пов'язаних з розкроюванням, складає приблизно 15 % [16]. Для розкрою композитних тканин можна використовувати фрези, ножиці, ножі, лазерний промінь, водяний струмінь та інші ріжучі засоби [10]. На підприємствах галузі широко застосовують ніж Гербера (віброніж), що коливається з частотою 85 Гц. Ніж, виготовлений із вуглецевої сталі дозволяє розкроювати тканини із швидкістю до 10 м/хв. Ультразвуковий розкрій є перспективним з точки зору його автоматизації. Розкрій лазерним променем є найбільш продуктивним, що у значній мірі підвищує виробничість процесу розкрою та дозволяє не тільки автоматизувати процес, а й впровадити технологію у серійне та масове виробництво [20].

Пристрій для розкрою композитних тканин встановлюється на викладальній головці верстата з ЧПУ ВКЛ2-8С, на якому розкрій тканини здійснюється лазером з точністю 0,01 мм і товщиною різа менше 0,1 мм, що дозволяє значно підвищити продуктивність і точність розкрою зі зменшенням кількості браку і відходів дорогих композиційних матеріалів. При викладанні тканини у формі виробу пристрій з дисковим ножом необхідно знімати, що додає відповідні технологічні труднощі та збільшує час виробництва. Для розкрою композитних тканин: вуглецевої та гібридної карбон-кевларової в роботі обрано станок для розкрою тканини моделі INVESTCUT (табл. 4.1). Розкрійний алюмінієвий стіл має комірчасто-сітчасту текстуру; його поверхня його складається з поперечних та повздовжніх планок. У верхній частині

планки мають скіс, для фіксування матеріалу на столі та видалення продуктів термічного розкладу на столі передбачено вакуумну систему. Поза розкрійною зоною встановлені механізми: подачі матеріалу з рулону, захвату краю, пневматичному зйомі викроєних деталей з комплектування. В установці промінь рухається по заданому контуру за рахунок одночасного і узгодженого руху механізмів за координатами X і Z . При цьому забезпечується постійність контурної результуючої швидкості руху, яка задається залежно від виду матеріалу, його товщини та потужності лазера.

Таблиця 4.1

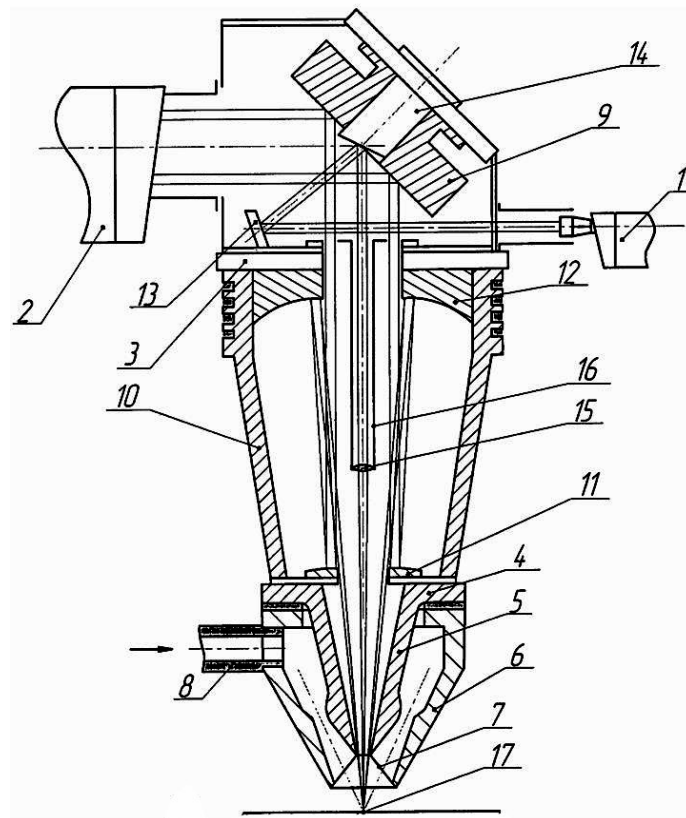
Технічні характеристики установки [складено за джерелам 7, 18]

Характеристики	Значення
Робочий стіл	1200х3600 мм
Робоча довжина поворотної осі	100 мм
Лінійна швидкість розкрою	до 0,4 м/с
Довжина хвилі лазерного випромінювання	0,4 мкм
Потужність лазерного випромінювання	800 Вт
Установлена потужність	35,5 кВт
Маса	450 кг

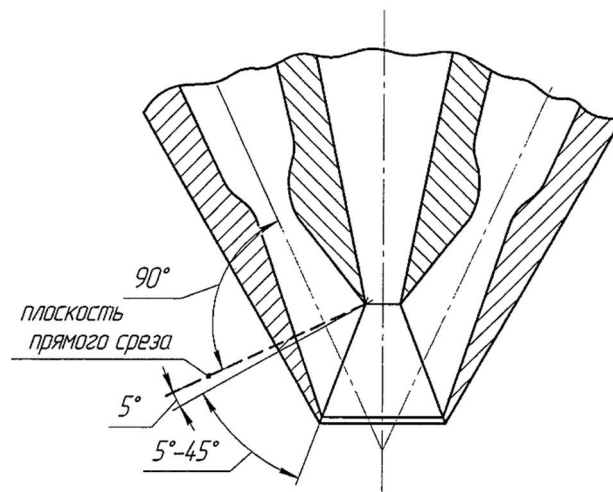
Застосування обраного обладнання сприятиме охайної обробці кромки композитної карбон-кевларової тканини та знехтує оплавлення кромки.

3.2. Модернізація устаткування

В роботі пропонується модернізувати пристрій для розкрою композитної тканини, впроваджуючи розкрій лазером. Схему модернізованого вузла наведено на рис. 3.1.



а



б

Рис. 3.1. Модернізована лазерна головка: а – загальний вид; б – вид надзвукового сопла зі косим зрізом на виході: 1 – короткохвильовий лазер; 2 – довгохвильовий лазер; 3 – газооптична головка; 4 – сопловий пристрій; 5 – центральне конічне скло; 6 – кільцеве сопло; 7 – сопло з косим зрізом; 8 – система подачі технологічного газу; 9, 13 – поворотне дзеркало; 10 – об’єктив; 11, 12 – кільцеві дзеркала; 14 – дзеркало; 15 – фокусна лінза; 16 – корпус; 17 – зона різання

Конструкторську розробку наведено на кресленні 132.6131м ДР05.01.

Лазерне випромінювання сфокусовано так, що вісь проміння співпадає з віссю сопла, фокус проміння знаходиться усередині сопла, а діаметр променю на поверхні розрізаючої пластини перевищує вихідний діаметр сопла. Промінь нагріває тканину до температури, більшої, ніж температура горіння, але меншої, ніж температура плавлення. Товщину розрізаємих шарів задають умовою H/D_a , де H – товщина шару тканини, що розрізається, в мм, D_a – вихідний діаметр сопла, мм.

Певний вибір параметрів різання, а саме величини тиску в камері сопла і величини зазору між вихідним перетином сопла і розрізаємої тканини, дозволяє підвищити якість поверхні різа.

Технічний результат від модернізації полягатиме в збільшенні глибини різа і товщини шарів композиційної тканини, що прорізається, в підвищенні якості поверхні різа, а саме зменшення її ширини різа і відсутність обгорання країв тканини. Установка для газолазерного різання містить генератори лазерного випромінювання – короткохвильовий з суцільним вихідним пучком і довгохвильовий з кільцевим вихідним пучком; оптичну систему; газооптичну головку з сопловим пристроєм, що складається з центрального конічного сопла для подачі двопроменевого лазерного випромінювання і коаксіально йому розташованого кільцевого сопла для подачі технологічного газу, виконаного з косим зрізом на виході, зверненим до осі симетрії сопел. Косий зріз надзвукового кільцевого сопла виконаний під кутом від 5 до 45° щодо площини його прямого зрізу. Таким чином, короткохвильовий промінь має амплітуду сумісною з товщиною композитної тканини і у вигляді суцільної плями фокусується на оброблювальній поверхні. Технологічний газ у вигляді надзвукового струменя подається у зону різання через кільцеве сопло, що звужується-розширюється, з косим зрізом на виході

3.3. Сутність способу розкрою карбон-кевларової тканини

Тезисне охарактеризуємо спосіб розкрою тканини за допомогою модернізованого лазера.

3.3.1. В зону різа через центральне конічне сопло направляється два лазерні промені з різними довжинами хвиль, які спочатку фокусуються на оброблюваній поверхні, а активний технологічний газ направляється в зону різа через зовнішнє кільцеве надзвукове сопло з косим зрізом.

3.3.2. Інтенсифікація процесу газолазерного різання фізично відбувається по наступному механізму: спочатку короткохвильовий промінь, нагріває і плавить композиційну тканину через те, що поглинальна здатність його більше в 1,5-2 рази, ніж довгохвильового променя.

3.3.3. При нагріві і плавленні композиційна тканина інтенсивно горить у присутності активного технологічного газу. В наступний момент зона горіння тканини збільшується і кільцевий довгохвильовий промінь впливає на зону горіння, при цьому його поглинальна здатність збільшується і порівнюється з короткохвильовим поглинанням, тому їх сумісна двохпроменева дія на зону різа веде до збільшення глибини різа.

3.3.4. Сфокусований імпульсний короткохвильовий промінь, заглиблюється з амплітудою, рівній товщині матеріалу по фронту різа, оплавляє його поверхню і сприяє збереженню поглинальної здатності довгохвильового променя.

3.3.5. Плівка розплаву і частинки оплавленої тканини, що утворилися, віддаляються компактным надзвуковим струменем технологічного газу. Цей процес багато разів повторюється і визначає швидкість різання і її продуктивність.

3.3.6. Короткохвильовий імпульсний промінь подається з частотою (20...210) Гц і амплітудою, рівній товщині тканини, що прорізається, довгохвильовий промінь фокусується у вигляді кільця навкруги плями короткохвильового.

3.3.7. Технологічний газ (активний кисень, повітря або суміш (O+N або пасивний – азот, аргон) подається через кільцеве надзвукове сопло, що звужуючись-розширяється, з косим зрізом, який обертається тупим кутом до осі симетрії лазерного променя.

3.3.8. Струмінь газу підтискається до осі, при цьому збільшується його швидкість і інтенсивність дії на тканину. Високошвидкісний надзвуковий струмінь технологічного газу забезпечує необхідну глибину різа і високу якість його поверхні.

3.3.9. Таким чином, за рахунок сумісної двохпроменевої дії короткохвильового і довгохвильового лазерного проміння і надзвукового струменя технологічного газу, направленого в зону різа з підтисканням за рахунок косого зрізу сопла, досягається інтенсифікація процесу газолазерного різання композиційних тканин великої товщини з високою якістю поверхні різа.

3.4. Складання технологічної схеми та вибір додаткового обладнання

Організація спеціалізованих ділянок розкрою композитних тканин із застосуванням механізованих та автоматизованих засобів розкрою, спеціалізованого інструменту та науково обґрунтованих методик істотно підвищує продуктивність праці, якість виробів, зменшує витрати матеріалів.

Розкрій заготовок для викладання деталей з плоскою поверхнею, як правило, не викликає труднощів. Найскладнішим є розкрій композитних тканин для шаруватих конструкцій, шар якої являє собою незамкнену асиметричну або елемент такої поверхні. При цьому необхідно обирати найменшу кількість одиниць розкрою і точність реалізації форм та розмірів [18]. Практично це можливо в результаті реалізації наукового підґрунтя, яке закладається в основу роботи станків з ЧПУ, наприклад, модель ЧПУ H22-1M(15). При цьому форму поверхні наближають до поверхні другого порядку,

обирають відповідну математичну модель формоутворення, яку й закладають при програмуванні обладнання.

В процесі розкроювання заготовок еліпсоїдної або викривленої форми слід звернути увагу на виникнення деформацій вигину. При формуванні полотен з великими радіусами кривизни деформаціями вигину можна знехтувати. Слід також звертати увагу на структуру перерізу тканини, яка безпосередньо залежить від виду плетіння композитної тканини. Так, тканини, які мають рогожисте плетіння (плетіння Plain), найкраще використовувати для плоских заготовок. Тканини із саржевим плетінням (плетіння Twill), які мають більшість вуглецевих тканин, більш підходять для формування заготовок з певною кривизною поверхні.

При розкроюванні обраних композитних тканин операції виконують у наступній послідовності:

3.4.1 Зняти упаковку з рулону тканини.

3.4.2. Покласти рулон композиційної тканини на розмотувальний пристрій розкрійного столу.

3.4.3. Закріпити тканину у затискному пристрої.

3.4.4. Розгорнути рулон тканини на всю довжину розкрійного столу.

3.4.5. Розташувати шаблони по кромці тканини.

3.4.6. Нанести базові риси крізь прорізи у шаблоні.

3.4.7. Вирізати шість заготовок разом, при цьому кромку тканини не слід обрізати.

3.4.8 Обрізати заготовку перпендикулярно до основи тканини.

3.4.9. Контролювати: відповідність напрямку основи тканини на шаблонах; якість обрізки тканини по контуру шаблону; відсутність сторонніх включень на перерізі.

3.4.10. Транспортування та зберігання тканини повинно здійснюватися у відповідності з вимогами ГОСТ25388 у пакованому вигляді при температурі не нижче ніж 10 °C та вологості не вище ніж 85 %.

Розглянемо додаткове обладнання, яке необхідно для організації виробництва на дільниці [16-18].

Підйомно-транспортне устаткування, яке використовується в цеху, підрозділяється на дві великі групи: конструктивно пов'язане зі складськими приміщеннями (скати, тельфери, елеватори та ін); не пов'язане зі складським приміщенням, тобто транспортні засоби з вільним переміщенням (безрейкові і ручні транспортні засоби). В якості підйомно-транспортного обладнання використовуємо штабелер ТШП-89 який являє собою самохідний візок з підйомною платформою, що переміщається. На оглядовій платформі розміщується робітник-оператор. Для безпеки оператора платформа має поручні і захисну огорожу. На передній частині платформи є пристрої для захоплення візків, навантажених рулонами тканини. Переміщення штабелера здійснюється від електроприводу через фрикційну передачу, передача руху на механізм підйому каретки через канат.

Вимірювальне обладнання. Контроль довжини і ширини тканини є обов'язковою операцією. Довжина тканини визначається як відстань між початком і кінцем рулону або відрізка тканини, ширина – як відстань між двома краями тканини разом з кромками або без них в напрямі, перпендикулярному ниткам основи. Вимірювання розмірів тканини виконують на горизонтальному вимірювальному столі вимірювальною лінійкою з ціною поділки 1 мм. Окрім вимірювального столу, застосовують вимірювально-розбракувальну машину машини МП-1, помилка вимірювання на якій складає $\pm 0,3\%$.

Складське обладнання. Наявність складів для зберігання тканини на підприємстві визначається в основному необхідністю мати достатню кількість тканини, щоб можна було вибрати такі шматки для одного настилу, які не тільки розраховуються без залишку, але мають одну ширину і приблизно однакові фізико-механічні властивості. При масовому зберіганні рулони тканин укладають штабелем на піддони, у візки, на стелажі ялинкового типу по декілька рулонів в кожній секції. Штучне зберігання полягає в розміщенні

кожного рулону у відведеному для нього місці. Для штучного зберігання можуть застосовуються стаціонарні стелажі і елеватори.

Настилання тканин. Настилання може здійснюватися за допомогою настільних машин або уручну на столах, обладнаних розмотувальними пристроями, лінійками для затиску заднього кінця настилу, відрізування полотна і притиску переднього кінця настилу. Для настилання композиційних матеріалів використовуємо Напівавтоматичний настільний комплекс ПНК який дозволяє автоматизувати процес настилання тканин. Для підвищення коефіцієнта використання часу роботи настільних машин настили тканин потрібно видаляти з робочої зони машини.

3.5 Компоновка і опис дільниці для розкрою композитної карбон-кевларової тканини

Дільницю для розкрою композитної карбон-кевларової тканини розроблено на основі наступних нормативних документів:

- ДСТУ 2960-94. Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення
- ДСТУ 3185-95. Організація промислового виробництва. Праця і заробітна плата. Терміни та визначення
- ДСТУ ISO 9000-2001. Система управління якістю. Основні положення і словник
- Закон України «Про підприємство в Україні» (https://zakononline.com.ua/documents/show/453130__754445)
- Державний класифікатор України. Класифікатор відходів (із змінами і доповненнями, внесеними наказом Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації від 30 березня 2000 року № 252, наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 22 січня 2008 року № 18)

- ДБНВ. 1.2-8:2021. Основні вимоги до будівельних споруд. Гігієна, здоров'я та захист довкілля

- Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників

Об'ємно-планувальні та конструктивні рішення виробничих будівель і приміщень повинні відповідати вимогам «Гігієнічних норм проектування виробничих об'єктів» і БНіП «Виробничі будівлі», вимогам норм технологічного проектування, промислової естетики. Вибирати місця розміщення виробничої ділянки треба згідно із санітарними вимогами. Приміщення повинно мати природне освітлення, а також форму, яка не утворює застійних зон, де накопичуються пил, аерозолі та газ. Висота виробничих приміщень та оздоблювальних цехов залежить від характеру технологічного процесу і застосовуваного технологічного обладнання, повинна бути обґрунтована розрахунками волого-теплових надходжень (від технологічного обладнання і ін) з урахуванням забезпечення в робочих приміщеннях нормативних параметрів температури, вологості і шкідливих речовин, але не менше 3,3 м (від підлоги до підлоги наступного поверху згідно БНіП «Виробничі будівлі»). Площі складських приміщень (для сировини, напівфабрикатів, допоміжних матеріалів тощо) повинні бути обґрунтовані розрахунками з урахуванням необхідного запасу.

Відстань між обладнанням, транспортними засобами і конструктивними елементами будівель, а також площа на одного працюючого приймається у відповідності з галузевими нормами, викладеними в «Інструкції по розрахунку виробничих потужностей діючих підприємств, виробничих об'єднань». Для стін, стель і інших поверхонь виробничих приміщень слід передбачати обробку, яка допускає їх систематичну очистку та вологе прибирання. Забороняється проведення прибирання стисненим повітрям. Приміщення повинно бути забезпечено вуглекислотними вогнегасниками. Установка обладнання, підведення живлення мають відповідати «Правилам технічної експлуатації електроустановок споживачами і правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем»; транспортування, збереження та

експлуатація балонів з робочими газами – «Правилам улаштування і безпечної експлуатації ємностей, які перебувають під тиском».

Визначившись з необхідним обладнанням і розрахувавши його кількість, запропоновано наступну компоновку дільниці. Для розкрою композиційних тканин для виготовлення захисних екранів від електромагнітного випромінювання необхідне наступне обладнання:

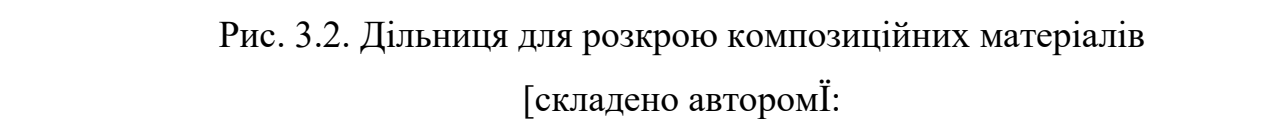
- 1 Стелаж для зберігання тканин – 1 шт.;
- 2 Тумбочка для зберігання еталонів – 1 шт.;
- 3 Штабелер моделі ТШП-89 – 1 шт.;
- 4 Напіваавтоматичний настилочний комплекс моделі ПНК – 1 шт.;
- 5 Промерочна машина моделі МП-1 – 1 шт.;
- 6 Станок для розкрою тканини моделі INVESTCUT – 1 шт.;
- 7 Тумбочка з інструментами – 1 шт.;
- 8 Шафа зі спец одягом – 1 шт.;
- 9 Монтажний стіл – 1 шт.;
- 10 Стелаж для виробів – 1 шт.;
- 11 Електричний щит – 1 шт.

Для проведення робіт на нашій ділянці потрібно два працівника, тому робочих місць буде два.

Дільниця розкрою композиційних матеріалів входить до складу цеху, тому адміністративні і побутові приміщення є загального використання і знаходяться за межами даної дільниці. Виконаємо компоновку дільниці згідно габаритних розмірів необхідного обладнання враховуючи норми БНіП на відстань між обладнанням і розмір мінімальних проходів (рис. 3.2). Розрахуємо довжину і ширину дільниці. Вони полягають, з довжини (ширини) обладнання, відстаней між обладнанням і відстанню між стінами і обладнанням.

Довжина: $L = 1000 + 800 + 1000 + 1900 + 1100 + 1200 + 1000 = 8000$ мм

Ширіна: $B = 450 + 500 + 900 + 1000 + 1200 + 500 + 450 = 5000$ мм.



3.6. Висновки до розділу 3

1. Для розкрою карбон-кевларової тканини обрано метод лазерного різання, для чого обрано верстат з ЧПУ моделі INVESTCUT.

2. Модернізовано устаткування для розкрою композитних тканин: пристрій з дисковим ножом, виготовлений із швидкорізальної сталі P18 замінено на головку з лазером. Технічний результат, на досягнення якого направлена запропонована модернізація, полягає в збільшенні глибини різки і товщини шарів композиційної тканини, що прорізається, в підвищенні якості поверхні різки, а саме зменшення її ширини різки і відсутність обгорання країв тканини.

3. Обрано додаткове обладнання, а саме підйомно-транспортне, вимірювальне, складське, обладнання для настилення тканини.

4. Розроблено план виробничої ділянки для розкрою композитної тканини, здійснено компоновку обладнання.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБКИ

Мета розділу полягати у розрахунках техніко-економічних показників технологічного процесу розкрою волокнистої ізоляції на ділянці з використанням волокнистих композиційних матеріалів ROOCWOOL, ISOVER KL-E та гібридної карбон-кевларової тканини.

Вихідними даними для розрахунків є габаритні розміри ізоляційного полотна (довжина 200 мм; висота 200 мм; ширина 160 мм) і річна програма 10000 одиниць продукції.

Розрахунок робиться по наступних статтях витрат [21]:

- витрати на матеріали;
- витрати на електроенергію;
- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування від заробітної плати;
- амортизаційні витрати;
- витрати на поточний ремонт.

Розглянемо варіанти формування ізоляційної конструкції з використанням мідного сітчастого матеріалу з накладанням на нього шару з дослідних матеріалів: ROOCWOOL, ISOVER KL-E та гібридної карбон-кевларової тканини.

В таблиці 4.1 зведені вихідні розрахункові дані.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для техніко-економічних розрахунків

[складено автором за джерелами 19, 20]

Найменування показників	Значення/одиниці вимірювань
Річна програма	10000 шт.
Матеріали:	

Найменування показників	Значення/одиниці вимірювань
– волокнистий мат ROOCWOOL ($\delta = 60$ мм)	630 грн/м ²
– волокнистий мат ISOVER KL-E ($\delta = 60$ мм)	1272 грн/м ²
– тканина карбон-кевларова гібридна ($\delta = 2$ мм)	1150 грн/м ²
– мідна сітка (за трикотажною технологією)	80 грн/кг
Потужність обладнання:	
– станок для розкрою тканини	0,8 кВт
– транспортне обладнання	4 кВт
– установка для настилання тканин	3,4 кВт
Ціна 1 кВт	1,68 грн.
Рівень додаткової заробітної плати	37,5 %
Норма амортизації	24 %
Норма витрати на поточний ремонт	5 %

Примітка: у зв'язку з військовими діями на території України для розрахунків використовувалися ціни довоєнного періоду

Таблиця 4.2

Найменування і вартість додаткового оснащення

Найменування обладнання	Ціна однієї установки, грн.
Станок для розкрою тканини INVESTCUT	99600
Штабелер ТШП-89	9520
Настилочний комплекс ПНК	50000

Згідно габаритних розмірів (довжина 200 мм; висота 200 мм; ширина 160 мм) розрахуємо необхідну кількість матеріалу на одиницю виробу та річну програму.

Для мідного сітчастого матеріалу:

$$m = \rho \cdot V,$$

де: m – маса матеріалу, кг; V – об'єм матеріалу м^3 ; ρ – щільність матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$V = H \cdot L \cdot B$$

де: L – довжина ізоляційного полотна, 200 мм; H – висота конструкції, 200 мм; B – ширина ізоляційного полотна, 160 мм;

$$V = 200 \cdot 200 \cdot 160 = 6400000 \text{ мм}^3 = 0,0064 \text{ м}^3$$

Для композиційної гібридної тканини:

$$S = H \cdot L,$$

де: S – площа гібридної композиційної тканини на одиницю виробу, м^2 ; L – довжина ізоляційного полотна, 200 мм; H – висота ізоляційної конструкції, 200 мм.

Вартість основних матеріалів приведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Вартість матеріалів

Найменування матеріалу	Матеріалу на один виріб, $\text{кг}(\text{м}^2)$	Річна програма, шт.	Матеріалу для виготовлення річної програми, $\text{кг}(\text{м}^2)$	Ціна 1 кг (м^2) матеріалу, грн.	Ціна матеріалу на виготовлення річної програми, грн.
Мідна сітка	0,024	10000	236	70	8835,84
Тканина гібрид (карбон с кевларом)	0,08	10000	800	1150	920000

Витрати електроенергії та її вартість наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Вартість витрат на електроенергію

Найменування устаткування	Витрати ел.енергії, кВт	Кіл-ть устаткування, шт.	Тривалість включення за зміну, год	Витрати на добу, кВт	Ціна ел.енергії на добу, грн.	Витрати на річну програму, грн.
Станок для розкрою тканини INVESTCUT	0,8	1	1	0,8	0,424	422,68
Штабелер ТШП-89	3,4	1	2	8	4,24	4256,96
Настилочний комплекс ПНК	2,2	1	2	4,4	2,33	2341,32

Витрати на електроенергію складають 7020,96 грн/рік.

На ділянці по розкрою композиційних тканин безпосередньо працює два працівники: оператор станка з ЧПУ по розкрою тканин та робочий який виконує транспортування тканин зі складу та відповідає за своєчасне настилення нових тканин і знаття розкросених заготовок. Також згідно внутрішнього розпорядку виробництва за ділянкою по розкрою композиційних тканин закріплений один інженер-технолог, який контролює процес розкрою, складає креслення та карти розкрою. Враховуючи необхідну кількість працівників проведено розрахунок витрат на основну заробітну плату, який наведено у таблиці 4.5. Розрахунок витрат основної і додаткової заробітної плати приведений в таблиці 4.6. Додаткова заробітна плата складає 36000 грн/рік. Враховуючи збори до пенсійного фонду (33,2%), до фонду соціального страхування (1,4%), до фонду зайнятості (1,6%), до фонду страхування від нещасних випадків (1,3) розраховуємо суму відрахувань від основної та додаткової заробітної плати. Результати розрахунків наведено у

табл 4.7. Розрахунок витрат на амортизацію обладнання наведено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.5

Витрати на основну заробітну плату

Необхідний персонал	РОЗРЯД	Кількість робітників	Місячна заробітна плата, грн.	Річна заробітна плата, грн.
Інженер – технолог	2	1	7000	84000
Оператор	3	1	7000	84000
Робочий	3	1	3000	36000

Таблиця 4.6

Розрахунок витрат на основну і додаткову заробітну плату

Сума витрат на основну заробітну плату, грн.	Рівень витрат на додаткову заробітну плату, %	Сума витрат на додаткову заробітну плату, грн.
84000	37,5	36000

Таблиця 4.7

Розрахунок відрахувань від заробітної плати

Сума витрат на основну і додаткову заробітну плату, грн.	Рівень відрахувань, %	Сума відрахувань, грн.
132000	37,5	49500

Таблиця 4.8

Витрати на амортизацію

Найменування устаткування	Кількість установок, шт.	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Сума витрат на амортизацію, грн.
Станок для розкрою тканини INVESTCUT	1	99600	24	23904

Штабелер ТШП-89	1	9520	24	2284,8
Настилочний комплекс ПНК	1	50000	24	12000

Розрахунок витрат на поточний ремонт наведено у таблиці 4.9. В таблиці 4.10 наведено результати розрахунку техніко-економічних показників та собівартості продукції.

Таблиця 4.9

Витрати на потоковий ремонт

Найменування устаткування	Кількість установок, шт.	Ціна, грн.	Норма витрат на потоковий ремонт, %	Сума витрат на ремонт, грн.
Станок для розкрою тканини INVESTCUT	1	99600	5	4980
Штабелер ТШП-89	1	9520	5	476
Настилочний комплекс ПНК	1	50000	5	2500

Порівняння вартісних показників розглянутих варіантів наведено у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Техніко-економічні показники та собівартість виготовлення продукції на річну програму 10000 шт

Найменування статті витрат, грн	Карбон-кевларова тканина/мідна сітка	ISOVER KL-E / мідна сітка	ROCWOOL / мідна сітка
Матеріали	1857671,68	928835,84	1203526,82
Обладнання	159120	159120	187260
Електроенергія	636480	636480	452952
Основна заробітна платня	96000	96000	96000

Найменування статті витрат, грн	Карбон-кевларова тканина/мідна сітка	ISOVER KL-E / мідна сітка	ROCWOOL / мідна сітка
Відрахування від зарплатні	36000	36000	63000
Амортизація обладнання	38188,8	38188,8	42655,2
Витрати на поточний ремонт	10000	10000	10321
Всього	2833460,48	2833460,48	2055716,02
Собівартість виробу	283,35	187,22	205,57

Аналізуючи порівняльні результати, які наведено у таблиці 4.10 визначено, що найбільш ефективним варіантом є виготовлення ізоляційного полотна з використанням мідної сітки марки ММЛ: вартість одного виробу складатиме 187,22 грн, що на 33 % дешевше за карбон-кевларову тканину.

Висновок до розділу 4

1. Розраховано технологічну собівартість розкрою та формування на мідній сітці ізоляційного полотна (200 × 200 × 160 мм, річна програма 10 000 одиниць) з волокнистих композиційних матеріалів ROOCWOOL, ISOVER KL-E та гібридної карбон-кевларової тканини.

2. Найбільш ефективним варіантом є виготовлення екрану з ISOVER KL-E з використанням мідної сітки марки ММЛ: вартість одного виробу складатиме 187,22 грн, що на 33 % дешевше за карбон-кевларову тканину

3. Переваги використанні карбон-кевларової тканини у складі ізоляційної конструкції для машинного відділення судна полягатимуть поєднанні малої товщини (до 2 мм) з високими тепло- та звукоізоляційними

властивостями, його гідрофобністю, нестисливістю в умовах вібрацій та водонасиченості.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ДІЛЬНИЦІ ДЛЯ РОЗКРОЮ ВОЛОКНИСТОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

5.1. Нормативні документи

Охорона праці являє собою систему законодавчих актів, соціально – економічних, організаційних, технічних і лікувально – профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Законодавство України про охорону праці являє собою систему законодавчих нормативних актів, що регулюють відносини в галузі реалізації державної політики в напрямку збереження людиною здоров'я і працездатності в процесі праці. Саме людина в процесі праці є головним об'єктом охорони праці [22].

Законодавчо правовими актами по охороні праці й охороні навколишнього середовища є:

- Конституція України (стаття 43)
- Кодекс законів про працю України (прийнято Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року, був переглянутий і затверджений Президентом України у новій редакції 21 листопада 2002 року)
- Кримінальний кодекс України
- Система стандартів безпеки праці (ССБП) – поділяються на міждержавні (ISO), державні (ДСТУ), міжгалузеві (ГСТУ), галузеві (ОСТ), стандарти підприємства (СТПССБП).

Стандарти використовуються на підприємствах, в установлених організаціях згідно з комплексним заходами щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці та виробничої санітарії, розроблених на основі обстеження устаткування, технологічних процесів, фактичного санітарно-технічного та протипожежного стану робочих місць.

5.2. Аналіз небезпечних шкідливих факторів на дільниці для розкрою волокнистої ізоляції

Аналіз небезпечних факторів на виробничій дільниці є важливим та обов'язковим етапом організації виробництва. Необхідно визначити та проаналізувати фактори, які пов'язані з безпечністю роботи виробничого обладнання та устаткування, впливу режимів його роботи на повітря робочої зони, рівень шуму, пожежо- та вибухонебезпечну ситуацію у приміщенні. Також необхідно проаналізувати освітленість дільниці та мікроклімат.

5.2.1 Повітря робочої зони.

Нормативний документ: «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». У приміщеннях з наявністю пиловиділення нагрівальні прилади повинні мати гладкі поверхні, що легко очищаються від пилу. Швидкість руху пилогазового потоку у повітропроводах повинна гарантувати запобігання відкладенню пилу: для легких вибухонебезпечних видів пилу – не менш ніж 20 м/с, для пилу більшої щільності – 25-30 м/с. Для попередження вибухів і пожежонебезпеки внаслідок відкладання пилу в повітропроводах слід максимально скоротити їх протяжність (від укриття до пилоуловлювача і до викиду в атмосферу), забезпечити систематичну чистку повітропроводів, а вентилятори мають бути у вибухобезпечному виконанні.

5.2.2. Заходи щодо запобігання пожежо- і вибухонебезпечним ситуаціям

Заходи щодо запобігання пожежо- і вибухонебезпечним ситуаціям повинні відповідати вимогам БНіП «Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря». Контроль за ефективністю систем роботи вентиляції і кондиціонування повітря слід здійснювати відповідно до вказівок по «Санітарно-гігієнічному контролю систем вентиляції виробничих приміщень». Контроль за станом вентиляції слід проводити відповідно до ДГСТ ССБТ. «Системи вентиляційні. Методи аеродинамічних випробувань»,

«Інструкції по санітарно-гігієнічному контролю систем вентиляції виробничих приміщень».

5.2.3. Освітлюваність діляниці

На підприємстві слід передбачати природне, штучне і поєднане, а також аварійне освітлення у відповідності з главою БНіП «Норми проектування. Природне і штучне освітлення». Штучне освітлення бажано люмінесцентне. Освітленість – не менше 200 лк. Використані неробочі газорозрядні лампи повинні зберігатися в умовах, передбачених «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачами».

5.2.4. Рівень шуму

Оцінку рівня шуму на робочих місцях слід виконувати відповідно до «Санітарних норм допустимих рівнів шуму на робочих місцях» і ДГСТ ССБТ. «Шум. Загальні вимоги безпеки» та «Методичних вказівок по проведенню вимірів і гігієнічної оцінки шумів на робочих місцях». Механізми і устаткування, що генерують шум і вібрацію, повинні систематично контролюватися (не рідше одного разу на рік), а також при введенні їх в експлуатацію та після ремонтування і мати паспорти контрольних вимірів у робочому режимі.

Контроль вібрації на робочих місцях слід проводити відповідно до ДГСТ ССБТ. «Вібрація. Засоби виміру і контролю на робочих місцях. Технічні вимоги», «Методичних вказівок по проведенню вимірів і гігієнічної оцінки виробничих вібрацій», «Методичних вказівок по профілактиці несприятливої дії локальної вібрації». Норма вільної площі на одного працівника – не менше 10 м².

5.2.5. Мікроклімат

Джерела живлення мають бути винесеними з робочих приміщень, а пульти керування – на робочих місцях. Усі виробничі і допоміжні приміщення повинні мати опалення і загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію відповідно до вимог розділу БНіП по проектуванню опалення і вентиляції, кондиціонування повітря і ДГСТ «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги

до повітря робочої зони». Системи опалення і вентиляції, а також кондиціонування повітря повинні забезпечувати параметри мікроклімату і чистоту повітря відповідно до ДГСТ ССБТ

5.3. Розрахунок освітленості робочого місця технолога

Освітлення виробничих приміщень – один з основних чинників зовнішнього виробничого середовища, які впливають на людину в процесі праці. Безперервним і високопродуктивним праця може бути тільки за умови хорошого освітлення робочих місць.

Проектуючи освітлювальну установку, необхідно вирішити наступні питання:

- вибрати тип джерела світла (лампи розжарювання, газорозрядні);
- визначити систему освітлення;
- вибрати тип світильників з розрахунком вимог до якості освітлення, економічності, безпеки і надійної роботи, а також вимог технічної естетики і архітектури приміщення;
- розподілити світильники і визначити їх кількість, вони можуть розміщуватися рядами, в шаховому порядку, ромбоподібно.

Розрахунок освітлення лабораторії проведемо методом коефіцієнта використання світлового потоку [23]. Цей метод призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь при відсутності великих предметів, які затіняють, з урахуванням світла відбитого стінами і стелею. По даному методу визначається світловий потік і потужність ламп, необхідної для освіти заданої освітленості, кількість світильників, необхідних для утворення заданої освітленості

Приміщення має довжину $A=9$ м, ширину $B=6$ м, висоту $H=4$ м. Висота робочого місця $h_p=1$ м. Напруга мережі 220 В. схема приміщення представлена на рис. 6.1, де H – висота приміщення; h_p – висота робочого

місця; h – висота від робочої поверхні до світильника; h_c – довжина підвісу світильника; H_0 – відстань від стелі до робочої поверхні; H_n – висота над підлогою світильника.

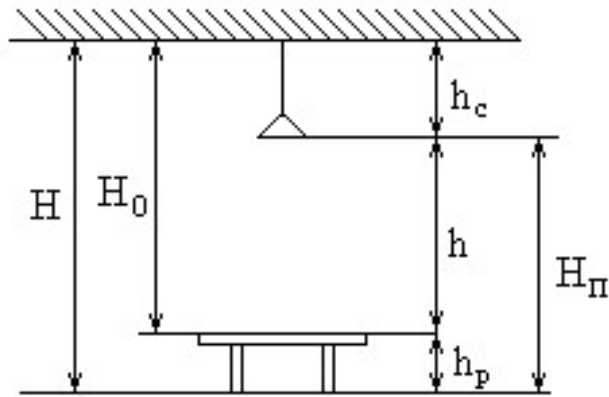


Рис. 6.1 Схема приміщення [23]:

1. Виберемо світильник типу ШОД для люмінесцентних ламп .
2. Знаходимо відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p = 4 - 1 = 3 \text{ м}$$

3. Знаходимо відстань від стелі до світильника:

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) \cdot H_0 = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ м}$$

4. Висота підвісу світильника над освітлюваною поверхнею:

$$h = H_0 - h_c = 3 - 0,6 = 2,4 \text{ м}$$

5. Висота підвісу світильника над підлогою:

$$H_{\text{п}} = h_p + h = 1 + 2,4 = 3,4 \text{ м} .$$

6. Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення: $L/h = 1,4$, де L – відстань між центрами світильників. Звідси

$$L = 1,4h = 1,4 \cdot 2,4 = 3,36 \approx 3,4 \text{ м}$$

7. Знаходимо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{S}{L^2},$$

де площа приміщення, для прямокутного приміщення; $S = A \cdot B$.

$$N = \frac{9 \cdot 6}{3,4^2} = \frac{54}{11,56} = 4,67 \approx 6 \text{ світильників}$$

Потрібна оптимальна кількість рядів:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B}{L} = \frac{6}{3,4} = 1,76 \approx 2 \text{ ряда}$$

Приймаємо 2 ряди, тобто 1 відстані $\Rightarrow 1 \cdot L = 2 \cdot 3,4 = 3,4 < 6 \text{ м}$

Потрібна кількість світильників у 1 ряді:

$$\frac{N}{n_{\text{ряд}}} = \frac{6}{2} = 3$$

Приймаємо 3 світильника, тобто 2 відстані $\Rightarrow 2 \cdot L = 2 \cdot 3,4 = 6,8 < 9 \text{ м}$

Відстань від стіни до центру світильника:

$$l = (0,25 \dots 0,3)L = 0,25 \cdot 3,4 = 0,85 \text{ м}$$

При розміщенні робочих місць вздовж стіни

$$l = (0,4 \dots 0,5)L = 0,5 \cdot 3,4 = 1,7 \text{ м.}$$

При віддаленні від стіни:

$$\frac{6 - 3,4}{2} = 1,3 \text{ м}$$

$$\frac{9 - 6,8}{2} = 1,1 \text{ м}$$

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{9 \cdot 6}{2,4 \cdot (9+6)} = 1,5$$

При $i=1,5$ $\rho_{\text{п}}=50 \%$, стін $\rho_{\text{с}}=50 \%$, робочої поверхні $\rho_{\text{р}}=10 \%$. Коефіцієнт використання світлового потоку для нашого приміщення $\eta = 45 \% = 0,45$.

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_p = \frac{E_{\text{min}} \cdot S \cdot \kappa_3 \cdot z}{N \cdot \eta}$$

Норма освітленості на робочому місці для операторів контролю СКС складає $E_H=100$ лк, коефіцієнт запасу $\kappa_3 = 1,5$, коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,1$.

$$\Phi_P = \frac{100 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,45} = 3850 \text{ лм}$$

Най більш відповідає вимогам люмінесцентна лампа ЛТБ65-4 з $\Phi_L = 3980$ лм і потужністю $P_L=65$ Вт

Фактична освітленість:

$$E_\phi = E_H \frac{\Phi_L}{\Phi_P}$$

$$E_\phi = 100 \cdot \frac{3980}{3850} = 103,4$$

Загальна потужність установки освітлення:

$$P_{заг} = P_L \cdot N$$

$$P_{заг} = 65 \cdot 9 = 0,585 \text{ кВт}$$

5.4. Заходи з охорони навколишнього середовища у акваторії портів

Водний транспорт може спричиняти забруднення повітря, забруднення морських ресурсів, шумове та вібраційне забруднення [24]. Рівень забруднення повітря визначається часом розподілу речовин, що виділяються при роботі двигунів внутрішнього згоряння (табл. 5.1) в залежності від режимів роботи його двигуна.

Таблиця 5.1

Рівень забруднення повітря [24]

Компонентний склад вихлопних газів дизельних двигунів		Час розпаду шкідливих речовин з вихлопних газів дизельних двигунів	
N, %	76...78	S ₄ NOC ₂	3...5 днів
CO ₂ , %	1...10	H ₂ S	40 днів
CO, %	0,001...0,05	CO	3 роки
Сажа, г/см ³	0,01...1,1	Метан	8...16, 100 років
Бензапірен, мкг/см ³	до 10	Озон O ₃	7 днів
7-8 % відпрацьованих газів є токсичними, 2-3 % – картерні гази, пари палива		NO ₂	5 днів
		H ₂ O ₂	14 днів
		CO ₂	7 днів
		N ₂ O	150 років

Причини забруднення акваторії портів пов'язані як з їх експлуатаційною діяльністю, так й з викидами токсичних речовин при стоянках, здебільшого нафти та нафтопродуктів. До експлуатаційних чинників належать забруднення судновими двигунами; води, призначені для мийки танків, баластні води, що зливаються за борт. Крім того, переважна кількість суден обладнана дизельними двигунами; невелику кількість складають судна з паротурбінними установками.

Основними забруднювачами водного басейну портів вважаються нафта і нафтопродукти. Перед кожним перезавантаженням танкерів для видалення решток раніше перевезеного вантажу робиться мийка танків (ємкостей). При цьому промивна вода і залишки вантажу можуть попадати за борт. Також після доставки нафтовантажів у порти танкери направляються до пункту нового завантаження без вантажу: для забезпечення належної осадки і безпечності плавання нафтові танки судна заповнюються баластною водою, як також у свою чергу забруднюється нафтовими залишками.

Головну роль у забрудненні моря при морських перевезеннях відіграють викиди теплових двигунів: гази CO, CO₂, C_xH_y є важчими за повітря і накопичуються на поверхні водного середовища, а також беруть участь у

окислювальних реакціях і в кінці перетворюються на CO₂, наявність якого у атмосфері викликає парниковий ефект. Складові забруднення Світового океану вуглеводнями наведено у табл. 5.2. Негативний вплив та шкоду на водне середовище також вказують важкі метали та окисли, зокрема залізо. Небезпечними є шум і вібрації теплових двигунів. Тому на даний час розглядається питання переведення суден прибережного плавання і портового флоту на природний газ і застосування водню з гідридних акумуляторів до рідкого палива.

Таблиця 5.2

Складові забруднення Світового океану вуглеводнями [24]

Джерела забруднень	Кількість, млн. т.
Використання дизельних енергетичних установок	114,26
Випарення нафтовантажів танкерним флотом з урахуванням вантажних операцій	19,4
Випарення нафтопродуктів на суші і надходження у морське середовище з опадами	10,00
Викиди незгорілого палива	1,83
Злив баластних вод з суден	4,3
Антропогенні викиди на суші	3,0
Викиди вуглеводів у морське середовище	14,3
Берегові стоки	0,8
Природне просочування з дна	0,6
Розливи нафтопродуктів при аваріях танкерів	0,3
Вилив нафтопродуктів з ляльними водами	0,5

До основних заходів попередження забруднення водного басейну транспортними судами відносяться:

- заборона скидання забруднюючих відходів з суден у внутрішніх водоймах;

- обладнання суден додатковими засобами і установками для утилізації або знешкодження деяких видів відходів, для тимчасового накопичення частини відходів з наступною здачею їх на берег з метою знешкодження або переробки.

Для цього у всіх портах створено спеціальні служби для захисту довкілля від забруднення, діяльність яких пов'язано з контролем за виконанням загальнодержавних законів і відомчих наказів, а також взаємодією та співпрацею з технічними підрозділами та службами.

5.5. Висновки до розділу

1. Проаналізовано правові та організаційні основи охорони праці.
2. Проаналізовано небезпечні шкідливі фактори на ділянці для розкрою волокнистих матеріалів.
3. Розраховано освітленість робочого місця технолога.
4. Розглянуто заходи щодо охорони навколишнього середовища при стоянці судна в порту.

ВИСНОВКИ

1 Аналітичний огляд літератури показав перспективи застосування волокнистої ізоляції, виготовленої з неорганічних і полімерних волокон, серед яких, найбільшої уваги заслуговують неткані та в'язально-прошивні матеріали, виготовлені за трикотажними технологіями, такі як ізоляційні мати ISOVER, ROCKWOOL та плетені гібридні тканини з карбон-кевлару.

2. Проаналізовано хімічний склад і будову неорганічних та полімерних волокон, з яких виготовлено ізоляційні мати ISOVER, ROCKWOL та гібридна карбон-кевларова тканина.

3. Визначено особливості плетіння волокнистих матеріалів, що безпосередньо впливатиме на їх товщину та анізотропію функціональних властивостей

4. Розраховано і порівняно коефіцієнти звукопоглинання у трьохоктавних смугах частот, на підставі теоретично-експериментальних досліджень рекомендовано подальше застосування карбон-кевларової тканини.

5. Обрано та частково модернізовано обладнання для розкрою карбон-кевларової тканини. Розроблено план дільниці.

6. Розраховано та проведено порівняльну оцінку ефективності використання розглянутих видів волокнистої ізоляції. Розглянуто заходи щодо охорони праці та довкілля.

Науково-практичне значення роботи полягає у можливості застосування для ізолювання машинного відділення судна волокнистих матеріалів, виготовлених з неорганічних і полімерних волокон за трикотажними технологіями, серед яких найбільш перспективними є прошивні мати ISOVER, ROCKWOOL та плетені гібридні карбон-кевларові тканини.

Результати були представлені на Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (17-18 травня 2023 р.) у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв та опубліковані у вигляді тез:

[25] Казимиренко Ю.О., Савочкіна В.В., Давидова П.С., **Задорожний Є.О.** Водні перевезення вантажів зі спеціальними температурними умовами: особливості проектування ізоляційних конструкцій. *Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд*: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – 2023, Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (17-18 травня), С. 52-59 .

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

- 1 Дакі О. А., Ткаченко В. В., Левченко О. В., Куш О. В. Дослідження процесів вібрацій в машинних відділеннях теплоходів. *Водний транспорт*. 2021. Вип 1 (32). С. 54-63 doi.org/10.33298/2226-8553/2021.1.32.07
- 2 Блінцов В. С., Касьянов Ю. І., Нужний С. М. Особливості захисту акустичної інформації на суднах та експериментальна оцінка звукоізоляції. *Вісник Національного університету Львівська політехніка*. 2012. Vol. 741. С. 1-6.
3. Рекомендації щодо боротьби зі шкідливими шумами в приміщеннях для екіпажу та на робочих місцях на борту суден. Постанова № 141 Міжнародного законодавства про охорону праці https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993_083#Text
4. Мозговий А. М. Підвищення рівня екологічної безпеки на морському транспорті шляхом звукоізоляції приміщень композиційними матеріалами. *Екологічна безпека*. 2009. № 4 (8) С. 20-23.
5. ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
6. ДСТУ ISO 354:2007. Акустика. Вимірювання звукопоглинання у реверберційній камері. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
7. ДСТУ ISO 10055:2006. Вібрація механічна. Вимоги до вібраційного випробування суднового обладнання механізмів (ISO 10055:1996, IDT). Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
8. Бажак О. В., Урум Н. С., Іваненко В. М., Федунів В. М. Забезпечення протипожежної безпеки на морському транспорті. *Водний транспорт*. 2021. Випуск 3 (34). С. 22-30 doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.03
9. Енергоресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі: монографія / Г.М. Шабанова, К. К. Пушкарьова, Л.Й. Дворкін. [та ін.]. К.: Задруга, 2014. 272 с.

10. Нові матеріали та композити : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2013. -158 с.
11. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина І. (Прядильне та крутильне виробництво): підручник / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, О. П. Кизимчук. – К.: КНУТД, 2014. – 432 с.
12. Єліна Т. В., Боброва С. Ю., Ганавська Л. Є. Створення комп'ютерної моделі структури трикотажу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. № 4. С 132 – 135.
13. Фізико-хімія сучасних неорганічних матеріалів : підручник / Б. Ю. Корнілович, І. В. Пилипенко, І. А. Ковальчук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 134 с.
14. Сіренко Г.О., Складанюк М.Б., Комашко О.В. Фізико-хемія та технологія органічних та неорганічних карбонових волокон: Монографія / За ред. Сіренка Г.О. та Комашко О.В. – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2019, 170 с.
15. Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лямок А. О. (2022). Експериментальні дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів із мінеральної вати. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. № 1. С. 43-48. – DOI: <https://doi.org/10.31649/2311121429-2022-1-43-48>
16. Прикладна акустика-2. Архітектурна акустика: лабораторний практикум / О. П. Гребінь, Н. Ф. Левенець. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 101 с.
17. Абракітов В. Е. Методика розрахунку часу реверберації звуку у приміщеннях. *Науковий вісник будівництва*. Вип. 41. Харків :ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2007. – 311 с.
18. Казимиренко Ю. О., Савочкіна В. В. Проектування ізоляційних конструкцій суден для транспортування вантажів зі спеціальними температурними умовами *Shipbuilding and marine infrastructure***2023. № 1 (17).**

C. 48-59 DOI [https://doi.org/10.15589/smi2022.1\(17\).06](https://doi.org/10.15589/smi2022.1(17).06) (фахове видання категорія Б) URL <http://smi.nuos.mk.ua/1-2023>

19. Садовий М. І. Еволюція та розвиток засобів автоматизованої обробки текстильних матеріалів у процесі фахової підготовки студентів. *Наукові записки. Серія Педагогічні науки*. Вип. 173. С. 168-173.

20. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництва): підручник / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, О. П. Кизимчук. – К.: КНУТД, 2018. – 276 с.

21. Організація і технологія матеріально-технічного забезпечення підприємства: навчальний посібник Гордійчук А. С., Стохів О. А., Кузнецова Т. В., Збагурська Н. В. – Рівне: НУВГП, 2012. – 256 с.

22. Основи охорони праці / В. І. Кошель, Г. П. Сав'юк, Б. С. Дзундза – Івано-Франківськ : НАІР, 2020. – 182 с.

23. Тубальцев, А. М. Виробниче освітлення та його розрахунок: Навчальний посібник / А. М. Тубальцев. – Миколаїв : УДМТУ, 2001. – 84 с.

24. Технологія : підручник / укладач Л. П. Клименко. – Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2000. – 304 с.

25. Казимиренко Ю.О., Савочкіна В.В., Давидова П.С., **Задорожний Є.О.** Водні перевезення вантажів зі спеціальними температурними умовами: особливості проектування ізоляційних конструкцій. *Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд*: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – 2023, Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (17-18 травня), С. 52-59 .